

## Rendimiento y calidad de híbridos de sorgo con y sin nervadura café\*

## Yield and quality of sorghum hybrids with and without brown midrib

Eduardo Daniel Bolaños Aguilar<sup>1§</sup>, Jean Claude Emile<sup>2</sup> y Guillaume Audebert<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Programa de Forrajes, Campo Experimental Huimanguillo, INIFAP. Carretera Huimanguillo-Cárdenas km 1. C. P. 86400 Huimanguillo, Tabasco, México. Tel. 01 917 3750397. <sup>2</sup>Unidad Experimental de Forrajes y Medio Ambiente del Instituto Nacional de Investigaciones Agronómicas de Francia (INRA), C. P. 86600 Lusignan, Francia.

<sup>§</sup>Autor para correspondencia: bolanos.eduardo@inifap.gob.mx.

### Resumen

El objetivo fue comparar el rendimiento de materia seca (RMS) y la calidad de variedades de sorgo de grano y forrajero con o sin nervadura café (*bmr*), al emplear plantas con concentraciones promedio de 300 g kg<sup>-1</sup> de MS. Se estudiaron tres variedades de grano (Solarius, Aralba y Topsilo) y tres forrajeras (Sweet Virginia, Big Kauna y Sucrosorgho). Sweet Virginia and Big Kahuna contienen el gen *bmr*. El RMS varió de 11.10 t, de Topsilo, a 17.12 t ha<sup>-1</sup> de Sweet Virginia, relacionada con la altura de planta y con la proporción tallo/planta. Topsilo tuvo mayor número de rebrotes (1.5 m<sup>-1</sup>). La relación panícula/planta no fue diferente entre variedades. El número de plantas m<sup>-1</sup> varió entre variedades pero no afectó el RMS. La concentración de proteína varió de 75.45 g kg<sup>-1</sup> MS en Big Kahuna, a 104.3 g kg<sup>-1</sup> MS en Solarius, y tuvo relación inversa con el RMS, con la altura de la planta y con la relación tallo/planta. Las variedades con mayor concentración de proteína (Solarius, Aralba y Topsilo), fueron las de menor RMS, menor altura y menor relación tallo/planta. El área foliar por planta fue la fuente de variación de la proteína entre las variedades de grano. La digestibilidad varió de 596 g kg<sup>-1</sup> MS en Aralba, a 720.4 g kg<sup>-1</sup> MS en Sweet Virginia, y estuvo relacionada con la concentración de lignina. Esta última variedad junto con Big Kahuna y Solarius fueron las de mayor digestibilidad. La alta digestibilidad de Solarius (no portador de *bmr*) se debió a su baja proporción (0.35) tallo/planta. La variedad Sweet

### Abstract

The aim was to compare yield of dry matter (RMS) and quality of grain and foliage sorghum varieties with and without brown midrib (*bmr*), by using plants with average concentrations of 300 g kg<sup>-1</sup> of DM. Three grain (Solarius, Aralba and Topsilo) and three forage (Sweet Virginia, Big Kauna and Sucrosorgho) varieties were studied. Sweet Virginia and Big Kahuna contain *bmr* gene. RMS varied from 11.10 t, of Topsilo, to 17.12 t ha<sup>-1</sup> of Sweet Virginia, related with plant height and stem/plant proportion. Topsilo had greater number of sprouts (1.5 m<sup>-1</sup>). Relationship panicle/plant was similar between varieties. Number of plants m<sup>-1</sup> had variation between varieties but did not affect RMS. Protein concentration was from 75.45 g kg<sup>-1</sup> DM in Big Kahuna, up to 104.3 g kg<sup>-1</sup> DM in Solarius, and had inverse relationship with RMS, with plant height and with stem/plant ratio. Varieties with greater protein concentration (Solarius, Aralba and Topsilo), showed least RMS, lower height and lower ratio stem/plant. Foliar area per plant was source of protein variation between grain varieties. Digestibility ranged from 596 g kg<sup>-1</sup> DM in Aralba, up to 720.4 g kg<sup>-1</sup> DM in Sweet Virginia, and was related with lignin concentration. This last variety with Big Kahuna and Solarius were the best in digestibility. The high digestibility from Solarius (not *bmr* carrier) was because its low stem/plant ratio (0.35). Sweet Virginia variety is an important option in animal food since its high RMS and digestibility.

Virginia es una importante opción en la alimentación animal dado a su elevado RMS y digestibilidad. Solarius tuvo bajo RMS, pero es útil cuando se requieren altos consumos de materia seca digestible por animal (vacas lecheras), además de contar con la mayor concentración de proteína.

**Palabras clave:** *Sorghum bicolor*, digestibilidad, proteína, rendimiento de materia seca.

## Introducción

La estacionalidad en la producción animal producto de los periodos secos del año, es un problema latente. Con el ensilado se continúa con la alimentación de calidad de los animales durante todo el año, pero los periodos secos son cada vez más largos, y se requieren forrajes más adaptados a estas condiciones (Emile *et al.*, 2005; Oliver *et al.*, 2005). El maíz forrajero es el más utilizado en conservación de forrajes por su alto valor nutritivo y en particular por su alta digestibilidad (Olivier *et al.*, 2005). Sin embargo, el maíz no es, entre los forrajes utilizados para el ensilado, el más adaptado a los periodos de estrés hídrico, ya que requiere ser irrigado en estas condiciones (Legarto, 2000; Emile *et al.*, 2005; Dehaynin, 2007).

Ante la escasez de agua, el sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) muestra mayor adaptación que el maíz (Borrell et Hammer, 2000). Una planta de sorgo utiliza de 80 a 100 ml menos de agua que una planta de maíz durante el período productivo (Didier, 1991). Además, las raíces densas y ramificadas, y la menor velocidad de crecimiento del área foliar, hacen que el sorgo sea más eficiente en el uso del nitrógeno del suelo (Legarto, 2000). Sin embargo, el sorgo es menos utilizado que el maíz por su menor digestibilidad dado a su alta concentración de lignina (Traxler *et al.*, 1998) lo que afecta la producción animal (Lusk *et al.*, 1984; Humphreys y Cahpple, 2002; Oliver *et al.*, 2005). En busca de mejorar la digestibilidad de ésta gramínea, se ha observado que la planta de sorgo a una concentración de 300 g kg<sup>-1</sup> de MS alcanza una digestibilidad de 650 g kg<sup>-1</sup> MS (Barrière *et al.*, 2003).

Por otra parte, el control genético de la lignificación a través de la manipulación del gen *bmr* (brown midrib) o nervadura café, reduce el contenido de lignina, incrementando la digestibilidad del forraje (Cherney *et al.*, 1991; Gerhardt *et al.*, 1994; Vogel y Jung, 2001). Por consiguiente, se han obtenido altas producciones de leche con sorgo que contiene *bmr* que con sorgo normal (Aydin *et al.*, 1999; Emile *et al.*,

Solarius had low RMS, but is useful for high consumption of digestible dry matter (dairy cows), also has better protein concentration.

**Key words:** *Sorghum bicolor*, digestibility, protein, dry matter yield.

## Introduction

Season in animal production during year drought periods, is an important concern. After ensilage the quality food for animals continues throughout year, but drought periods are every time longer and it is required forage with more adaptation to such conditions (Emile *et al.*, 2005; Oliver *et al.*, 2005). By its high nutrimental value and in particular its high digestibility (Olivier *et al.*, 2005), forage maize is the most used for keeping forages. However, among forages used for ensilage, maize it is not the most adapted to hydric stress, since it requires irrigation under these conditions (Legarto, 2000; Emile *et al.*, 2005; Dehaynin, 2007).

Facing water scarcity, sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench.) shows better adaptation that maize (Borrell et Hammer, 2000). During productive period sorghum plant use at least from 80 to 100 ml less water than maize plant (Didier, 1991). Also, dense and ramified roots, and lower speed of foliar area growth, make sorghum most efficient in soil nitrogen use (Legarto, 2000). However, sorghum is less used than maize due its lower digestibility thanks to its high lignin concentration (Traxler *et al.*, 1998) which affects animal production (Lusk *et al.*, 1984; Humphreys and Cahpple, 2002; Oliver *et al.*, 2005). Searching for improve its digestibility, it has been observed that sorghum plant at 300 g kg<sup>-1</sup> of DM concentration reaches 650 g kg<sup>-1</sup> DM of digestibility (Barrière *et al.*, 2003).

On the other hand, lignification genetic control through manipulating brown midrib gene (*bmr*), reduces lignin content, increasing forage digestibility (Cherney *et al.*, 1991; Gerhardt *et al.*, 1994; Vogel and Jung, 2001). Therefore, high milk productions have been obtained with sorghum containing *bmr* than with normal sorghum (Aydin *et al.*, 1999; Emile *et al.*, 2005). Thanks to high variability on sorghum without *bmr* quality (Lema *et al.*, 2000), there can be found plants with similar quality to those that have *bmr* gene. Other effort to improve sorghum production and quality has been agronomical practices. It has been detected that sorghum sown at 20 cm between furrows, during hydric

2005). Gracias a la alta variabilidad de la calidad del sorgo sin *bmr* (Lema *et al.*, 2000), pudiera encontrarse plantas con calidad comparable a aquellas que contienen el gen *bmr*. Otro esfuerzo para mejorar la producción y calidad del sorgo ha sido con prácticas agronómicas. Se ha observado que el sorgo sembrado a 20 cm entre surcos, en periodos de estrés hídrico, supera al maíz en producción de forraje y en proteína, siendo el área foliar la principal fuente de variación de la calidad del sorgo (Bolaños-Aguilar y Emile, 2011). El objetivo del presente estudio fue comparar variedades de sorgo de grano y forrajeros con y sin nervadura café (*bmr*) en rendimiento y calidad (proteína, digestibilidad y lignina), cuando la planta de sorgo contiene una concentración de 300 g kg<sup>-1</sup> de MS, en promedio.

## Materiales y métodos

El estudio se realizó en condiciones de campo en la Estación Experimental de Forrajes y Medio Ambiente del Instituto Nacional de Investigación Agronómica (INRA), en Lusignan, Francia (46° 25' 07 latitud norte, 0° 07' 06 longitud oeste, altitud 149 m) en 2009. Se estudiaron seis variedades de sorgo, tres de grano (Solarius, Aralba y Topsilo) y tres forrajeros (Sweet Virginia, Big Kauna y Sucrosorgho). Sweet Virginia y Big Kahuna contienen el gen *bmr*. Éstas seis variedades son representativas del ensilado en Francia (Emile *et al.*, 2005). El trabajo se estableció en un suelo con pH= 6.8, color café, textura arcillo-limoso, estructura poliédrica, y 3% de materia orgánica (Bolaños-Aguilar *et al.*, 2002). La siembra se realizó el 02 de junio 2009, a 5 cm de profundidad, a 20 cm entre surcos y a densidad convencional de 33 granos m<sup>2</sup>. Se estableció en parcelas adyacentes de 720 m<sup>2</sup> (12 x 60 m) cada una. Cada parcela fue una repetición. No hubo irrigación ni empleo de pesticidas. Para conocer el momento de cosecha (plantas con 300 g kg<sup>-1</sup> de MS) se tomaron muestras, a partir de que 50% de las plantas iniciaron floración, dos veces por semana a lo largo de un metro lineal de tres surcos al azar por parcela. La concentración de MS de la planta (MSPL) fue de 320 g kg<sup>-1</sup> y se obtuvo el 16 de septiembre en todas las parcelas. Durante el período de crecimiento del sorgo (del 2 de junio al 16 de septiembre) la precipitación pluvial acumulada fue de sólo 163 mm (la precipitación en la región, en el mismo período, es superior a los 300 mm) con temperatura promedio de 18 °C.

Una vez alcanzada la MSPL de 320 g kg<sup>-1</sup>, las plantas y rebrotes fueron cosechados a una altura de 10 cm del suelo, y pesados en verde, a lo largo de un metro lineal de cinco surcos tomados al azar por parcela. Se obtuvo el número

stress periods, overcomes to maize in forage production and protein, being foliar area the main source of variation of sorghum quality (Bolaños-Aguilar and Emile, 2011). The aim of this study was to compare grain and forage sorghum varieties with and without *bmr* in yield and quality (protein, digestibility and lignin), when sorghum plant has in average 300 g kg<sup>-1</sup> of DM concentration.

## Materials and methods

Study was made under field conditions at Estación Experimental de Forrajes y Medio Ambiente from Instituto Nacional de Investigación Agronómica (INRA), in Lusignan, France (46° 25' 07 north latitude, 0° 07' 06 west longitude, height 149 m) in 2009. Six sorghum varieties were studied, three for grain (Solarius, Aralba and Topsilo) and three for forage (Sweet Virginia, Big Kauna and Sucrosorgho). Sweet Virginia and Big Kahuna have *bmr* gene. These six varieties are representative from ensilage in France (Emile *et al.*, 2005). The work was set in soil with pH= 6.8, brown color, clay-lime texture, polyhedral structure, and 3% of organic matter (Bolaños-Aguilar *et al.*, 2002). Sow was made on June 2<sup>nd</sup>, 2009, at 5 cm deep, at 20 cm between furrows and conventional density of 33 grains m<sup>2</sup>. It was set in adjacent plots of 720 m<sup>2</sup> (12 x 60 m) each.

Each plot was a repetition. No irrigation or pesticide was used. To know harvest time (plants with 300 g kg<sup>-1</sup> of DM) samples were taken, after 50% of plants started to flowering, twice per week along one lineal meter of three furrows at random per plot. DM concentration for plant (MSPL) was of 320 g kg<sup>-1</sup> and was obtained on September 16<sup>th</sup> in all plots. During sorghum growth period (from June 2<sup>nd</sup> to September 16<sup>th</sup>) accumulated rainfall precipitation was of only 163 mm (rainfall in this region, for the same period, is greater than 300 mm) with average temperature of 18 °C.

After reaching MSPL of 320 g kg<sup>-1</sup>, plants and sprouts were harvested at height of 10 cm from soil, weighed in fresh, along one lineal meter of five furrows randomly selected per plot. Number of plants (NPL) was obtained as well as number of sprouts (NRB) per lineal meter. Foliar area of third leaf was measured (Dejè *et al.*, 2007) for each plant, multiplying length times width and times factor 0.747 (Stickler *et al.*, 1961). Another process was to calculate foliar area per plant (AFPL) multiplying foliar area of third leaf times number of leaves per plant.

de plantas (NPL) y el número de rebrotes (NRB) por metro lineal. Se midió el área foliar de la tercera hoja (Dejè *et al.*, 2007) de cada planta, multiplicando el largo por el ancho y por el factor 0.747 (Stickler *et al.*, 1961). Oro proceso fue calcular el área foliar por planta (AFPL) multiplicando el área foliar de la tercera hoja por el número de hojas por planta.

Posteriormente, todas las plantas de cada metro fueron separadas en: tallos, hojas y panículas, y fueron secados separadamente en estufa de aire forzado a 60 °C durante 48 h, y pesados para calcular la proporción de cada fracción. Con la suma de los pesos secos de tallos, hojas y panículas, se obtuvo el peso seco del material cosechado de un metro, lo cual se dividió por el NPL m<sup>-1</sup> para obtener el peso seco de una planta, que junto con su peso verde se estimó el (%) de MS de la planta entera (MSPE). El rendimiento de materia seca por hectárea (RMS) se obtuvo con el peso seco promedio de una planta, multiplicado por el número de plantas por hectárea (Núm. de plantas ha<sup>-1</sup>= NPL m<sup>-1</sup> x 100 m x 500 surcos). Se calculó la relación tallo/ planta y la relación panícula/ planta. Ambas relaciones fueron en base al peso seco de los diferentes componentes.

Después del muestreo, todas las parcelas fueron cosechadas en su totalidad, y del forraje cosechado se tomaron tres muestras por parcela para ser molidas a tamaño de partícula de 1 mm y secadas a 60 °C por 48 h. A estas muestras se les determinó el valor nutritivo. Las muestras fueron analizadas por la técnica de absorción de infrarrojo cercano (NIRSystems, Inc., Silver Spring, MD 20904, USA) para predecir los niveles de concentración (en g kg<sup>-1</sup> MS) de proteína, digestibilidad y lignina en planta entera. Las ecuaciones fueron desarrolladas para sorgo, basadas en el análisis de 400 muestras de sorgo cosechadas durante el período 2003 a 2007 en Lusignan. El análisis de varianza fue en bloques completos al azar con tres repeticiones con apoyo del programa GLM del SAS (SAS, 2003). La comparación de medias se fue con la prueba de Student Newman Keuls ( $\alpha=0.05$ ) y la correlación entre caracteres con proc. CORR (SAS, 2003).

## Resultados y discusión

### Componentes del rendimiento de materia secas

La concentración de MSPL de sorgo al momento de cosecha fue de 320 g kg<sup>-1</sup>, y no fue diferente ( $p>0.05$ ) entre variedades (Cuadro 1). Las seis variedades requirieron 108 días de

Then, all plants of each meter were divided in: stems, leaves and panicles, and were dried apart in forced air stove at 60 °C during 48 h, and weighed to calculate proportion of each fraction. With the sum of dry weight of stems, leaves and panicles, from harvested 1 meter material dry weight was obtained, which was divided by NPL m<sup>-1</sup> to obtain dry weight of one plant, that together with its fresh weight whole plant DM (MSPE) was estimated. Dry matter yield per hectare (RMS) was obtained average dry weight of one plant, times number of plants per hectare (number of plants ha<sup>-1</sup>= NPL m<sup>-1</sup> x 100 m x 500 furrows). Ratio stem/plant and ratio panicle/plant were calculated. Both were made based on different components.

After sampling, all plots were totally harvested, and from harvested forage three samples per plot were taken to be crushed at a particle size of 1 mm and dried at 60 °C during 48 h. Nutritious value for these samples was determined; they were analyzed by near infrared absorption technique (NIRSystems, Inc., Silver Spring, MD 20904, USA) to predict concentration levels (in g kg<sup>-1</sup> DM) of protein, digestibility and lignin in whole plant. The equations were developed for sorghum, based on analysis of 400 sorghum samples harvested during 2003 to 2007 period in Lusignan. The analysis of variance was made at complete random blocks with three repetitions with the help of software GLM from SAS (SAS, 2003). Mean comparison was made with Student Newman Keuls ( $\alpha=0.05$ ) test and correlation between characters with procedure CORR (SAS, 2003).

## Results and discussion

### Components of dry matter yield

Sorghum MSPL concentration at the moment of crop was 320 g kg<sup>-1</sup>, and was not different ( $p>0.05$ ) between varieties (Table 1). Six varieties required 108 days to growth to reach such DM concentration, which indicated homogeneity in plants maturity at the beginning the study.

Variety was an important source of variation ( $p<0.0001$ ) for RMS, which varied from 11.10 t, on grain variety Topsilo, up to 17.12 t ha<sup>-1</sup> on forage variety Sweet Virginia (Table 1). RMS was related to plant height ( $r^2=0.94$ ;  $p<0.01$ ), which in turn was closely related ( $r^2=0.89$ ;  $p<0.05$ )

crecimiento para alcanzar dicha concentración de MS, lo que indicó una homogeneidad en la madurez de las plantas al iniciar el estudio.

with stem/plant ratio (Table 2). The two varieties with higher height were Big Kahuna and Sweet Virginia, both with an average height of 198 cm and characterized by

**Cuadro 1. Medias para los componentes del rendimiento y calidad de seis variedades de sorgo en 2009 en Lusignan, Francia. Table 1. Means for yield and quality components of six sorghum varieties in 2009 at Lusignan, Francia.**

Caracter	Media	Variedades					
		Solarius	Aralba	Topsilo	Sweet Virginia	Big Kahuna	Sucro-sorgo
Componentes del rendimiento:							
Materia seca por planta (MSPL), g kg <sup>-1</sup>	312.5	330.7 a	293.0 a	311.8 a	305.3 a	266.0 a	368.3 a
Rendimiento de MS (RMS), t ha <sup>-1</sup>	13.1	12.3 c	11.25 c	11.1 c	17.1 a	16.1 ab	13.8 bc
Número de plantas m <sup>-1</sup>	5.53	7.0 a	5.0 bc	4.5 c	4.8 c	5.6 bc	6.2 ab
Altura, cm	142.0	100.9 c	83.2 c	101.0 c	193.6 a	202.5 a	171.0 b
Número de rebrotes, m <sup>-1</sup>	0.43	0.75 b	0.20 b	1.5 a	0.0 b	0.16 b	0.0 b
Área foliar planta <sup>-1</sup>	296.1	250.3 c	340 ab	328.6 ab	285.6 bc	385.3 a	186.6 d
Relación tallo/planta	0.52	0.38 b	0.47 b	0.45 b	0.57 a	0.65 a	0.61 a
Relación Panícula/planta	0.22	0.32 a	0.26 a	0.25 a	0.23 a	0.0 b	0.26 a
Calidad:							
Proteína, g kg <sup>-1</sup> de MS	87.05	104.3 a	99.0 b	90.9 c	77.6 d	75.4 e	77.8 d
Digestibilidad, g kg <sup>-1</sup> de MS	651.0	667.6 b	596 c	618.1 c	720.4 a	678.5 b	625.0 bc
Lignina, g kg <sup>-1</sup> de MS	29.43	31.0 b	31.5 ab	38.3 a	19.6 c	20.9 c	36.1 a

Medias dentro de una línea seguidas por la misma letra no difieren significativamente de acuerdo a la prueba de Student Newman & Keuls ( $\alpha=0.05$ ).

La variedad fue una importante fuente de variación ( $p < 0.0001$ ) del RMS, el cual varió de 11.10 t, de la variedad de grano Topsilo, a 17.12 t ha<sup>-1</sup> de la variedad forrajera Sweet Virginia (Cuadro 1). El RMS estuvo relacionado con la altura de la planta ( $r^2=0.94$ ;  $p < 0.01$ ), la cual a su vez tuvo estrecha relación ( $r^2=0.89$ ;  $p < 0.05$ ) con la proporción tallo/planta (Cuadro 2). Las dos variedades con mayor altura fueron Big Kahuna y Sweet Virginia, ambas con altura promedio de 198 cm y caracterizadas por tener nervadura café (*bmr*), siendo las variedades Topsilo, Aralba y Solarius las de menor porte con 95 cm, en promedio (Cuadro 1).

La variedad Topsilo, presentó también el mayor número de rebrotes por metro lineal (1.5 rebrotes) y baja relación tallo/planta. El efecto negativo del número de rebrotes sobre el RMS del sorgo ya ha sido anteriormente reportado por Caravetta *et al.* (1990). Lo anterior indica una repartición de la MS entre las plantas principales y los rebrotes, dicha distribución fue en detrimento del RMS por hectárea de la variedad Topsilo. La relación panícula/planta no fue un carácter que originara variación ( $p > 0.05$ ) entre las variedades, siendo esta relación semejante entre las cinco variedades con panícula. Sin embargo, este carácter tuvo una ligera influencia sobre la MSPL ( $r=0.68$ ) y en la altura

presence of brown midrib (*bmr*), and the lowest varieties were Topsilo, Aralba and Solarius with 95 cm in height, in average (Table 1).

Topsilo variety also had highest number of sprouts per lineal meter (1.5 sprouts) and low stem/plant ratio. Negative effect of number of sprouts on sorghum RMS has been previously reported by Caravetta *et al.* (1990). This means distribution of RM between main plants and sprouts, such distribution decreased RMS per hectare for variety Topsilo. Panicle/plant ratio was not character that could cause variation ( $p > 0.05$ ) between varieties, being this ratio similar between five varieties with panicle. However, this character had slight influence over MSPL ( $r=0.68$ ) and in height ( $r=-60$ ) of plant (Table 2). It is important to note that even when number of plants m<sup>-1</sup> varied between variables of 4.5 plants m<sup>-1</sup> in variety Topsilo to 7 plants m<sup>-1</sup> in variety Solarius, this character had no relationship ( $p > 0.05$ ) with variations on RMS (Table 2).

In a previous study (Bolaños-Aguilar and Emile, 2011), the low number of plants per lineal meter in variations of sorghum RMS per hectare had already been detected. The

( $r = -60$ ) de la planta (Cuadro 2). Es importante observar que aún cuando el número de plantas  $m^{-1}$  varió entre variedades, de 4.5 plantas  $m^{-1}$  en la variedad Topsilo a 7 plantas  $m^{-1}$  en la variedad Solarius, este carácter no tuvo relación ( $p > 0.05$ ) con las variaciones del RMS (Cuadro 2).

En un estudio previo (Bolaños-Aguilar y Emile, 2011), ya había sido observado la baja participación del número de plantas por metro lineal en las variaciones del RMS por hectárea del sorgo. El mayor RMS fue para los sorgos forrajeros, aún cuando ambos tipos de sorgo (de grano y forrajeros) fueron cosechados a la misma MSPL, siendo la variedad forrajera Sweet Virginia la de mayor RMS por hectárea.

**Cuadro 2. Coeficientes de correlación de diferentes fuentes de variación para seis variedades de sorgo en 2009 en Lusignan, Francia.**

**Table 2. Correlation coefficients of sources of variations for six sorghum varieties in 2009 at Lusignan, Francia.**

	MSPL	NPL	Altura	NRB	PAPL	TAPL	Proteína	DIGEST	Lignina
RMS	-0.24	-0.008	0.94**	-0.64	-0.55	0.76	-0.79*	0.85*	-0.83*
MSPL		0.46	-0.12	0.01	0.68	-0.17	0.08	-0.22	0.63
NPL			0.01	-0.19	0.17	0.13	0.23	0.10	0.09
Altura				-0.60	-0.64	0.89*	-0.92**	0.69	-0.64
NRB					0.27	-0.67	0.49	-0.31	0.58
PAPL						-0.73	0.64	-0.28	0.56
TAPL							-0.94**	0.32	-0.49
Proteína								-0.43	0.42
DIGEST									-0.79*

\*, \*\* niveles de significancia a 0.05 y 0.01, respectivamente; MSPL= concentración de materia seca en la planta; NPL= número de plantas  $m^{-1}$ ; RB= número de rebrotes  $m^{-1}$ ; PAPL= relación panícula/planta; TAPL= relación tallo/planta; DIGEST= digestibilidad.

## Calidad

La variedad también es una importante fuente de variación ( $p < 0.001$ ) en la concentración de proteína y en la digestibilidad del sorgo. La proteína varió de 75.45  $g\ kg^{-1}$  MS de la variedad Big Kahuna, a 104.3  $g\ kg^{-1}$  MS de la variedad Solarius (Cuadro 1), y estuvo inversamente ligado al RMS ( $r^2 = -0.79$ ;  $p < 0.05$ ) a la altura de la planta ( $r^2 = -0.92$ ;  $p < 0.01$ ) y a la relación tallo/planta ( $r^2 = -0.94$ ;  $p < 0.01$ ) (Cuadro 2). La menor concentración de proteína en variedades con mayor RMS o altura, puede deberse a la mayor dilución del nitrógeno dentro de la planta dado al incremento de la acumulación de MS dentro de ella (Duru, 1994; Gastal y Lemaire, 2002; Reyes *et al.*, 2009). Así, las variedades con más proteína (Solarius, Aralba y Topsilo), fueron las de menor RMS, menor altura y menor relación tallo/planta. La concentración de proteína no tuvo relación positiva con

highest RMS was for forage sorghum, even when both types (grain and forage) were harvested at same MSPL, being forage variety Sweet Virginia the best in RMS per hectare.

## Quality

Variety is also an important source of variation ( $p < 0.001$ ) in protein concentration and digestibility of sorghum. Protein varied from 75.45  $g\ kg^{-1}$  DM of variety Big Kahuna, to 104.3  $g\ kg^{-1}$  DM of variety Solarius (Table 1), and was inversely linked to RMS ( $r^2 = -0.79$ ;  $p < 0.05$ ), to plant height ( $r^2 = -0.92$ ;  $p < 0.01$ ) and to stem/plant

relationship ( $r^2 = -0.94$ ;  $p < 0.01$ ) (Table 2). The lower protein concentration in varieties with higher RMS or height can be due greater nitrogen dilution inside the plant given by increase of DM accumulation inside it (Duru, 1994; Gastal and Lemaire, 2002; Reyes *et al.*, 2009). Thus, varieties with greater protein content (Solarius, Aralba and Topsilo), were the lowest in RMS, lowest height and lowest stem/plant relationship. Protein concentration had no positive relationship with any of assessed characters; however, when not considering statistical analysis of variety Big Kahuna, because it is forage without grain production, *i.e.*, of morphology different to remaining varieties, protein concentration has close relationship with foliar area per plant ( $r^2 = 0.71$ ;  $p < 0.05$ ) (Figure 1). These results are product of greater protein concentration in sorghum leaves than in their stems (Singh *et al.*, 2007).

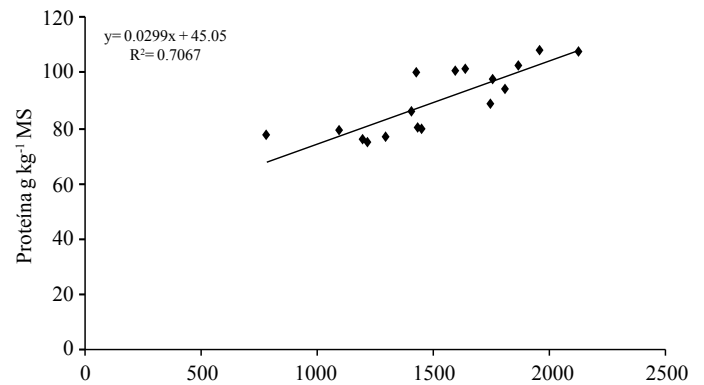
ninguno de los caracteres evaluados; sin embargo, al no considerar en el análisis estadístico a la variedad Big Kahuna, por ser un forraje sin producción de grano, *i.e.*, de morfología diferente al resto de las variedades, la concentración de proteína obtiene relación estrecha con el área foliar por planta ( $r^2=0.71$ ;  $p<0.05$ ) (Figura 1). Estos resultados son producto de la mayor concentración de proteína en las hojas del sorgo que en sus tallos (Singh *et al.*, 2007).

La digestibilidad del forraje varió ( $p<0.05$ ) de 596 g kg<sup>-1</sup> MS de la variedad Aralba, a 720.4 g kg<sup>-1</sup> MS de la variedad Sweet Virginia (Cuadro 1), siendo esta última junto con Big Kahuna (ambas portadoras del gen *bmr*) y Solarius las de mayor digestibilidad. Solarius es una variedad no portadora del *bmr* pero con valores también importantes en digestibilidad. Las variaciones en digestibilidad estuvieron ligadas ( $r^2=-0.79$ ;  $p<0.05$ ) con las variaciones en lignina de las variedades (Cuadro 2), lo que era de esperarse por ser la lignina esencialmente indigestible.

Así, en la variedad de menor digestibilidad Topsilo se registró una concentración en lignina de 18.05 g kg<sup>-1</sup> de MS mayor al promedio obtenido de las variedades más digestibles Sweet Virginia y Big Kahuna (Cuadro 1). Para conocer la razón por la que Solarius tuvo mayor digestibilidad que el resto de los sorgos de grano, se repitió el análisis estadístico considerando únicamente los sorgos de grano. Se observó que la alta digestibilidad de Solarius se debió a su menor proporción tallo/planta (0.35 vs 0.45 y 0.47 de Topsilo y Aralba, respectivamente). Esta variedad tuvo bajo RMS pero gracias a su alta digestibilidad se convierte en un forraje importante cuando se requiere el consumo de altas cantidades de MS digestible, demandado por el ganado productor de leche. En este estudio se corrobora el efecto positivo del gen *bmr* sobre la digestibilidad del forraje de sorgo. Resultados semejantes en sorgo en sorgos con *bmr* han sido anteriormente observados (Núñez y Cantú, 2000; Oliver *et al.*, 2005).

## Conclusión

Como era de esperarse, el mayor RMS se tuvo en los sorgos forrajeros, lo cual estuvo ligado a su mayor altura y proporción tallo/planta. Aún cuando las variedades Sweet Virginia y Big Kahuna tuvieron alta proporción de tallo mostraron las mayores digestibilidades por contar con el gen *bmr*, pero esta alta proporción de tallo indujo a menores



**Figura 1. Relación entre área foliar y concentración de proteína en variedades de grano de sorgo (Solarius, Aralba y Topsilo) cosechadas a una concentración de 320 g kg<sup>-1</sup> de MS durante 2009.**

**Figure 1. Relationship between foliar area and protein concentration in grain varieties of sorghum (Solarius, Aralba and Topsilo) harvested at concentration of 320 g kg<sup>-1</sup> of DM during 2009.**

Forage digestibility varied ( $p<0.05$ ) from 596 g kg<sup>-1</sup> DM of variety Aralba, to 720.4 g kg<sup>-1</sup> DM of variety Sweet Virginia (Table 1), being this last one together with Big Kahuna (both carriers of *bmr* gene) and with Solarius the ones with highest digestibility. Solarius is not a *bmr* gene carrier variety but with values also important in digestibility. The variations in digestibility were related ( $r^2=-0.79$ ;  $p<0.05$ ) with lignin variations on varieties (Table 2), which was foreseen since lignin is basically not digestible.

In this way, in the variety with lowest digestibility Topsilo it was recorded lignin concentration of 18.05 g kg<sup>-1</sup> of DM greater than average obtained in the more digestible varieties Sweet Virginia and Big Kahuna (Table 1). To define why Solarius had better digestibility than the other grain sorghum, statistical analysis was repeated considering only grain types. It was detected that high digestibility of Solarius was due to its lower stem/plant ratio (0.35 vs 0.45 and 0.47 of Topsilo and Aralba, respectively). This variety had low RMS, but thanks to its high digestibility it becomes important forage when it is required the consumption of high amounts of digestible DM, required by dairy cattle. In this study is tested the positive effect of *bmr* gene on digestibility of forage sorghum. Similar results in sorghum with *bmr* have been previously reported (Núñez and Cantú, 2000; Oliver *et al.*, 2005).

concentraciones de proteína. Fueron las variedades de grano las de mayor concentración de proteína gracias a su baja relación tallo/planta, pero entre estos sorgos fue el área foliar por planta la fuente de variación de la proteína. Solarius (no portador de *bmr*) tiene gran potencial en la alimentación de animales de alta demanda (ganado lechero) por su alta concentración de proteína y materia seca digestible. Sweet Virginia no cuenta con altas concentraciones de proteína pero si con los mayores RMS y alta digestibilidad, por lo que se convierte también en un forraje con alto potencial.

## Literatura citada

- Aydin, G.; Grant, R. J. and O'Rear, J. 1999. Brown midrib sorghum in diets for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 82:2127-2135.
- Barrière, Y.; Guillet, C.; Goffner, D. and Fichon, M. 2003. Genetic variation and breeding strategies for improved cell wall digestibility in annual forage crops. *A Review. Anim. Res.* 52:193-228.
- Bolaños-Aguilar, E. D.; Huyghe, C.; Ecalte, C.; Hacquet, J. and Julier, B. 2002. Effect of cultivar and environment on seed yield in alfalfa. *Crop Sci.* 42:45-50.
- Bolaños-Aguilar, E. D. and Emile, J. C. 2011. Dry matter yield and forage quality of sorghum under different row spacing and sowing density. *Agron. J.* in press.
- Borrell, A. K. and Hammer, G. L. 2000. Nitrogen Dynamics and the physiological basis of stay-green in sorghum. *Crop Sci.* 40:1295-1307.
- Caravetta, G. J.; Cherney, J. H. and Johnson, K. D. 1990. Within-row spacing influences on diverse sorghum genotypes: II. Dry matter yield and forage quality. *Agron. J.* 82:210-215.
- Cherney, J. H.; Cherney, D. J.; R.; Akin, D. E. and Axtell, J. D. 1991. Potential of brown-midrib, low-lignin mutants for improving forage quality. *Adv. Agron.* 46:157-198.
- Dehaynin, N. 2007. Utilisation du sorgho en alimentation animale. Thèse Doctorat. Université Claude-Bernard Lyon I. Soutenue le 1<sup>er</sup> Juin. 108 p.
- Didier, G. 1991. Culture et utilisation du sorgho grain ensilé en plante entière pour l'engraissement des taurillons. *Compte rendu d'essai n° 91093.* Institut d'Élevage et CEESO de Soual.

## Conclusion

As it was expected, greater RMS was obtained in forage sorghum, which was related to its higher height and stem/plant ratio. Even when varieties Sweet Virginia and Big Kahuna had high stem proportion they showed the greatest digestibility due lack of *bmr* gene, but this high stem ratio caused lower protein concentrations. Grain varieties were the ones with higher protein concentration thanks to its low stem/plant relationship, but between sorghum the foliar area per plant was source of variation in protein. Solarius (non *bmr* carrier) has great potential for animal food of high demand (dairy cattle) due its high protein concentration and digestible dry matter. Sweet Virginia has no high protein concentrations, but has higher RMS and high digestibility, therefore becomes also in high potential forage.

*End of the English version*



- Dejè, Y.; Heuertz, M.; Ater, M.; Lefevre, C. and Vekemans, X. 2007. Evaluation de la diversité morphologique des variétés traditionnelles de sorgho du Nord-ouest du Maroc. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 11:39-49.
- Duru, M. 1994. Mineral nutrition status and botanical composition of pastures. II. Effects on nitrogen concentration and digestibility of herbage. *Eur. J. Agron.* 3:125-133.
- Emile, J. C.; Charrier, X.; Do Nascimento, W. G. and Barrière, Y. 2005. Utilisation d'ensilage de sorgho plante entière pour l'alimentation de vaches laitières. *In* 12<sup>e</sup>. Rencontres Recherches Ruminantes. Paris, les 7 et 8 décembre. 209 p.
- Gastal, F. and Lemaire, G. 2002. N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. *J. Exp. Botany.* 53:789-799.
- Gerhardt, R. L.; Fritz, J. O.; Moore, K. J. and Jaster, E. H. 1994. Digestion kinetics and composition of normal and brown midrib sorghum morphological components. *Crop Sci.* 34:1353-1361.
- Humphreys, J. M. and Chapple, P. 2002. Rewriting the lignin road-map. *Curr. Opin. Plant Biol.* 5:224-229.
- Legarto, J. 2000. L'utilisation en ensilage plante entière des sorghos grains et sucriers: intérêts et limites pour les régions sèches. *Fourrages.* 163:323-338.
- Lema, M.; Félix, A.; Salako, S. and Bishnoi, U. 2000. Nutrient content and in vitro dry matter digestibility of silages made from various grain sorghum and sweet sorghum cultivars. *J. Sustain. Agric.* 17:55-70.



- Lusk, J. W.; Karau, P. K.; Balogu, D. O. and Gourley, L. M. 1984. Brown midrib sorghum or corn silage for milk production. *J. Dairy Sci.* 67:1739-1744.
- Núñez, H. G. y Cantú, B. J. E. 2000. Producción, composición química y digestibilidad del forraje de sorgo x sudán de nervadura café en la región norte de México. *Téc. Pecu. Méx.* 38 (3):177-187.
- Oliver, A. L.; Pedersen, J. F.; Grant, R. J. and Klopfenstein, A. 2005. Comparative effects of the sorghum bmr-6 and bmr-12 genes: I. Forage sorghum yield and quality. *Crop Sci.* 45:2234-2239.
- Reyes, P. A.; Bolaños-Aguilar, E. D.; Hernández, S. D.; Aranda, I. E. M. e Izquierdo, R. F. 2009. Producción de materia seca y concentración de proteína en 21 genotipos del pasto *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweick. *Universidad y Ciencia. Trópico húmedo.* 25:213-224.
- Statistical Analysis System (SAS) Institute. 2003. Release 9.1.3. SAS Institute, Cary, NC.
- Singh, S. P.; Luthra, Y. P. and Joshi, U. N. 2007. Biochemical differences in some forage sorghum varieties in relation to *Pyrilla perpusilla* Walker infestation. *Acta Phytolopathologica et Entomologica Hungarica.* 42:17-23.
- Stickler, F. C.; Wearden, S. and Pauli, A. W. 1961. Leaf area determination in grain sorghum. *Agron. J.* 53:187-188.
- Traxler, M. J.; Fox, D. G.; Van Soest, P. J.; Pell, A. N.; Lascano, C. E.; Lanna, D. P. D.; Moore, J. E.; Lana, R. P.; Vélez, M. and Flores, A. 1998. Predicting forage indigestible NDF from lignin concentration. *J. Anim. Sci.* 76:1469-1480.
- Vogel, K. P. and Jung, H. G. 2001. Genetic modification of herbaceous plants for feed and fuel. *Crit. Rev. Plant Sci.* 20:15-49.