

Acumulación y calidad de forraje de híbridos de sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] con diferentes niveles de fertilización nitrogenada

*Forage yield and quality in sorghum hybrids [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] with different levels of nitrogen fertilization*

Torrecillas¹, M.G. y Bertoia, L.M.

Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Lomas de Zamora

Resumen

Durante las campañas 2005/06 y 2006/07 se realizaron dos experimentos con el objetivo de evaluar la respuesta en acumulación y calidad del forraje en tres híbridos de sorgo forrajero, fertilizados con tres dosis de nitrógeno (N) y dos momentos de aplicación (M). Las dosis estudiadas fueron de 50, 100 y 150 kg N ha⁻¹, aplicados a los 10 días post-implantación (M1) o fraccionado en 50% en el mismo momento anterior y 50% post-1º corte (M2). Los híbridos evaluados fueron Sx121, Candy Graze BMR y Nutritop BMR. La sigla BMR indica baja lignina. Se evaluaron dos cortes y se determinó: Acumulación de MS en el corte 1, en el corte 2 y total (RMS1, RMS2 y RMS12), eficiencia en la utilización de N (EUN), digestibilidad *in vitro* de la materia seca –MS– (Dig), proteína bruta (PB), fibra detergente ácido (FDA) y lignina detergente ácido (LDA). Las determinaciones de calidad se efectuaron mediante NIRS. Se estimó la acumulación de MS digestible total (RMSD12) como el producto entre RMS12 y Dig. No se observaron efectos significativos para M. Hubo una tendencia creciente para RMS1 y RMS12 con el aumento de las dosis de N, aunque la dosis de 50 kg N ha⁻¹ no se diferenció significativamente del testigo. La EUN fue máxima para el tratamiento de 50 kg N ha⁻¹ y disminuyó progresivamente con el aumento de las dosis. Cuando se promedió entre M y dosis de N, Sx121 y Candy Graze superaron a Nutritop para RMS1 y RMS12, pero Candy Graze y Nutritop aventajaron a Sx121 en un 12%, para RMS2. Con el aumento de las dosis, Dig y PB crecieron en tanto que FDA como LDA mostraron valores decrecientes. Para PB y LDA, la magnitud de las diferencias entre tratamientos fue de escasa importancia práctica. Se concluye que 50 kg N ha⁻¹ aplicados a los 10 días desde la siembra es la dosis más eficiente, para maximizar RMSD12 en sorgo forrajero.

Palabras clave: nitrógeno, sorgo forrajero, híbridos, acumulación de forraje, calidad forrajera.

Summary

During 2005/06 and 2006/07 growing seasons two experiments were carried out with the aim to evaluate the yield and quality of three forage sorghum hybrids in response to additions of fertilizer N rates (0, 50, 100 and 150 kg N ha⁻¹) either applied as a single (M1) or split dressings (M2). Hybrids were Sx 121, Candy Graze BMR and Nutritop BMR. Trials were run on a two-cutting system to evaluate dry matter accumulation (RMS1, RMS2 and RMS12), nitrogen

Recibido: septiembre de 2008

Aceptado: junio de 2009

1. Facultad Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Lomas de Zamora. Ruta 4, km 2 (1836), Llavallol, Buenos Aires. torrecillas@agrarias.unlz.edu.ar

utilization efficiency (EUN), *in vitro* DM digestibility (Dig), crude protein (PB), FDA and lignin content (LDA). Quality determinations were performed by NIRS methodology. Total digestible dry matter (RMSD12) was obtained as the product of RMS12 and Dig. Significant effects were not observed for M. RMS1 and RMS12 increased across N-levels, but there were no significant differences between 50 kg N ha⁻¹ and 0 N. EUN value was maximum for 50 kg N ha⁻¹ and then decreased across N-levels. When averaged among M and N levels, Candy Graze and Sx 121 had higher RMS1 and RMS12 than Nutritop. Candy Graze and Nutritop had higher RMS2 (12%) than Sx 121. Dig and PB increased along with N-levels, whereas FDA and LDA decreased. Although differences in PB and LDA values were found, they might be of small practical value. It was concluded that splitting the N application has no effect on DM yield and quality, and 50 kg N ha⁻¹ was the most efficient to maximize RMSD12 on forage sorghum.

Key words: nitrogen, forage sorghum, hybrids, forage yield, forage quality.

Introducción

Los híbridos de sorgo forrajero [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] constituyen un recurso forrajero importante en la época estival, puesto que combinan elevada acumulación de materia seca –MS– y calidad forrajera. Por otro lado, además del pastoreo, es posible destinarlos a henificación y silaje. Por cuanto se considera el destino forrajero y debido a características de mayor marginalidad de estas producciones es notable el desconocimiento en la aplicación y resultados de algunas herramientas de manejo. Específicamente, en fertilización nitrogenada no existe suficiente información disponible acerca de su utilización, así como resultados experimentales que orienten sobre niveles de respuesta, momentos de aplicación e impacto sobre la calidad forrajera. Mientras que en sorgo granífero se cuentan con escasos experimentos locales sobre respuesta a nitrógeno (N) (Fontanetto y Keller, 2000, Zamora et al., 2002) en forrajeros el desconocimiento es aún mayor. Algunos experimentos muestran que, por ejemplo, 227 kg N ha⁻¹ (Sumner et al., 1965), 50-100 kg N ha⁻¹ (Singh et al., 1988) y 300 kg N ha⁻¹ (Han y Kin, 1992) fueron las dosis adecuadas para maximizar el rendimiento de forraje. Las diferencias en las dosis óptimas pueden ser explicadas en función de la fertilidad de los suelos, el clima, el tipo de híbrido utilizado y la cantidad de cortes efectuados.

Además, no hay mención sobre el efecto de dichas dosis de N sobre la calidad de la materia seca ni acerca del comportamiento diferencial de los híbridos (BMR y no BMR) de acuerdo a la dosis utilizada.

La planta de sorgo crece lentamente los primeros 20-25 días (hasta E₂, Vanderlip, 1993). A medida que el número de hojas y el área foliar se incrementa, lo hace la tasa de crecimiento. En los 35-45 días siguientes el área foliar se desarrolla y expande, y es en este momento donde la absorción de nutrientes es intensa, mas aún cuando se trata de un híbrido forrajero con su primer aprovechamiento a los 55-60 días de la siembra. Por otro lado, hay evidencia que una correcta nutrición nitrogenada inicial favorece el desarrollo radicular, aumentando la superficie exploratoria del mismo (Sainju et al., 2005). La temperatura del ambiente y la humedad en el suelo, pueden provocar importantes pérdidas luego de la aplicación de fertilizantes nitrogenados. En este caso se plantea el interrogante acerca del comportamiento de dichos fertilizantes aplicados en verdeos de verano como el sorgo, en condiciones poco óptimas (alta temperatura y escasa humedad en el suelo) para un mejor aprovechamiento.

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de dos momentos de aplicación y tres dosis de N sobre la acumulación y calidad del forraje en tres híbridos de sorgo forrajero.

Materiales y Métodos

Los híbridos de sorgo forrajero Sx121, Candy Graze (BMR) y Nutritop (BMR), fueron evaluados durante las campañas 2005/06 y 2006/07. Los experimentos se ubicaron en Vicente Casares, Pdo. de Cañuelas (Argiudol típico, 3,03 y 3,28% MO, 16,2 y 14 ppm P extractable y 41,5 y 62 ppm de N-NO_3^- para las campañas 2005/06 y 2006/07, respectivamente). Las precipitaciones acumuladas en el período noviembre - marzo fueron de 553,5 y 524 mm, para las campañas 2005/06 y 2006/07, respectivamente. El control de malezas consistió en una aplicación en pre-emergencia de 3,5 litros ha^{-1} de atrazina. En ambas campañas las siembras se realizaron en la última semana de noviembre.

Los tratamientos utilizados incluyeron dos momentos de aplicación (M), M1 (100% de la dosis a los 10 días post-implantación) y M2 (50% 10 días post-implantación y 50% post-1º corte), tres dosis de nitrógeno (D) (50, 100 y 150 kg N ha^{-1}) y un testigo (0 N). Se utilizó urea granulada como fuente de nitrógeno (46-0-0). En cada campaña se evaluaron dos cortes, estableciéndose el estado de panoja embuchada (E_5) como criterio para el primer corte y comienzos de panojamiento para el segundo. Se evaluó la acumulación de materia seca (MS) de ambos cortes (RMS1, RMS2) y total (RMS1+2). La calidad fue evaluada mediante NIRS en las siguientes variables: digestibilidad *in vitro* de la MS (DIG), proteína bruta (PB), fibra detergente ácido (FDA) y lignina detergente ácido (LDA). Se estimó la acumulación de MS digestible total (RMSD12) como el producto entre RMS12 y Dig. De acuerdo a Novoa y Loomis (1981), se calculó la eficiencia en la utilización de N (EUN) como:

$$\text{EUN} = [\text{RMSD12 parcela fertilizada (kg)} - \text{RMSD12 testigo (kg)}] / \text{N aplicado (kg)}$$

En cada año, los tratamientos se dispusieron en un diseño experimental de bloques completos al azar ($n=3$) con arreglo factorial de los tratamientos. Cada unidad experimental consistió de cuatro surcos de 5,2m, separados a 0,5m, utilizándose los dos centrales para evaluación.

Se realizó el análisis de varianza combinado, en el cual las fuentes de variación fueron: año, híbrido, momento de aplicación y dosis. Se consideró al efecto año aleatorio y a los momentos de aplicación, híbridos y dosis como efectos fijos, lo cual generó un modelo mixto que fue resuelto en base al modelo de McInstosh (1983). Los resultados se analizaron mediante el procedimiento GLM de SAS. Cuando se detectaron efectos significativos ($p<0,05$), las medias fueron separadas mediante la prueba de DMS (Diferencias Mínimas Significativas).

Resultados y Discusión

Si bien la cantidad acumulada de precipitaciones en ambas campañas fue similar, existieron diferencias en su patrón de distribución, ya que el mes de enero de la primera campaña (2005/06) registró casi 100 mm más que la segunda (2006/07), ocurriendo lo inverso para febrero, aunque de menor magnitud. A pesar de ello, estas diferencias no se tradujeron en el aspecto productivo. Por otro lado, los registros térmicos de ambas campañas oscilaron dentro de rangos normales de acuerdo a los valores históricos (Cuadro 1).

Otro punto a tener en cuenta es la disponibilidad inicial de nitratos y el requerimiento de N del cultivo como requisitos para el desarrollo de estrategias de manejo, con el objetivo de maximizar la respuesta al agregado de N (Muchow, 1998), ya que por ejemplo en algunos trabajos no se menciona este dato y en otros se indican valores similares a este experimento (60 - 70 ppm NO_3^-). Del mismo modo, los valores de P extractable de nuestro experimento, fueron los adecuados para no limitar la respuesta a N (10 - 16 ppm).

Aunque algunas variables mostraron significancia en interacciones dobles y triples con el efecto año, las mismas fueron de escasa magnitud. De acuerdo a lo anterior, el análisis combinado fue efectuado promediando entre años. No se observaron efectos significativos de M (Cuadro 2) ni de la mayoría de las interacciones, excepto en MxD para RMS2 y en MxH para Dig, las cuales mostraron diferen-

Cuadro 1: Distribución de precipitaciones y temperatura media mensual de las campañas 2005/06 y 2006/07.

Table 1: Rainfall distribution and monthly mean temperature during 2005/06 and 2006/07 growing seasons.

Campaña	Precipitaciones (mm)					Total	Temperatura media (°C)				
	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar		Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
2005/06	77	98,5	149	83	146	553,5	21,3	21,2	23,3	22,7	18,9
2006/07	43	183	50	143	105	524	18,9	23,5	23,2	23,3	20,5
Histórico 30 años	93,5	77,8	95,4	97,3	92,9	456,9	18,9	21,8	23,6	22,7	20,3

Cuadro 2: Rendimiento y calidad forrajera en dos momentos de aplicación de fertilizante nitrogenado. Valores promediados entre dosis de N e híbridos.

Table 2: Yield and forage quality on two times of nitrogen fertilization. Mean values across N levels and hybrids.

Variable	Momento de aplicación			
	M 1	EEM*	M 2	EEM*
RMS1 (t ha ⁻¹)	7,05 a	0,35	6,77 a	0,32
RMS2 (t ha ⁻¹)	3,41 a	0,12	3,55 a	0,22
RMS12 (t ha ⁻¹)	10,47 a	0,36	10,31 a	0,37
Dig (%)	63,1 a	0,3	63,9 a	0,35
PB (%)	8,1 a	0,1	8,6 a	0,08
FDA (%)	32,7 a	0,3	33,2 a	0,2
LDA (%)	4,3 a	0,1	4,1 a	0,08
RMSD12 (t ha ⁻¹)	6,6 a	0,4	5,9 a	0,4

Dentro de cada fila, valores seguidos de la misma no difieren al nivel de $p < 0,05$ (Prueba de DMS), * Error estándar de la media.

cias numéricas de escasa importancia práctica. De acuerdo a los resultados obtenidos en este experimento no se justificaría la aplicación fraccionada de cada una de las dosis evaluadas, ya que probablemente la respuesta estuvo condicionada por el contenido de humedad del suelo. En ese sentido, en ambas campañas la aplicación post-primer corte coincidió con la segunda quincena de enero. En este punto no encontramos coincidencia con Beyaert y Roy (2005) quienes encontraron buenos resultados con el fraccionamiento de la dosis de 100 kg N ha⁻¹, aplicados en implantación y post-primer corte. Se detectó

significancia en D e H en la mayoría de las variables, excepto RMS2 para ambos y PB para H. Promediando entre momentos de aplicación e híbridos se observó una tendencia creciente en los valores de RMS1 y RMS12 con el aumento de las dosis de N con respecto a 0 N, aunque 50 N no se diferenció significativamente del testigo para RMS1. Sin embargo, para RMS2 y RMS12 se registró un incremento de 26 y 19%, respectivamente, con la dosis de 50 N y luego estabilizándose para las dosis de 100 y 150 N, sin diferenciarse significativamente de la primera (Cuadro 3). Lo último es coincidente con resultados

Cuadro 3: Rendimiento y calidad forrajera con tres niveles de fertilización nitrogenada (promedio de dos momentos para los tres híbridos).

Table 3: Yield and forage quality with three levels of nitrogen fertilization (mean of two times for three hybrids).

Variable	Dosis de N							
	0 N	EEM	50 N	EEM	100 N	EEM	150 N	EEM
RMS1 (t ha ⁻¹)	5,8 b	0,4	6,7 ab	0,4	7,5 a	0,4	7,6 a	0,5
RMS2 (t ha ⁻¹)	3,0 b	0,2	3,8 a	0,2	3,4 ab	0,2	3,6 a	0,3
RMS12 (t ha ⁻¹)	8,8 b	0,4	10,5 a	0,5	10,9 a	0,4	11,3 a	0,6
Dig (%)	62,4 d	0,4	63,9 c	0,4	64,7 b	0,4	65,1 a	0,5
PB (%)	7,7 c	0,03	8,1 b	0,03	8,8 a	0,03	9,3 a	0,03
FDA (%)	34,1 a	0,2	32,8 b	0,2	32,1 c	0,2	31,9 c	0,2
LDA (%)	4,5 a	0,3	4,4 a	0,2	4,3 a	0,2	4,1 b	0,2
RMSD12 (t ha ⁻¹)	5,5 b	0,4	6,7 a	0,4	7,0 a	0,4	7,4 a	0,4
EUN	-		24		15,1		12,6	

Dentro de cada fila, valores seguidos de la misma letra no difieren al nivel de $p < 0,05$ (Prueba de DMS).

hallados por Oikeh et al. (2007), quienes encontraron que niveles de N mayores a 60 kg N ha⁻¹ tuvieron poco beneficio adicional en acumulación de forraje.

La variable EUN fue máxima con la dosis de 50 N y disminuyó progresivamente con el aumento de las mismas (Cuadro 3). De acuerdo a ello, y considerando RMS12, no tendría justificación la aplicación de dosis superiores a 50 N ya que los incrementos de forraje a partir de la misma, no fueron significativos. Sin embargo, Kilcer et al. (2002) y Ketterings et al. (2004), quienes evaluaron sorgos forrajeros BMR encontraron respuestas creciente en acumulación de forraje hasta una dosis de 200 kg N ha⁻¹. Una posible explicación a esta diferencia en los resultados, es que el ambiente de evaluación no es exactamente extrapolable a las condiciones del presente experimento, por cuanto dichos resultados fueron obtenidos en el estado de NY, USA, con veranos templados y con régimen regular y superior en magnitud de precipitaciones que en las condiciones de ambas campañas. Por otro lado, los resultados encontrados coinciden parcialmente con los informados por Iptas y Brohi (2003), quienes evaluando sorgo

forrajero con un registro de precipitaciones algo inferior a las campañas aquí presentadas, encontraron la dosis de 40 kg N ha⁻¹ para la máxima EUN.

No se observaron efectos significativos en la interacción DxH, de esta manera los resultados emergentes del presente estudio pueden extrapolarse a híbridos que poseen o no la característica BMR.

Cuando se promedió entre momentos de aplicación y dosis de N, se observó que Sx 121 y Candy Graze superaron a Nutritop para RMS1 y RMS12. En cambio, Candy Graze y Nutritop fueron significativamente superiores a Sx 121 para RMS2, aunque las diferencias numéricas sólo se tradujeron en un 12% adicional de MS (Cuadro 4).

Se observaron valores crecientes en Dig y PB con el aumento de la dosis de N, con un rango de casi 3 puntos porcentuales para la primera (Cuadro 3). Para PB, las dosis 100 y 150 superaron significativamente a la de 50 N, estableciéndose un rango total de 1,6 puntos porcentuales entre el testigo y la máxima dosis. Al mismo tiempo hubo una tendencia decreciente en los valores de FDA y LDA, donde la dosis de 150 N se diferenció signifi-

Cuadro 4: Rendimiento y calidad forrajera de tres híbridos de sorgo forrajero. Valores promediados entre M y dosis de N.

Table 4: Yield and forage quality for three sorghum hybrids. Mean values across fertilization times and N levels

Variable	Híbridos					
	Sx 121	EEM	Candy Graze BMR	EEM	Nutritop BMR	EEM
RMS1 (t ha ⁻¹)	7,3 a	0,4	7,2 a	0,4	6,2 b	0,3
RMS2 (t ha ⁻¹)	3,2 b	0,2	3,7 a	0,2	3,5 ab	0,2
RMS12 (t ha ⁻¹)	10,6 a	0,4	10,9 a	0,5	9,7 b	0,4
Dig (%)	59,7 c	0,3	65,4 b	0,4	67,0 a	0,5
PB (%)	8,4 a	0,03	8,5 a	0,03	8,6 a	0,03
FDA (%)	35,8 a	0,2	31,7 b	0,2	30,6 c	0,1
LDA (%)	5,7 a	0,4	3,6 b	0,2	3,6 b	0,2
RMSD12 (t ha ⁻¹)	6,3 b	0,3	6,5 b	0,3	7,1 a	0,3

Dentro de cada fila, valores seguidos de la misma letra no difieren al nivel de $p < 0,05$ (Prueba de DMS).

cativamente del resto, aunque con magnitudes poco importantes para el caso de la última. Promediando entre M y dosis de N, se observó que para Dig ambos híbridos BMR superaron Sx 121 y además Nutritop (67%) resultó superior a Candy Graze (65,4%) (Cuadro 4). Los valores hallados de FDA evidenciaron una relación inversa entre los valores de ésta y Dig. Esto confirman una vez más que en los materiales BMR no sólo importa el menor contenido absoluto de LDA con respecto al germoplasma tradicional, sino también su distribución y enlace con los otros carbohidratos estructurales (hemicelulosa y celulosa) (Boudet, 1998). Los tratamientos con N tuvieron valores de RMSD12 significativamente superiores al testigo, en tanto que la dosis de 50 N fue superior en un 21% al testigo. El híbrido Nutritop BMR, a pesar de registrar el menor valor de RMS12 que los híbridos restantes, se diferenció significativamente para Dig con el valor más elevado y esto determinó su mayor valor para RMSD12 con respecto a Candy Graze y Sx 121. Esta es una condición general para la mayoría de los híbridos que incluyen este rasgo de calidad, por cuanto a

pesar de presentar menores valores de rendimiento y debido a la mayor digestibilidad de la MS alcanzada, en general su RMSD es siempre superior a los no BMR.

El momento y método de aplicación tiene una gran influencia sobre la eficiencia de utilización de los fertilizantes nitrogenados. La disponibilidad de N debería acoplarse con la demanda del cultivo y sincronizarse con un adecuado contenido de humedad en el suelo, para evitar pérdidas y maximizar el aprovechamiento (Khosla et al., 2000). En este trabajo se observó que la segunda aplicación del tratamiento fraccionado, coincidente con el post-primer corte, tuvo condiciones desfavorables de humedad de suelo y altas temperaturas, lo que impactó sobre los valores de RMS12 y EUN. Por otro lado, la aplicación de 10 días post-implantación tuvo un efecto positivo sobre la acumulación inicial de biomasa, incrementando el área foliar y probablemente el desarrollo radicular. Lo antedicho significó buena respuesta al primer corte y en ello se encontró coincidencia absoluta con los resultados hallados por Kilcer et al. (2002) quienes aplicaron N en el mismo momento.

En contraposición, Beyaert y Roy (2005), cuyo criterio de aplicación fue al estado de 6 hojas, registraron una escasa respuesta en biomasa obtenida al primer corte, por cuanto dicho momento más tardío que el utilizado en este experimento, estaría ligado a favorecer la diferenciación de estructuras reproductivas.

Se concluye que en las condiciones del presente ensayo, no se justifica el fraccionamiento de la aplicación y que 50 kg N ha⁻¹ resulta la dosis más eficiente para maximizar RMSD12 en sorgo forrajero.

Bibliografía

- Beyaert, R.P. and Roy, R.C. 2005. Influence of nitrogen fertilization on multi-cut forage sorghum-sudangrass yield and nitrogen use. *Agron. J.* 97: 1493-1501.
- Boudeh, A.M. 1998. A new view of lignification. *Trends Plant Sci.* 3: 67-71.
- Fontanetto, H. and Keller, O. 1999. Fertilización en sorgo. In : Jornada de Intercambio técnico de sorgo. Publicaciones técnicas por cultivo, AAPRESID. Pp 23-31.
- Han, W.B. and Kim, D.A. 1992. Effect of seeding rate and nitrogen fertilization on the carbohydrate reserves, stand reduction, and yield of sorghum-sudangrass hybrid. *J. Korean Soc. Grassl. Sci.* 12: 33-40.
- Iptas, S. and Brohi, A.R. 2003. Effect of nitrogen rate and stubble height on dry matter yield, crude protein content and crude protein yield of a sorghum-sudangrass hybrid [*Sorghum bicolor* (L.) Moench × *Sorghum sudanense* (Piper) Stapf.] in the three-cutting system. *J. Agronomy & Crop Science* 189: 227-232.
- Ketterings, Q.M., Godwin, G., Cherney, J.H., Beer, S. and Kilcer, T.F. 2004. Nitrogen management for brown mid rib sorghum sudangrass: Results of two years of studies at the Mt. Pleasant Research Farm. *What's cropping up?* 14 (2): 5-6.
- Ketterings, Q.M., Godwin, G., Kilcer, T.F., Barney, P., Hunter, M., Cherney, J.H. and Beer, S. 2006. Nitrogen, phosphorus, potassium, magnesium and calcium removal by brown midrib sorghum-sudangrass in the northeastern USA. *J. Agronomy & Crop Science* 192: 408-416.
- Khosla, R., Alley, M.M. and Davis, P.H. 2000. Nitrogen management in no-tillage grain sorghum production: I. Rate and time of application. *Agron. J.* 92: 321-328.
- Kilcer, T., Ketterings, Q.M., Katsvairo, T. and Cherney, J.C. 2002. Nitrogen management for sorghum-sudangrass: How to optimize N uptake efficiency? What's cropping up? 12: 6-9.
- McIntosh, M.S. 1983. Analysis of combined experiments. *Agron. J.* 75: 153-155.
- Muchow, R.C. 1998. Nitrogen utilization efficiency in maize and grain sorghum. *Field Crops Res.* 56: 209-216.
- Novoa, R. and Loomis, R.S. 1981. Nitrogen and plant production. *Plant Soil* 58: 117-204.
- Oikeh, S.O., Chude, V.O., Kling, G.J. and Horst, W.J. 2007. Comparative productivity of nitrogen-use efficient and nitrogen-inefficient maize cultivars and traditional grain sorghum in the moist Savanna of West Africa. *African J. Agric. Res.* 2: 112-118.
- Sainju, U.M., Singh, B.P. and Whitehead, W.F. 2005. Tillage, cover crops, and nitrogen fertilization effects on cotton and sorghum root biomass, carbon, and nitrogen. *Agron. J.* 97: 1279-1290.
- Singh, V., Singh, A.K., Verma, S.S. and Joshi, Y.P. 1988. Effect of nitrogen fertilization on yield and quality of multicut tropical forages. *Trop. Agric.* 65: 129-131.
- Sumner, D.C., Martin, W.E. and Etchegaray, H.S. 1965. Dry matter and protein yields and nitrate content of Piper sudangrass [*Sorghum Sudanense* (Piper) Stapf.] in response to nitrogen fertilization. *Agron. J.* 57: 351-354.
- Vanderlip, R.L. 1993. How a sorghum plant develops. S3. Research and Extension, Kansas State University.
- Zamora, M., Melín, A. y Massigoge, J. 2002. Fertilización nitrogenada de sorgo en el sur de Buenos Aires. 4 p. Chacra Barrow-INTA