

Distancia entre surcos en el rendimiento y calidad de la materia seca de maíz y de sorgo

Row spacing on both sorghum and maize dry matter yield and quality

Eduardo Daniel Bolaños Aguilar^a, Jean-Claude Emile^b

RESUMEN

El objetivo fue comparar el rendimiento de materia seca y el valor nutritivo de un híbrido convencional de sorgo [(*Sorghum bicolor* (L.)), establecido a dos distancias entre surcos, con un híbrido convencional de maíz (*Zea mays* L.). El sorgo var. Solarius fue establecido a 75 y 20 cm entre surcos, y el maíz var. Anjou 387 a 75 cm (siembra convencional) en 2007, 2008 y 2009 en Lusignan, Francia. El rendimiento de materia seca (RMS) en ambas especies declinó con los años y esta disminución fue mayor en maíz. El RMS para 2009 fue menor en 20.7, 6.5 y 5 t ha⁻¹, al compararlo con 2007, con respecto a maíz, sorgo 75 y 20 cm, lo que indica que la reducción de lluvia afectó menos el RMS del sorgo 20-cm. Al promediar los años, sorgo 20-cm tuvo mayor proteína con 104.1 g kg⁻¹ MS vs 89.4 y 70.5 g kg⁻¹ MS de sorgo 75-cm y maíz, respectivamente. El maíz tuvo más alta digestibilidad que el promedio de los dos tratamientos de sorgo con 692 vs 636 g kg⁻¹ MS. La digestibilidad fue mayor en maíz debido a su menor concentración de lignina. La concentración en lignina del maíz fue 18 vs 28.8 g kg⁻¹ MS del promedio de los dos tratamientos de sorgo. Sin embargo, la digestibilidad de ambos tratamientos de sorgo aumentó en 77.2 g kg⁻¹ MS al pasar de 2007 a 2009. El maíz fue más sensible a los cambios ambientales. El sorgo sembrado a 20 cm entre surcos fue superior en RMS y en concentración de proteína que el maíz, cuando las condiciones de lluvia son un factor limitante.

PALABRAS CLAVE: Maíz, Sorgo, Rendimiento de materia seca, Proteína, Digestibilidad, Lignina.

ABSTRACT

The purpose of the present study was to compare dry matter yield and nutritive value of conventional hybrid grain sorghum [(*Sorghum bicolor* (L.)) as influenced by row spacing, with conventional hybrid maize (*Zea mays* L.). Sorghum hybrid var. Solarius was planted at two distances between rows, 75 and 20 cm, and maize var. Anjou 387 at 75 cm (conventional planting). Dry matter yield (DMY) in both species decreased over the years, being this fall greater in maize. DMY fell by 20.7, 6.5 and 5 t ha⁻¹ in 2009 when compared to 2007 for maize, sorghum 75 and 20 cm, respectively, indicating that DMY in sorghum 20-cm was less affected by a drop in rainfall than in the other treatments. When averaged over the years, sorghum 20-cm showed the higher protein concentration, 104.1 g kg⁻¹ MS vs 89.4 and 70.5 g kg⁻¹ DM for sorghum 75-cm and maize, respectively. Digestibility in maize was higher than in the average of the two sorghum treatments, 692 vs 636 g kg⁻¹ DM, respectively. Lignin concentration in maize was 18 vs 28.8 g kg⁻¹ DM for the average of the two sorghum treatments. However, digestibility in both sorghum treatments increased by 77.2 g kg⁻¹ MS from 2007 to 2009. Maize was more sensitive to environmental variations. Sorghum planted at 20 cm between rows shows both greater DMY and protein concentration than maize in dry matter yield when rainfall is a limiting factor.

KEY WORDS: Maize, Sorghum, Dry matter yield, Protein, Digestibility, Lignin.

INTRODUCCION

Actualmente existen importantes estudios que buscan disminuir los efectos negativos sobre la producción

INTRODUCTION

Many important studies in search of a decrease of negative effects on milk and beef yield in annual

Recibido el 24 de mayo de 2010. Aceptado el 18 de agosto de 2010.

^a INIFAP, Programa de Forrajes, CP 86400 Huimanguillo, Tabasco (México); Tel. (937) 3750396. bolanos.eduardo@inifap.gob.mx Correspondencia al primer autor.

^b I.N.R.A. Unité Expérimentale Fourrages et Environnement, F-86600 Lusignan (Francia); jean-claude.emile@lusignan.inra.fr

de leche o carne de los períodos secos del año que son cada vez más extendidos y frecuentes^(1,2,3). El utilizar forrajes ensilados ayuda a disminuir las fluctuaciones de la producción animal durante el año. Los forrajes de corte son una opción para su uso como ensilados, siendo el maíz forrajero el más utilizado dado su valor nutritivo, en particular su elevada digestibilidad con respecto a otros cultivos forrajeros⁽¹⁾. Sin embargo, el maíz no es, entre los cultivos forrajeros utilizados en ensilado, el más adaptado a las condiciones de falta de agua del suelo, ya que necesita de la irrigación en un momento determinado del período seco del año para mantener una alta producción de materia seca^(2,3,4).

Una alternativa forrajera es el sorgo (planta rústica comparada con el maíz) el cual produce más biomasa por unidad de agua consumida⁽⁵⁾, economizando una planta de sorgo de 80 a 100 mm de agua con respecto al maíz, durante su período de crecimiento⁽⁶⁾. Por otra parte, la elevada capacidad de exploración del suelo de las raíces del sorgo, debido a la alta densidad y ramificación, le permite una mejor absorción del nitrógeno del suelo⁽²⁾. Sin embargo, las anteriores cualidades del sorgo no le permiten un rendimiento mayor de materia seca, en períodos no limitantes en humedad del suelo y presenta rendimientos semejantes al del maíz en períodos críticos del año⁽⁷⁾. Esta desventaja podría estar mitigada con prácticas agronómicas al momento de la siembra. En Francia, la siembra del sorgo es semejante a la del maíz, en surcos espaciados a 75 cm. Entre las prácticas agronómicas que pueden contribuir a incrementar el rendimiento de forraje por hectárea del sorgo se encuentra disminuir la distancia entre surcos⁽⁸⁾ y el incremento en el número de plantas dentro del surco⁽⁹⁾, pero a mayor densidad de plantas por hectárea del sorgo se ha observado un incremento en la síntesis de paredes celulares⁽¹⁰⁾ con disminución en la digestibilidad y en la concentración de proteína⁽⁹⁾. Sin embargo, la mayoría de estos estudios fueron realizados durante el período de anthesis para evaluar el forraje, o a maduración del grano para evaluar rendimiento del grano. Por esta razón, no hay información disponible sobre el rendimiento y calidad del sorgo cuando éste presenta alrededor de 300 g

dry periods, which are more and more frequent and longer^(1,2,3) are available at present. Use of silage helps diminish variations in animal production throughout the year. Forages for cutting represent an option for silage making, being forage maize the most commonly used due to its nutritive value, particularly because its high digestibility in comparison to other forage crops⁽¹⁾. However, maize is not the species more adapted to soil moisture deficiency, needing watering at certain moments of the annual dry period for sustaining high dry matter yield^(2,3,4).

An alternative forage source is sorghum (being more rustic than maize) that produces more biomass for each water unit used⁽⁵⁾, consuming between 80 and 100 mm less water than maize during the growth period⁽⁶⁾. On the other hand, the great capacity of its root system for soil exploration, due to its high density and ramification, allows for better soil nitrogen absorption⁽²⁾. However, these advantages do not allow for a greater DMY in periods when soil moisture content is not limited, showing yields similar to maize in critical periods⁽⁷⁾. This disadvantage could be lessened through agronomic practices at planting time. In France, sorghum is planted in a similar fashion as maize, in rows spaced at 75 cm. Among the agronomic practices that could contribute to increase its forage yield, a reduction in distance between rows⁽⁸⁾ would be one, as well as increasing the number of plants within rows⁽⁹⁾. However, at higher plant densities in sorghum, an increase in cell wall synthesis was observed⁽¹⁰⁾ together with a decrease in digestibility and protein content⁽⁹⁾. Nevertheless, most of the studies were performed either at the anthesis stage for forage assessment or at grain maturity for grain yield evaluation. Due to this, there is practically no information available on sorghum yield and quality when DM content for the whole plant is some 300 g kg⁻¹. At this DM content sorghum increase its digestibility to 650 g kg⁻¹ DM, approximately⁽¹¹⁾. In maize⁽¹²⁾, on the other hand, 300 to 350 g kg⁻¹ DM have been established as needed for increasing forage quality.

The purpose of the present study was comparing yield and quality of maize var. Anjou 387, planted

kg⁻¹ MS a nivel de la planta entera. Con esta concentración en MS el sorgo aumenta su digestibilidad a 650 g kg⁻¹MS, aproximadamente⁽¹¹⁾. En maíz se han establecido concentraciones de 300 a 350 g kg⁻¹ MS⁽¹²⁾ para incrementar la calidad del forraje.

El objetivo del presente estudio fue comparar el rendimiento y valor nutritivo del maíz var Anjou 387, sembrado en forma convencional (75 cm entre surcos), con el rendimiento y valor nutritivo del sorgo var Solarius, sembrado en forma convencional y en siembra estrecha (20 cm entre surcos).

MATERIALES Y METODOS

El estudio se realizó en condiciones de campo en la Estación Experimental de Forrajes y Medio Ambiente del Instituto Nacional de Investigación Agronómica (INRA), Lusignan, Francia (46°25'07N, 0°07'06 E, altitud 149 m) durante los años 2007, 2008 y 2009, con una variedad de maíz (*Zea mays* L.) var. Anjou 387, y con una variedad de sorgo de grano (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) var. Solarius. Estas dos variedades son consideradas representativas para el ensilado en Francia⁽³⁾. En cada año el período de crecimiento del cultivo fue diferente dadas las diferencias en condiciones climáticas. Los datos del clima prevaleciente durante los períodos de crecimiento de las especies estudiadas se muestran en el Cuadro 1.

El trabajo se condujo en un suelo neutro (pH = 6.8) de origen calcáreo, color café, textura arcillo-

at 75 cm (conventional) between rows with yield and nutritive value of sorghum var. Solaris planted at both 20 (narrow) and 75 cm (conventional) distance between rows.

MATERIALS AND METHODS

The present study was performed in field conditions at the Unité Expérimentale Fourrages et Environnement (UEFE) of the Institut Nationale de Recherche Agricole (INRA) in Lusignan, France (46°25'07" N, 0°07'06" E, 149 masl) during 2007, 2008 and 2009 with maize (*Zea mays* L.) var. Anjou 387 and grain sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) var. Solaris. These two varieties are considered as representative for silage making in France⁽³⁾. The growth period showed variations between years due to differences in weather. Weather data for the study period are shown in Table 1.

The experiment was carried out in a brown calcareous soil, pH=6.8, with clay-lime texture, polyhedral structure and 3 % organic matter content⁽¹³⁾. After planting in the three years, all experimental plots were fertilized at 70 kg ha⁻¹ N as ammonium nitrate. No irrigation was carried out and no agrochemicals (pesticides, insecticides, herbicides) were used. In each year, both maize and sorghum were planted in 720 m² (12*60 m) adjacent plots using a Hersian planter at 5 cm depth. Each plot was a replication, establishing four replications in 2007 and 2008 and three in 2009. Maize was planted at 75 cm distance

Cuadro 1. Datos promedio de clima durante el período de crecimiento del maíz y sorgo en tres años de evaluación

Table 1. Average weather data for the three years evaluation period during maize and sorghum growing season

	2007	2008	2009
Planting date	May 10	May 20	June 2
Harvest date	October 15	September 24	September 16
From planting to harvest:			
Rainfall, mm	353	329	163
Rainfall in June and July, mm	152	100	56
Temperature, °C	15.9	16.4	18

limoso, estructura poliédrica y con 3 % de materia orgánica⁽¹³⁾. El suelo se clasificó como cambisol dístico⁽¹⁴⁾. Después de la siembra y durante los tres años, todas las parcelas experimentales fueron fertilizadas con 70 kg ha⁻¹ de N en forma de nitrato de amonio. No hubo irrigación ni se emplearon pesticidas (herbicidas, fungicidas, insecticidas). Dentro de cada año, tanto el maíz como el sorgo fueron sembrados en parcelas adyacentes de 720 m² (12 x 60 m) con ayuda de una sembradora Hersian a una profundidad de 5 cm. Cada parcela fue una repetición, estableciéndose cuatro repeticiones en 2007 y 2008, y tres repeticiones en 2009. El maíz se sembró convencionalmente (75 cm entre surcos) a una densidad de siembra de 95,000 granos ha⁻¹. El sorgo se estableció en siembra convencional (75 cm entre surcos), y en siembra estrecha (20 cm entre surcos) a una densidad de 330,000 granos ha⁻¹ (densidad convencional). Las fechas de siembra y de cosecha de ambas especies se muestran en el Cuadro 1.

Antes de la toma de datos, se muestreó dos veces por semana, a lo largo de un metro lineal de tres surcos tomados al azar por parcela, a partir de que el 50 % de las plantas iniciaron la floración. Lo anterior para conocer la evolución de la concentración de MS en la planta entera, y poder estimar el momento propicio de cosecha (fijado en 300 g kg⁻¹ MS, en promedio, para las dos especies) de cada parcela. De esta manera, se cosechó cuando las plantas alcanzaron 320 g kg⁻¹ MS, y dicha concentración se obtuvo al mismo tiempo en ambas especies en todas las parcelas dentro de cada año, siendo las fechas el 15 de octubre en 2007, el 24 de septiembre en 2008 y el 16 de septiembre en 2009 (Cuadro 1). A partir de este momento dio inicio el estudio con la toma de muestras de tres surcos por parcela, seleccionados al azar en 2007 y 2008, y en cinco surcos en 2009. Para obtener el número de plantas y el rendimiento de materia seca, las plantas fueron contadas y cosechadas a una altura de 10 cm del suelo a lo largo de dos metros lineales por surco. Con estos datos se calculó el número de plantas ha⁻¹ (NPHA) y el rendimiento de materia seca (RMS, en t ha⁻¹), de acuerdo a la distancia entre surcos. Previo al corte, se obtuvo la altura promedio de las plantas (AP, en centímetros)

between rows at 95,000 seeds ha⁻¹ density. Sorghum was planted both at 75 cm and 20 cm between rows at 330,000 seeds ha⁻¹ density. Planting and harvest dates are shown in Table 1.

Before data were collected, samples were taken twice weekly from a 1 m long stripe in three rows chosen at random in each plot, from 50 % flowering onwards. This was done in order to assess DM content evolution in the whole plant and choose the most favorable moment for harvesting (set at 300 g kg⁻¹ DM for both species) each plot. Thus, harvest was performed when plants reached a 320 g kg⁻¹ DM content, which was obtained at the same date for both species in every plot in the same year, October 15th 2007, September 24th 2008 and September 16th 2009 (Table 1). At those dates in each year data collection began by taking samples from 2 m long strips in three rows in each plot, chosen at random in both 2007 and 2008 and from five rows chosen at random in 2009. For obtaining plant density and DMY, plants were counted and cut at 10 cm height. Plant density in plants ha⁻¹ (NPHA) and DMY as t ha⁻¹ were estimated in accordance with distance between rows. Before cutting, plant height (AP) in centimeters from soil to plant apex was measured in both species. Harvested plants were weighted and afterward classified by hand in two components, fresh weight of vegetative organs (stems and leaves) and fresh weight of reproductive organs (panicles or ears, whatever the case). Both components were dried at 60 °C for 48 h in order to determine dry weight for each component and whole plant. DM content (g kg⁻¹ fresh weight MV) was estimated through fresh and dry weight for whole plant (MSPE), vegetative organs (MSOV) and reproductive organs (MSOR). In addition, in 2009 plants were classified in three morphological components, stems, leaves and reproductive organs, and leaf area (m² ha⁻¹) was estimated from the third leaf in both species counting from the top down in accordance with Djè *et al.*⁽¹⁵⁾, being leaf area=length*width* conversion coefficient. Conversion coefficients were 0.73⁽¹⁶⁾ for maize and 0.747⁽¹⁷⁾ for sorghum. Subsequently, leaf area of the third leaf was multiplied by the number of green leaves in each plant for determination of plant leaf area and then

la cual se midió del nivel del suelo a la punta de la planta en ambas especies. Las plantas cosechadas fueron pesadas y posteriormente se separaron manualmente en dos componentes: peso verde de órganos vegetativos (tallos más hojas) y peso verde de órganos reproductivos (mazorcas o panículas, según el caso). Cada componente se secó a 60 °C por 48 h para estimar su peso seco, y de esta manera obtener también el peso seco de la planta entera. Con los pesos verdes y secos se estimó la concentración de MS (g kg⁻¹ de MV) de la planta entera (MSPE), de los órganos reproductivos (MSOR), y de los órganos vegetativos (MSOV). Además de las evaluaciones anteriores, en el año 2009 las plantas también se separaron en tres componentes morfológicos: tallos, hojas y órganos reproductivos, calculándose el área foliar (m² ha⁻¹). El área foliar se basó en el área de la tercera hoja en ambas especies⁽¹⁵⁾, contada de la última hoja de la punta a la base del tallo. Así, área de la hoja = largo x ancho x factor de conversión. El factor de conversión para el maíz fue de 0.73⁽¹⁶⁾ y de 0.747 para sorgo⁽¹⁷⁾. Subsecuentemente, el área de la tercera hoja se multiplicó por el número de hojas

plant leaf area was multiplied by the number of plants in the 2-m strip, then by the number of rows in each hectare and finally by 50 m for obtaining the leaf area per hectare. Plant nutritive value was determined by harvesting all plants in each plot were with a John Deere 630 forage harvester, provided with an automatic chopper. Three samples from each harvested plot were taken and then ground to 1 mm fragments, which were dried at 60 °C for 48 h. Samples were analyzed by means of the NIRS absorption procedure (NIRSystems, Inc., Silver Spring, MD 20904, USA), for predicting protein and lignin content (g kg⁻¹ DM) and digestibility in the two species. In 2008 protein content was not determined.

Variance analysis was performed by means of the GLM program of SAS software 9.13 release⁽¹⁸⁾. A first analysis includes the 3 yr and the treatments (maize 75-cm, sorghum 75-cm and sorghum 20-cm) and their interactions. This analysis was performed in accordance with a completely randomized block design with four replications, considering years as plots and treatments as subplots. As interactions

Cuadro 2. Cuadrados medios y niveles de significancia del rendimiento de materia seca (DMY), número de plantas por hectárea (NPHA), altura de la planta (AP), materia seca de la planta entera (MSPE), materia seca de órganos reproductivos (MSOR), materia seca de órganos vegetativos (MSOV), proteína, digestibilidad y lignina, de maíz y sorgo en tres años de evaluación

Table 2. Average squares and significance degrees for dry matter yield (DMY), number of plants per hectare (NPHA), plant height (AP), dry matter in the whole plant (MSPE), dry matter in reproductive organs (MSOR), dry matter in vegetative organs (MSOV), protein content, digestibility and lignin content, in maize and sorghum during the three year evaluation period

Source	Average	Year	Block	Error a	Treatment	Year*Treatment	Error b
DMY, t ha ⁻¹	13.42	363.42 **	4.60	12.01	212.78 *	155.67 ***	15.17
Number of plants, ha ⁻¹	216245	23 x 10 ⁹ ***	24.3 x 10 ⁷	12.32 x 10 ⁷	16 x 10 ¹⁰ ***	86 x 10 ⁸ ***	43.8 x 10 ⁷
Plant height, cm	142.61	22541.9 ***	257.44 *	177.8	35850.6 ***	5589.9 ***	103.8
MSPE, g kg ⁻¹	306.92	1796.13 *	1107.23 **	362.22 **	1644.58 *	4095.6 ***	201.1 *
MSOR, g kg ⁻¹	428.04	151111.7 **	2235.6	3046.0 **	10866.9	26018.3 ***	415.03
MSOV, g kg ⁻¹	272.41	8799.9 *	179.64	943.02	361.4	1073.2	717.2
Protein, g kg ⁻¹	88.79	166.05	10.38	8.80	1233.2 ***	96.65 *	5.84
Digestibility, g kg ⁻¹	654.30	7477.4 *	1000.2 *	930.9 **	7584.01 **	2223.16 **	506.3
Lignin, g kg ⁻¹	25.60	198.40 **	27.45 **	5.00	278.4 **	65.08 ***	8.65
df		2	3	4	2	4	6

df= degrees of freedom; *, **, ***; Significance at 0.05, 0.01 y 0.001 probability, respectively.

Treatment= Maize at 75 cm, Sorghum at 75 and 20 cm.

verdes por planta para obtener el área foliar por planta, y por el número de plantas sobre los 2 m lineales x 50 m x número de surcos por hectárea (dependiendo de la distancia entre surcos) para obtener el área foliar por hectárea. Para el análisis del valor nutritivo de la planta, se cosecharon las parcelas en su totalidad con apoyo de una recogedora de forraje con picado automático marca John Deere modelo 630. Del forraje cosechado se tomaron tres muestras por parcela, las cuales se molieron en laboratorio a un tamaño de partícula de 1 mm, después secadas a 60 °C por 48 h para determinar el valor nutritivo. Las muestras se analizaron por la técnica de absorción NIRS (NIRSystems, Inc., Silver Spring, MD 20904, USA) para predecir los niveles de concentración (g kg⁻¹ de MS) en la planta de proteína, digestibilidad y lignina de ambas especies. En 2008 la concentración de proteína no se determinó.

El análisis de varianza se realizó con el programa GLM del SAS⁽¹⁸⁾. Se generó un primer análisis en el que se incluyeron los tres años y los tres tratamientos (maíz a 75 cm, sorgo a 75 cm y sorgo a 20 cm) y sus interacciones en el modelo. Este análisis se realizó de acuerdo al diseño de bloques completos al azar en arreglo de parcelas divididas con cuatro repeticiones, considerando los años como parcelas principales y los tratamientos como subparcelas. Dado que hubo interacción año x tratamiento para todos los caracteres evaluados, se procedió al análisis de cada año por separado, en base al diseño de bloques al azar. Las diferencias entre medias se determinaron con la prueba Student Newman Keuls ($\alpha=0.05$). La correlación entre caracteres se calculó por proc CORR⁽¹⁸⁾.

RESULTADOS Y DISCUSION

La lluvia acumulada durante el periodo de crecimiento del maíz y del sorgo, presentó una disminución de 24 mm en 2008 y de 190 mm en 2009 con respecto al 2007. Un aumento en 2 °C de la temperatura promedio se observó en el último año con respecto al primero (Cuadro 1). Lo anterior muestra que las condiciones climáticas propias para el crecimiento de los cultivos fueron desfavorables con los años de evaluación.

year*treatment were found for all evaluated characters, a year by year analysis was carried out, based on the completely randomized block design. Differences between averages were determined through the Student Newman Keuls test ($\alpha=0.05$). Correlation between characters was estimated by means of the CORR procedure⁽¹⁸⁾.

RESULTS AND DISCUSSION

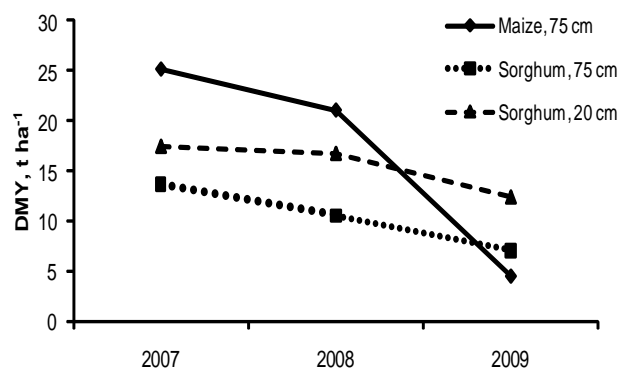
Rainfall during the sorghum and maize growth periods fell by 24 mm between 2007 and 2008 and 190 mm less in 2009 than in 2007. Average temperature was 2 °C higher in 2009 than in 2007 (Table 1). These data show that growing conditions were unfavorable for these crops in the years being evaluated.

Dry matter yield

Significant interaction ($P<0.01$) year*treatment was found for DMY (Table 2). DMY fell in the three treatments across the three years (Figure 1). DMY in sorghum at 75 cm and at 20 cm distance between rows dropped by 6.5 and 5 t ha⁻¹, respectively, in 2009 in relation to 2007. DMY in maize fell by 20.7 t ha⁻¹ in the same timeframe (Table 3). The big drop in maize in 2009 in response to low rainfall, influenced the year*treatment interaction

Figura 1. Efecto de año sobre el rendimiento de materia seca (DMY) del maíz y sorgo sembrados a dos distancias entre surcos

Figure 1. Effect of year on dry matter yield (DMY) in maize and in sorghum planted at two distances between rows



Rendimiento de materia seca

Hubo interacción significativa ($P < 0.01$) año x tratamiento para el RMS (Cuadro 2). Los tres tratamientos redujeron su RMS sobre los tres años (Figura 1). El RMS del sorgo a 75 y 20 cm en 2009 disminuyó en 6.5 y 5 t ha⁻¹ respectivamente, comparado con 2007. El cultivo del maíz produjo 20.7 t ha⁻¹ menos en 2009 con respecto a 2007 (Cuadro 3). La fuerte disminución del RMS del maíz, dada la baja precipitación pluvial en 2009, influyó en la interacción mencionada al cambiar su posición de mayor RMS en los primeros dos años al de menor rendimiento en 2009 (Figura 1). Lo anterior indicó menor adaptación del maíz a condiciones secas del medio, ya que el registro de

when DMY position for this crop changed from first in both 2007 and 2008 to last in 2009 (Figure 1). This indicates a lower adaption of maize to dry conditions, as a 45 % rainfall drop in 2009 in relation to 2007, caused a 82 % fall in DMY and only of 48 and 29 % in sorghum 75 and 20 cm distance between rows, respectively in the same time frame⁽¹⁹⁾. On the other hand, maize expressed its greater potential in favorable weather conditions. This fact was already known several decades back, as drops in DMY of 60 % in maize and of 50 % in sorghum growing with 50 % hydric deficit were reported⁽¹⁹⁾. Thus, DMY in maize was 11.7 and 8.0 t ha⁻¹ greater than in sorghum 75 and 20 cm, respectively, in 2007. In both sorghum treatments DMY was similar, averaging 15.5 t ha⁻¹ (Table

Cuadro 3. Medias del rendimiento de materia seca (DMY), número de plantas cosechadas por hectárea (NPHA), altura de la planta (AP), materia seca de la planta entera (MSPE), materia seca de órganos reproductivos (MSOR) y materia seca de órganos vegetativos (MSOV) de maíz y sorgo en tres años de evaluación

Table 3. Averages for dry matter yield (DMY), number of plants harvested per hectare (NPHA), plant height (AP), dry matter in the whole plant (MSPE), dry matter in reproductive organs (MSOR), dry matter in vegetative organs (MSOV)

	Years	Treatments		
		Maize at 75 cm	Sorghum at 75 cm	Sorghum at 20 cm
DMY, t ha ⁻¹	2007	25.27 a A	13.55 b A	17.40 b A
	2008	21.10 a B	10.51 c B	16.76 b A
	2009	4.49 b C	7.02 b C	12.33 a B
NPHA	2007	90000 c A	317833 b A	362500 a A
	2008	91166 c A	151166 b C	266250 a B
	2009	104444 c A	206666 b B	350000 a A
AP, cm	2007	288.75 a A	142.25 b A	130.50 c A
	2008	237.75 a B	121.75 b B	122.25 b A
	2009	117.00 a C	83.26 c C	102.53 b B
MSPE, g kg ⁻¹ MV	2007	360.50 a A	319.00 b A	290.00 c A
	2008	328.25 a B	309.25 ab A	296.75 b A
	2009	248.95 c C	317.17 a A	287.60 b A
MSOR, g kg ⁻¹ MV	2007	680.75 a A	542.25 b A	492.00 c A
	2008	503.50 a B	417.25 b B	398.25 b B
	2009	255.63 b C	358.85 a C	359.18 a C
MSOV, g kg ⁻¹ MV	2007	248.00 a A	233.25 a C	239.50 a A
	2008	267.50 a A	273.50 a B	261.50 a A
	2009	273.26 a A	301.86 a A	316.44 a A

Averages between columns followed by the same lowercase and between rows followed by the same capital letter are not significant in accordance with Student Newman Keuls ($\alpha = 0.05$).

46 % menos de lluvia acumulada en 2009, con respecto al primer año, redujo en 82 % el RMS del maíz, y sólo en 48 y 29 % los rendimientos de sorgo a 75 y 20 cm, respectivamente. Varias décadas atrás ya se había reportado que déficits en 50 % de disponibilidad de agua producía déficits de rendimientos iguales o superiores al 60 % en maíz y al 50 % en sorgo⁽¹⁹⁾. Por el contrario, el maíz expresó su mayor potencial para producir forraje en condiciones favorables de clima. Así en 2007 el RMS del maíz fue superior en 11.7 y 8 t ha⁻¹ con respecto a sorgo a 75 cm y 20 cm. En ambos tratamientos de sorgo los rendimientos fueron similares, promediando 15.5 t ha⁻¹ (Cuadro 3). El mayor RMS del maíz puede ser explicado por la altura promedio de sus plantas (146 y 158 cm más alta que la de sorgo 75 y 20 cm, respectivamente), y por su concentración de MSPE (41.5 y 70.5 g kg⁻¹ MV más que en sorgo 75 y 20 cm). Estos dos factores AP y MSPE, fueron los que compensaron el menor NPHA cosechadas de maíz, dando además por resultado el mayor rendimiento. Las variaciones en la concentración de la MSPE de los diferentes tratamientos estuvo relacionada ($r^2=0.85$; $P<0.01$) (Cuadro 4) con la concentración de MSOR (138.5 y 188.8 g kg⁻¹ MV más en maíz que en sorgo a 75 y 20 cm, en su orden); ya que la concentración

3). The greater DMY in maize can be explained through greater plant height (146 and 158 cm taller than sorghum 75 and 20, respectively) and its MSPE content (41.5 and 70 g kg⁻¹ MV more than in sorghum 75 and 20, respectively). These two factors, AP and MSPE, were those that compensated the lower NPHA harvested in maize. Variations in MSPE content in the different treatments is related ($R^2=0.85$; $P<0.01$) (Table 4) to MSOR content (138.5 and 188.8 g kg⁻¹ more in maize than in sorghum 75 and 20, respectively), as MSOV content was very similar in the three treatments, 240.2 g kg⁻¹ MV on average. In 2008 DMY fell by 4.2 t ha⁻¹ in maize and by 3.0 in sorghum 75 in relation to 2007, while sorghum 20-cm showed practically no changes (Table 3). However, maize remained in first place for DMY, 10.6 and 4.4 t ha⁻¹ DM more than both, sorghum 75 and sorghum 20, respectively (Table 1). Sorghum 75-cm was the least productive treatment regarding DMY in 2008. The greater DMY in maize was correlated to AP and MSPE content, being this last one correlated to MSOR, as MSOV did not suffer any changes ($P>0.05$) between the three treatments. Contrariwise, the greater DMY found in sorghum 20 cm in relation to sorghum 75 cm was due to a greater NPHA harvested (115,084 more plants), as AP, MSPE,

Cuadro 4. Correlaciones entre caracteres de rendimiento de materia seca (RMS), número de plantas por hectárea (NPHA), altura de la planta (AP), materia seca de la planta entera (MSPE), materia seca de órganos reproductivos (MSOR), materia seca de órganos vegetativos (MSOV), proteína (PROT), digestibilidad (DIGES) y lignina, de maíz y sorgo en tres años de evaluación

Table 4. Correlations between DMY, number of plants per hectare (NPHA), plant height (AP), dry matter in the whole plant (MSPE), dry matter in reproductive organs (MSOR), dry matter in vegetative organs (MSOV), protein (PROT), digestibility (DIGES) and lignin content, in maize and sorghum during the three year evaluation period

	NPHA	AP	MSPE	MSOR	MSOV	PROT	DIGES	LIGNINA
DMY	- 0.023	0.809 **	0.681 *	0.856 **	- 0.417	- 0.299	-0.012	-0.138
NPHA		- 0.554	- 0.271	- 0.092	- 0.009	0.890 *	- 0.704 *	0.858 ***
AP			0.707 *	0.803 **	- 0.450	- 0.781 *	0.344	- 0.525
MSPE				0.854 **	- 0.268	- 0.489	0.116	- 0.214
MSOR					- 0.635 *	- 0.446	- 0.167	0.005
MSOV						0.337	0.544	- 0.330
PROT							- 0.500	0.691
DIGEST								- 0.887 **

*, **, ***; Significance at 0.05, 0.01 y 0.001 probability, respectively.

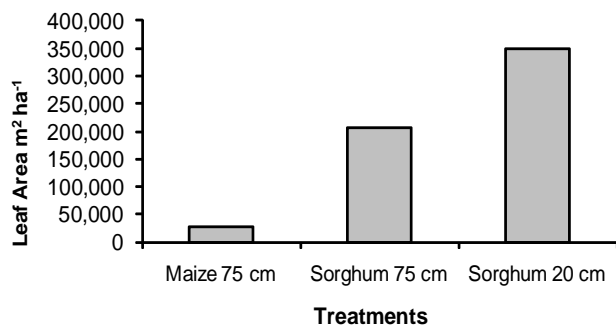
de MSOV fue semejante entre los tres tratamientos (240.2 g kg⁻¹ MV en promedio). En 2008 el RMS del tratamiento de maíz disminuyó en 4.2 t y en 3.0 t para el tratamiento de sorgo a 75 cm, sin haber existido cambios para sorgo a 20 cm, con respecto a 2007 (Cuadro 3). Sin embargo, el maíz mantuvo su posición de mayor rendimiento con 10.6 y 4.4 t ha⁻¹ más que en sorgo a 75 y 20 cm, en su orden (Figura 1). Sorgo a 75 cm fue el de menor RMS en 2008. El mayor rendimiento del maíz mantuvo correlación con la AP y la concentración de MSPE, estando esta última relacionada con la MSOR, ya que la MSOV no varió ($P > 0.05$) entre los tres tratamientos. Por el contrario, el mayor RMS del sorgo a 20 cm con respecto al sorgo a 75 cm se debió al mayor NPHA cosechadas del primero (diferencia de 115,084 plantas), dado que entre estos dos tratamientos los caracteres AP, MSPE, MSOR y MSOV fueron semejantes ($P > 0.05$). En 2009, el maíz redujo sustancialmente su RMS en 16.6 t ha⁻¹ con respecto a 2008 (Cuadro 3), lo que significó una disminución de 20.7 t ha⁻¹ con respecto a 2007. Sin embargo, esta reducción no dependió de la AP (el maíz mantuvo su mayor altura aún con un descenso 51 cm con respecto a 2008), sino de la reducción de la MSOR, la cual a su vez redujo la MSPE (la MSOV no varió con respecto a 2008) siendo el maíz el de menor RMS en 2009. Por el contrario entre los tratamientos de sorgo no hubo diferencias (Cuadro 3) en la concentración de MSOR (359 g

MSOR and MSOV were very similar ($P > 0.05$). In 2009 DMY in maize fell substantially, 16.8 t ha⁻¹ less than in 2008 and 20.7 t ha⁻¹ less than in 2007. However, this drop is not correlated to AP, as it remained taller than both sorghum 75 and 20, although 51 cm lower than in 2008, but to a drop in MSOR, which in turn caused a fall in MSPE as MSOV practically remained the same than in 2008. As already mentioned, maize DMY was the lower for all treatments in 2009. On the other hand, no differences for MSOR were found (Table 3) between sorghum treatments, 359.0 g kg⁻¹ MV, on average, greater than for maize by 103.4 g kg⁻¹ MV. A better adaption by sorghum to dry conditions is due to a more developed root system from the 5 to 6 leaf stage onwards, more dense and ramified than in maize, but not necessarily deeper⁽²⁾. Besides, sorghum leaves are covered with a wax film that limits evapotranspiration and its cells have an osmosis control mechanism that reduces dehydration⁽²⁰⁾. Thus, the greater DMY in 2009 was found in sorghum 20-cm, 5.3 t ha⁻¹ and 7.84 t ha⁻¹ more than for sorghum 75-cm and maize, respectively.

Sorghum 75-cm showed a greater MSPE content than sorghum 20-cm, but MSOR and MSOV content was similar for both treatments (Table 3). Due to this, the greater DMY in sorghum 20-cm is due to a greater NPHA, 143,334 pl ha⁻¹ more than for sorghum 75-cm and to a greater MSOR content than in maize, 103.5 g kg⁻¹ MV. The lower NPHA harvested in sorghum 75 in relation to sorghum 20-cm most probably is due to an increase in competition for nutrients between plants, as within-row planting density was higher, 24.7 seeds m⁻¹ vs 6.7 seeds m⁻¹ for sorghum 20 cm. Caravetta *et al*⁽⁹⁾ demonstrated that morphological characteristics of sorghum show response to changes in within-row plant distance, as light penetration improves and competition between plants decreases when within-row distance increases. Another possible cause for greater DMY was the larger leaf area observed in sorghum 20 cm (350,000 m² ha⁻¹) than in sorghum 75-cm (207,000 m² ha⁻¹) (Figure 2). Greater leaf area per area unit is obtained in optimal plant densities, thus making possible a high DMY, because plant growth is associated to the

Figura 2. Área foliar del maíz y sorgo sembrados a dos distancias entre surcos

Figure 2 Leaf area (AF) for maize and sorghum planted at two row distances



kg⁻¹ MV, en promedio) y este carácter en ambos tratamientos de sorgo fue superior al del maíz (diferencia de 103.4 g kg⁻¹ MV). La mejor adaptación del sorgo a condiciones secas del medio es producto del fuerte desarrollo de sus raíces a partir del estado de 5 a 6 hojas, siendo más densa y ramificada que la del maíz, pero no precisamente más profunda⁽²⁾. Además, las hojas de sorgo tienen serosidad que limita la evapotranspiración, y sus células cuentan con un mecanismo de ajuste osmótico que disminuye su deshidratación⁽²⁰⁾. Así, el sorgo sembrado a 20 cm registró el mayor RMS en 2009 con 5.3 t y 7.84 t ha⁻¹ más que en sorgo 75-cm y maíz.

Entre los dos tratamientos de sorgo, sorgo a 75 cm fue superior en concentración de MSPE pero semejante a sorgo con 20 cm en MSOR y MSOV (Cuadro 3). Por lo anterior, el mayor RMS del sorgo a 20 cm se debió a su mayor NPHA con respecto a sorgo con 75 cm (superior en 143,334 plantas), y a su mayor concentración en MSOR con respecto al maíz (superior en 103.5 g kg⁻¹ MV). El menor NPHA cosechadas en sorgo a 75 cm se debió posiblemente al incremento en la competencia por nutrientes entre plantas, dado a la mayor densidad de siembra dentro del surco (24.7 granos m⁻¹) que en sorgo a 20 cm (6.7 granos m⁻¹). Caravetta *et al.*⁽⁹⁾ demostraron que las características morfológicas del sorgo responden a cambios en la distancia entre plantas dentro del surco, mejorándose la penetración de luz y disminuyendo la competencia entre plantas a mayor espaciamiento entre ellas. Otra posible razón del mayor RMS fue la mayor área foliar (medida en 2009) observada en sorgo a 20 cm (350 mil m² ha⁻¹) comparado con sorgo a 75 cm (207 mil m² ha⁻¹) (Figura 2). Las mayores áreas foliares por unidad de área se obtienen en siembras óptimas de densidad de plantas, logrando un mayor RMS dado que la tasa de crecimiento de los cultivos están en función de la luz interceptada y de la tasa de intercambio de carbono^(21,22).

Así se observó que las variaciones del RMS estuvieron relacionadas con la AP ($r^2=0.81$; $P<0.01$) y con la concentración de MSPE ($r^2=0.68$; $P<0.05$), estando variaciones de la MSPE relacionadas con las variaciones de la MSOR ($r^2=$

amount of intercepted light and to carbon exchange rate^(21,22).

Thus, differences in DMY are related to both AP ($R^2=0.81$; $P<0.01$) and MSPE content ($R^2=0.68$; $P<0.05$), while disparities in MSPE are related to MSOR ($R^2=0.85$; $P<0.01$, Table 4). Differences in MSOR were the main cause for variations in DMY in the three treatments. This character showed its stronger development in 2007, thus causing in maize greater DMY in both 2007 and 2008, owing to its greater height. An increase in MSOR indicates a large nutrient translocation from the vegetative to the reproductive organs, due to favorable moisture conditions in 2007. Because of this, an inverse relationship ($R^2=-0.64$; ($P<0.05$)) between MSOR and MSOV was found (Table 4). For grain formation, plants acquire N from stems, leaves and soil, being its availability and solubility in soils greater when soils moisture is plentiful⁽⁵⁾. These favorable moisture conditions were observed in 2007.

Nutritive value

Even when year*treatment interaction was found for the three characters affecting nutritive value (Table 2), its magnitude was low ($P>0.05$) because both maize and sorghum 75 and 20 cm maintain their protein and lignin content and digestibility across the three years (Figure 3).

Taking into account three year averages, sorghum 20 cm recorded the higher protein content (104.1 g kg⁻¹ DM *vs.* 89.4 g kg⁻¹ MS and 70.5 g kg⁻¹ DM for sorghum 75-cm and maize, respectively), while maize presented greater digestibility (692 g kg⁻¹ DM *vs.* 636 g kg⁻¹ DM, average for both sorghum treatments) due to its lower lignin content (18 g kg⁻¹ DM *vs.* 28.8 g kg⁻¹ DM, average for both sorghum treatments). In studies performed on maize at 76 cm distance between rows, protein content similar to those in sorghum have been reported^(10,23). However, higher protein content was found in sorghum when planted at greater distance between rows⁽⁹⁾. Sorghum is more efficient in nitrogen uptake from soils per water unit used (0.60 kg N mm⁻¹ water) than maize (0.40 kg N mm⁻¹ water)⁽²⁴⁾, and also in water uptake in

0.85; $P < 0.01$) (Cuadro 4). Las variaciones de la MSOR fueron la causa principal de las variaciones del RMS en los tres tratamientos. Este caracter tuvo su mayor desarrollo en 2007, dándole el mayor RMS al maíz, en 2007 y 2008, gracias a la mayor altura que esta especie presentaba. El incremento de la MSOR es indicativo de una traslocación importante de nutrientes de los órganos vegetativos a los órganos reproductivos, dada por las condiciones ambientales favorables de humedad del primer año. Por lo anterior, se observó una relación inversa ($r^2 = -0.64$; $P < 0.05$) entre MSOR y MSOV (Cuadro 4). Para la formación de granos la planta toma el nitrógeno de los tallos, hojas y del suelo, siendo la solubilidad y disponibilidad del nitrógeno del suelo mayor en condiciones húmedas del mismo⁽⁵⁾. Estas condiciones favorables de humedad se dieron principalmente en 2007.

Valor nutritivo

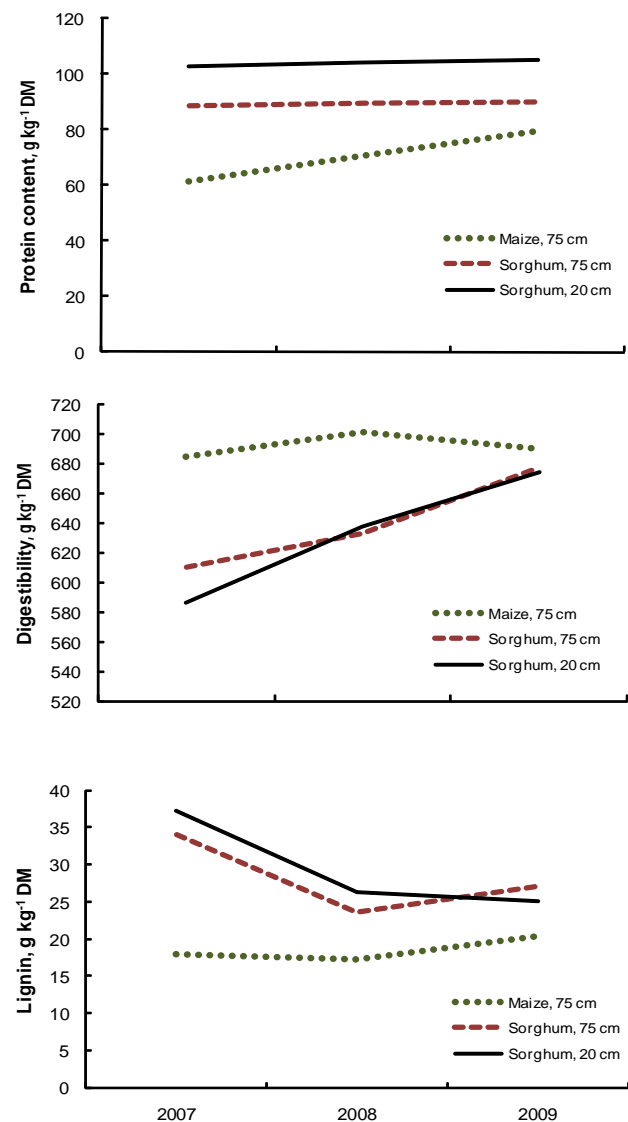
Aún cuando hubo interacción año x tratamiento para los tres caracteres del valor nutritivo (Cuadro 2), la magnitud de los cambios fue baja ($P > 0.05$) dado que tanto el maíz como el sorgo a 75 y 20 cm mantuvieron sus concentraciones de proteína, digestibilidad y lignina entre los diferentes años (Figura 3).

Promediando los años evaluados, el sorgo a 20 cm registró las mayores concentraciones de proteína (104.1 g kg⁻¹ MS vs 89.4 y 70.5 g kg⁻¹ MS del sorgo a 75 cm y maíz, respectivamente) y el maíz presentó la mayor digestibilidad (692 vs 636 g kg⁻¹ MS promedio de los dos tratamientos de sorgo) debido a su menor concentración de lignina (18 vs 28.8 g kg⁻¹ MS del sorgo). Se han reportado concentraciones de proteína en maíz comparables con las de sorgo^(10,23) en estudios realizados a 76 cm entre surcos. Sin embargo, también se ha observado mayor concentración de proteína en plantas de sorgo sembradas a mayor espacio dentro del surco⁽⁹⁾. El sorgo presenta una mayor eficiencia en la toma de nitrógeno del suelo por unidad de agua consumida (0.60 kg N mm⁻¹ de agua) con respecto al maíz (0.40 kg N mm⁻¹)⁽²⁴⁾, demostrando también mayor eficiencia del uso del agua cuando es irrigado⁽¹⁰⁾. Lo anterior puede ser una explicación de la mayor

irrigated conditions⁽¹⁰⁾. This could help explain the greater protein content in sorghum regarding maize. The difference in protein content between the two sorghum treatments could be explained in part because of a lower MSPE in sorghum 20-cm than in sorghum 75-cm, with the exception of 2008 when it was comparable (Table 3). Therefore, a lower MSPE content is related to a greater protein content^(25,26). Another cause could be due to a

Figura 3. Efecto de año sobre el valor nutritivo del maíz y sorgo sembrados a dos distancias entre surcos

Figure 3. Effect of year on nutritive value in maize and in sorghum planted at two row distances (75 and 20 cm)



concentración de proteína del sorgo con respecto al maíz. La variación en concentración de proteína entre los dos tratamientos de sorgo se puede explicar, en parte, a la menor concentración de MSPE de sorgo a 20 cm, a excepción del segundo año en donde fue semejante al sorgo a 75 cm (Cuadro 3). Así, a menor concentración de MSPE mayor concentración de la proteína en la planta^(25,26). Otra razón se debió a la relación entre la proteína con el número de plantas ha⁻¹ ($r^2 = 0.89$; $P < 0.05$) (Cuadro 4), siendo el NPHA mayor en sorgo 20-cm, dando origen, por consiguiente, a la mayor área foliar ha⁻¹ (Figura 2). De hecho, se han reportado, como se esperaba, concentraciones de proteína en sorgo significativamente mayores en hojas que en tallos⁽²⁷⁾. Así, el área foliar fue un factor adicional en el incremento de la concentración de proteína en sorgo 20-cm.

Entre los dos tratamientos de sorgo no se observaron diferencias en digestibilidad durante los tres años (636 g kg⁻¹ MS en promedio), pero es importante observar que ambos tratamientos tuvieron un incremento lineal en 77.2 g kg⁻¹ MS al pasar del primero al tercer año, manteniéndose la digestibilidad sin cambios importantes en el maíz durante los tres años (Figura 3). Lo anterior permitió que la diferencia en digestibilidad de 86.4 g kg⁻¹ MS entre el maíz y el promedio de ambos tratamientos de sorgo registrado en 2007 se redujera a una diferencia de 14.5 g kg⁻¹ MS en 2009. El aumento de la digestibilidad en sorgo pudo ser el resultado de la disminución de la concentración de lignina en la planta, principalmente al pasar de 2007 a 2009 (Figura 3). La digestibilidad es el punto débil del sorgo⁽¹¹⁾, ya que éste con frecuencia presenta mayores concentraciones de FDN con respecto al maíz^(28,23). Esto indica la necesidad de estudios sobre la variabilidad genética de la digestibilidad en sorgo, que conlleven a la identificación de genotipos o a la creación de variedades de mayor digestibilidad. Por otra parte, la digestibilidad tuvo relación inversa con el NPHA ($r^2 = -0.70$; $P < 0.05$) (Cuadro 4). Se ha reportado que a mayor densidad de plantas por hectárea del sorgo se incrementa la síntesis de paredes celulares, disminuyendo por consiguiente la digestibilidad⁽¹⁰⁾.

link between protein content with plant density ($R^2 = 0.89$; $P < 0.05$, Table 4), being NPHA larger in sorghum 20-cm, therefore being the origin of a greater leaf area per hectare (Figure 2). In fact, it is reported, as expected, significantly larger protein content in sorghum leaves than in stems⁽²⁷⁾. Therefore, leaf area is an additional factor for explaining protein content increase in sorghum 20-cm.

No significant differences were found between the two sorghum treatments for digestibility during the three years of the experiment (636 g kg⁻¹ on average), but is important to stress that both treatments showed a 77.2 g kg⁻¹ linear increase between 2007 and 2009, while maize digestibility remained practically without changes (Figure 3). This brought about a drop in digestibility difference between maize and sorghum from 86.4 g kg⁻¹ DM in 2007 to 14.5 g kg⁻¹ DM in 2009. The increase in digestibility in sorghum could be in response to a decrease in lignin content (Figure 3). Digestibility is the weak point of sorghum⁽¹¹⁾, because it usually shows greater neutral detergent fiber content than maize^(23,28). This shows the way for more studies on genetic variability of digestibility in sorghum that implies identifying genotypes and creating new materials with greater digestibility. On the other hand, NPHA and digestibility show an inverse relationship ($R^2 = -0.70$; $P < 0.05$, Table 4). It has been reported that when plant density in sorghum increase so does cell wall synthesis, thus reducing digestibility⁽¹⁰⁾. Last but not least, in the present study, as was to be expected, lignin content and digestibility showed a strong inverse relationship ($R^2 = -0.88$; $P < 0.05$). It seems that a narrow distance between rows not only increases DMY in sorghum, but nutritive value too, when protein content is used as its indicator.

CONCLUSIONS AND IMPLICATIONS

Sorghum planted at 20 cm distance between rows can improve on maize in both DMY and nutritive value, measured through protein content, in water stress conditions. On the other hand, maize shows greater DMY and better nutritive value, if measured through digestibility, with adequate soil moisture. Consequently, maize is more vulnerable to weather

Por último, en este trabajo se observó que, y como era de esperarse, la digestibilidad tuvo alta relación inversa ($r^2 = -0.88$; $P < 0.05$) con la concentración de lignina, ya que la lignina es esencialmente indigestible. Al parecer, la siembra estrecha entre surcos no sólo incrementa el RMS del sorgo, sino también su valor nutritivo medido por medio de la concentración de proteína.

CONCLUSIONES E IMPLICACIONES

Se concluye que la siembra del sorgo a 20 cm entre surcos puede superar significativamente al maíz en RMS y en valor nutritivo, medido por la concentración de proteína, en situaciones ambientales en que la disponibilidad del agua es un factor limitante. Por el contrario, el maíz presenta mayores rendimientos que sorgo y mejor valor nutritivo, medido por medio de la digestibilidad, en ambientes favorables de lluvia, observándose de esta manera la mayor vulnerabilidad del maíz a las variaciones del medio. El sorgo tiene un papel muy importante hoy en día en que es necesario adaptar la agricultura a la evolución del clima, sobre todo a las condiciones en que la disponibilidad de agua es un factor limitante.

AGRADECIMIENTOS

El primer autor agradece al INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias) por su apoyo en la realización de su estancia de investigación (año sabático) en el INRA de Lusignan, Francia, así como a los técnicos del INRA (Institut National de la Recherche Agronomique), en especial a Guillaume Audebert, por su ayuda en los trabajos de campo y de laboratorio.

LITERATURA CITADA

1. Oliver AL, Pedersen JF, Grant RJ, Klopfenstein TJ. Comparative effects of the sorghum bmr-6 and bmr-12 genes: I. Forage sorghum yield and quality. *Crop Sci* 2005;45:2234-2239.

conditions. Therefore, sorghum holds an important role nowadays when it is extremely necessary to adapt agriculture to climate change, especially in water stress conditions.

ACKNOWLEDGMENTS

The first author wishes to express his gratitude to INIFAP for its support during his research sojourn during his sabbatical year at the Unité Expérimentale Fourrages et Environnement (UEFE) of the Institut Nationale de Recherche Agricole (INRA) in Lusignan, France, and also to INRA staff, especially Guillaume Audibert for his help in both field and laboratory work.

End of english version

-
2. Legarto J. L'utilisation en ensilage plante entière des sorghos grânes et sucres : intérêts et limites pour les régions sèches. *Fourrages* 2000;163:323-338.
 3. Emile JC, Charrier X, Do Nacimiento WG et Barrière Y. Utilisation d'ensilage de sorgho plante entière pour l'alimentation des vaches laitières. *Renc Rech Ruminant* 2005;12:209.
 4. Dehaynin N. Utilisation du sorgho en alimentation animale [Thèse Doctorat]. Université Claude-Bernard Lyon I. 2007.
 5. Borrell AK, Hammer GL. Nitrogen dynamics and the physiological basis of stay-green in sorghum. *Crop Sci* 2000;40:1295-1307.
 6. Didier G. Culture et utilisation du sorgho grain ensilé en plante entière pour l'engraissement des taurillons. *Compte rendu d'essai n° 91093*. Institut d'Elevage et CEESO de Soual. 1991.
 7. Humphreys JM, Chapple CC. Rewriting the lignin road-map. *Curr Opin Plant Biol* 2002;5:224-229.
 8. Baumhardt RL, Howell TA. Seeding practices, cultivar maturity and irrigation effects on simulated grain sorghum yield. *Agron J* 2006;98:462-470.
 9. Caravetta GJ, Cherney J.H, Johnson KD. Within-row spacing influences on diverse sorghum genotypes: II. Dry matter yield and forage quality. *Agron J* 1990;82:210-215.
 10. Marsalis MA, Angadi SV, Contreras-Govea FE. Dry matter yield and nutritive value of corn, forage sorghum, and BMR forage sorghum at different plant populations and nitrogen rates. *Field Crops Res* 2010;116:52-57.
 11. Barrière Y, Guillet C, Goffner D, Fichon M. Genetic variation and breeding strategies for improved cell wall digestibility in annual forage crops. A Review. *Anim Res* 2003;52:193-228.
 12. Darby HM, Lauer JG. Harvest date and hybrid influence on corn forage yield, quality, and preservation. *Agron J* 2002;94:559-566.

13. Bolaños-Aguilar ED, Huygue C, Ecalte C, Hacquet J, Julier B. Effect of cultivar and environment on seed yield in alfalfa. *Crop Sci* 2002;42:45-50.
14. FAO-ISRIC. Guidelines for Soil Description. Revised, third ed. Rome; Food and Agricultural Organisation; 1990.
15. Djè Y, Heuertz M, Ater M, Lefebvre C, Vekemans X. Evaluation de la diversité morphologique des variétés traditionnelles de sorgho du Nord-ouest du Maroc. *Biotech Agron Soc Environ* 2007;11:39-49.
16. McKee GW. A coefficient for computing leaf area in hybrid corn. *Agron J* 1964;56:240-241.
17. Stickler FC, Wearden S, Pauli AW. Leaf area determination in grain sorghum. *Agron J* 1961;53:187-188.
18. SAS Institute. Statistical Analysis System for Windows, Release 9.1.3. SAS Institute, Cary, NC. 2003.
19. Langlet R. Sensibilité du maïs et du sorgho au déficit hydrique. *Ann Agro* 1971;404:425-450.
20. Newton RJ, Bhaskaran S, Puryear JD, Smith RH. Physiological changes in cultured sorghum cells in response to induced water stress. *Plant Physiol* 1986;81:626-629.
21. Cox WJ. Whole-plant physiological and yield responses of maize to plant density. *Agron J* 1996;88:489-496.
22. Barbieri PA, Sainz HR, Rozas FH, Andrade, and H.E. Echeverria. Row spacing effects at different levels of nitrogen availability in maize. *Agron J* 2000;92:283-288.
23. Miron J, Zuckerman E, Adin G, Soloman R, Shoshanic E, Nikbachat M, Yosef E, *et al.* Comparison of two forage sorghum varieties with corn and the effect of feeding their silages on eating behaviour and lactation performance of dairy cows. *Anim Feed Sci Technol* 2007;139:23-39.
24. Lemaire G, Charrier X, Hébert Y. Nitrogen uptake capacities of maize and sorghum crops in different nitrogen and water supply conditions. *Agronomie* 1996;16:231-246.
25. Gastal F, Lemaire G. N uptake and distribution in crops: An agronomical and ecophysiological perspective. *J Exp Bot* 2002;53:789-799.
26. Juárez HJ, Bolaños-Aguilar ED. Las curvas de dilución de la proteína como alternativa para la evaluación de pastos tropicales. *Universidad y Ciencia. Trópico Húmedo* 2007;23(1):81-90.
27. Singh SP, Luthra YP, Joshi UN. Biochemical differences in some forage sorghum varieties in relation to *Pyrilla perpusilla* Walker infestation. *Acta Phytolopathol Entomol Hungarica* 2007;42:17-23.
28. Olivier AL, Grant RJ, Pedersen JF, O'Rear J. Comparison of brown midrib-6 and -18 forage sorghum with conventional sorghum and corn silage in diets of lactating dairy cows. *J Dairy Sci* 2004;87:637-644.