

CONCENTRACIÓN DE NUTRIENTES Y RENDIMIENTO DE DIEZ VARIEDADES DE SORGO (*Sorghum bicolor* L. Moench) USADOS PARA ALIMENTACIÓN DE RUMIANTES

Nutrient concentration and yield of ten sorghum varieties (*Sorghum bicolor* L. Moench) used for ruminant feeding

F Calderón-Sánchez, GD Mendoza-Martínez, A Hernández-Garay, A Muñoz-Orozco, G Ramírez-Valverde, FX Plata-Pérez✉

(FXPP)(GDMM) Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, Departamento de Producción Agrícola y Animal.
Calz. Del Hueso 1100, Col. Villa Quietud. 04960 México D.F. ppfx2221@correo.xoc.uam.mx
(FCS)(AHG)(AMO)(GRV) Colegio de Postgraduados

Artículo recibido: 03 de noviembre de 2008, **aceptado:** 02 de febrero de 2011

RESUMEN. Se realizó un experimento para conocer la producción y el contenido de nutrimentos de diez variedades de sorgo cultivadas en una región cálida húmeda del estado de Puebla, México. Se utilizó un diseño en bloques al azar, se sembraron 10 variedades de sorgo en parcelas de 1.5 ha y se evaluó la concentración de almidón, almidón digestible en rumen, fibra detergente neutro (FDN), proteína, cenizas y taninos; la producción de grano y de nutrientes por ha también fue estimada. Se encontraron diferencias ($p < 0.05$) en la concentración de almidón, almidón digestible, FDN, cenizas y taninos entre las variedades. Los rangos de concentración de nutrientes (%) variaron entre: 63.8 a 73.8 de almidón (Media 71.02, EEM 1.35); 41.8 a 52.4 almidón digestible (Media 48.34, EEM 1.44); 9.15 a 22.4 FDN (Media 13.45, EEM 0.61); 1.18 a 1.84 cenizas (Media 1.55, EEM 0.11); y de 1.25 a 4.95 de taninos (Media 1.71, EEM 0.06). El contenido de proteína no fue diferente ($p > 0.05$). No hubo diferencias ($p > 0.05$) en los rendimientos ($t\ ha^{-1}$) de almidón (rango de 3.16 a 4.45) y almidón digestible (rango 2.12 a 2.98). Tampoco en el rendimiento ($kg\ ha^{-1}$) de proteína (rango 297 a 517), cenizas (rango 57.5 a 107.5) y taninos (rango 60 a 290). El rendimiento de FDN ($kg\ ha^{-1}$) fue diferente (rango de 440 a 1295). A pesar de que hubo diferencias en la concentración de nutrimentos entre variedades, el rendimiento de nutrientes por hectárea fue similar.

Palabras clave: Almidón, sorgo, digestibilidad, nutrientes, variedades de sorgo.

ABSTRACT. An experiment was carried out to study the production and nutrient content of ten sorghum varieties grown in a humid warm region of the state of Puebla, Mexico. A randomised block design was used, 10 sorghum varieties were planted in 1.5 ha plots, and the concentration of starch, ruminal degradable starch, neutral detergent fiber (FDN), protein, ash and tannins were evaluated. The production of grains and nutrients per hectare was also estimated. Differences ($p < 0.05$) were found in the concentration of starch, degradable starch, FDN, ashes and tannins among the varieties. The ranges of nutrient concentration (%) varied from: 63.8 to 73.8 in starch (Mean 71.02, SEM 1.35), 41.8 to 52.4 in degradable starch (Mean 48.34, SEM 1.44), 9.15 to 22.4 in FDN (Mean 13.45, SEM 0.61), 1.18 to 1.84 in ashes (Mean 1.55, SEM 0.11), and from 1.25 to 4.95 in tannins (Mean 1.71, SEM 0.06). Protein content was not different ($p > 0.05$). There were no differences ($p > 0.05$) in the yields ($t\ ha^{-1}$) of starch (range from 3.16 to 4.45) and degradable starch (range 2.12 to 2.98). Neither were there in the yields ($kg\ ha^{-1}$) of protein (range 297 to 517), ashes (range 57.5 to 107.5) and tannins (range 60 to 290). The yield of FDN ($kg\ ha^{-1}$) was different (range 440 to 1295). Despite there being differences in the concentration of nutrients among the varieties, the yield of nutrients per hectare was similar.

Key words: Starch, sorghum, digestibility, nutrients, sorghum varieties.

INTRODUCCIÓN

El grano de sorgo es destinado para la alimentación animal en México y en otros países latinoamericanos. En México se usan alrededor de 90 híbridos de sorgo los cuales han sido seleccionados para incrementar el rendimiento de granos y su resistencia a la sequía (Castro 1999). También se han obtenido variedades resistentes a las aves y a los hongos las cuales se caracterizan por tener una alta concentración de taninos que reducen la digestibilidad de la proteína (Streeter *et al.* 1993) y el almidón en rumiantes (Hibberd *et al.* 1982).

En las variedades de sorgo con diferente genotipo de resistencia a la sequía se ha reportado una gran variación en el contenido de nutrientes, por ejemplo almidón de 59.03 a 73.81 %, almidón degradable en rumen de 29.33 a 48.78 % y FDN de 7.4 a 16.41 % (Duran *et al.* 2004). Si consideramos que en rumiantes alimentados con altos niveles de grano, su productividad depende fundamentalmente de la cantidad de almidón digerido en el rumen (Britton & Stock 1986), la evaluación de variedades debería de considerar el contenido de nutrimentos y particularmente el de almidón digestible en este compartimiento.

Los investigadores responsables de la selección de variedades no han considerado la evaluación de los granos en función del rendimiento de nutrientes digestibles, por lo que el objetivo de esta investigación fue evaluar diferentes variedades de sorgo con base en la producción de grano, calidad del grano en función de la cantidad de proteína, fibra detergente neutro y almidón digestible por ha, con la finalidad de generar información para la elección de variedades con mayor potencial para la alimentación de rumiantes.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en la región suroeste del estado de Puebla, México, entre los paralelos 18° 00' y 19° 51' Norte y 97° 49' y 98° 47' Oeste. Esta región se ubica entre los 1000 y 1200 m y prevalecen dos climas un clima Aw0(W) y A(C)w0(W), que se consideran cálido subhúmedo y semicálido

subhúmedo respectivamente, ambos con lluvias en verano; una temperatura promedio de 18 a 22 °C y una precipitación media anual de 764 mm (García 1988). Los suelos predominantes son de tipo regosol y los cultivos más importantes en esta área son el maíz y el sorgo (INCA RURAL 1999).

Se utilizaron diez variedades seleccionadas y donadas por la Fundación Produce Puebla A.C. de acuerdo a los criterios del Programa Elemental de Asistencia Técnica PEAT-99 del INCA Rural-Colegio de Postgraduados, Campus Puebla. Las variedades fueron: BJ-83, DS-65, DS-68, HB-723, HB-725, KS-989, P-8282, P-8641, RB3006 y XM-406. Para determinar las características nutricionales de las variedades de sorgo se determinó la concentración de almidón (Herrera & Huber 1989), proteína cruda, cenizas (AOAC 1990), FDN (Van Soest *et al.* 1991). Los taninos se determinaron por el método de la vainillina (Price & Butler 1977).

Para estimar la concentración de almidón digestible se evaluó la digestibilidad *in situ* del almidón a 12 h de incubación (Duran *et al.* 2004), con 2 Novillos Holstein con cánula ruminal alimentados con 3 kg de concentrado y alfalfa *ad libitum*. Se seleccionaron las 12 h debido a que en ese tiempo se pueden detectar los cambios de digestión de almidón entre variedades y procesos del almidón (Duran *et al.* 2004, Gutiérrez *et al.* 2005, Mendoza *et al.* 2000). Para la digestibilidad *in situ*, 5 g de cada variedad se incubaron por duplicado en bolsas de dacron (15 x 7.5 cm) de 40 micrones de tamaño de poro por 12 h. El almidón se determinó a partir de la glucosa liberada de la muestra residual intacta en las bolsas. Cada bolsa fue colocada en un matraz Erlenmeyer (250 ml) con 100 ml de amortiguador acetato 0.5 M (pH 5.0) con 100 µl de amilasa termoestable Takaterm® (ENMEX, México) y permanecieron por una hora en autoclave a 120 °C por 1 h. Posteriormente se adicionaron 100 µl de glucamilasa termoestable Diazyme® (ENMEX, México) y los frascos se incubaron en baño de agua hirviendo por 1 h. Se dejaron enfriar hasta los 60 °C y se incubaron por 24 h a 60 °C con una solución de amiloglucosidasa (3 %). Los contenidos se transfirieron a matraces volumétricos y las bolsas se enjuagaron con ácido benzoico (0.2 %) hasta llevar al volumen

Tabla 1. Concentración de nutrientes (%) en variedades de sorgo cultivadas en la región de Izúcar de Matamoros, Puebla.

Table 1. Nutrient concentration (%) in sorghum varieties grown in the region of Izúcar Matamoros, Puebla.

Variedad	Almidón	FDN	Cenizas	Almidón digestible	Proteína	Taninos
D-68	71.31 ^a	13.92 ^b	1.78 ^a	48.52 ^{ab}	7.40	1.33 ^b
D-65	72.82 ^a	12.45 ^b	1.58 ^a	48.67 ^{ab}	7.00	1.37 ^b
KS-989	63.82 ^b	22.44 ^a	1.66 ^{ab}	41.83 ^b	8.72	4.95 ^a
P-8641	68.64 ^{ab}	12.21 ^b	1.61 ^{ab}	48.14 ^{ab}	7.63	1.29 ^b
RB-3006	70.75 ^a	12.58 ^b	1.44 ^{ab}	48.87 ^a	7.52	1.25 ^b
P-8282	70.37 ^a	12.57 ^b	1.35 ^{ab}	50.01 ^a	7.01	1.36 ^b
HB-723	73.82 ^a	12.81 ^b	1.63 ^{ab}	48.98 ^a	6.93	1.42 ^b
XM-406	72.82 ^a	9.15 ^b	1.18 ^b	52.41 ^a	7.35	1.43 ^b
BJ-83	73.14 ^a	12.62 ^b	1.49 ^{ab}	47.57 ^{ab}	7.58	1.28 ^b
HB-725	72.72 ^a	13.77 ^b	1.63 ^{ab}	48.64 ^{ab}	6.77	1.51 ^b
EEM	1.35	0.61	0.11	1.44	0.46	0.06

^{ab} Medias con distinta literal en la misma columna son diferentes ($p < 0.05$).

(500 ml). El filtrado fue mezclado y una alícuota fue almacenada a 4 °C hasta el análisis de glucosa con el método de la glucosa oxidasa.

Para la evaluación productiva de las variedades de sorgo se sembraron parcelas demostrativas de las 10 variedades de sorgo en cuatro comunidades de la región. Para cada variedad se sembró una parcela de 1.5 ha y fueron sembradas homogéneamente siguiendo las recomendaciones del Programa Elemental de Asistencia Técnica del Estado de Puebla (INCA RURAL 1999). Se utilizó una densidad de siembra 6 kg ha⁻¹ y una distancia entre hileras y plantas de 30 y 20 cm, respectivamente.

Para evaluar el rendimiento productivo se realizó una colección del grano producido por 30 panojas las cuales fueron cosechadas mediante un muestreo uniforme considerando tanto los bordes como el centro de la parcela. La producción total de grano expresado en gramos de estas plantas fue multiplicada por el número de plantas promedio por hectárea. Para la estimación de la producción de nutrientes por ha, se consideraron los resultados del laboratorio y el rendimiento de grano. Para el análisis estadístico de las variables observadas se utilizó un diseño en bloques al azar, donde el factor de heterogeneidad fue la comunidad donde se sembró la parcela demostrativa. Para comparar las medias de las variables analizadas se realizó una prueba de Tukey. El análisis fue realizando utilizando el Proce-

dimiento GLM del programa SAS (SAS 1995).

Para poder estimar el contenido de energía de las variedades, se consideró que la digestibilidad *in situ* del almidón podría estimar el Total de Nutrientes Digestibles (TND) en forma equivalente a la de la materia seca (Fernandez-Rivera *et al.* 1989). La energía digestible (ED) se calculó equivalente a un kg de TND por 4.4 Mcal; la energía metabolizable (EM) como el 82 % de la ED; y para estimar la energía neta de mantenimiento (ENm) y ganancia (ENg), se consideraron eficiencias de utilización de 0.67 y 0.45 para mantenimiento y ganancia respectivamente (NRC 1985).

RESULTADOS

La concentración de almidón por kg de grano varió de 63,8 a 73,8 % y se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) solo entre algunas de las variedades. La variedad que tuvo menor contenido fue la KS-989, repercutiendo en la más baja concentración de almidón digestible (Tabla 1). La concentración de almidón digestible varió de 42.1 a 52.4 % (ES = 1.44) y se encontraron diferencias significativas entre algunas de las variedades (misma Tabla, $p < 0.05$); sin embargo, no se encontró correlación entre el contenido de almidón digestible y la cantidad total del grano. La concentración de proteína se encontró en un intervalo de 6.77 a 8.2 %

Tabla 2. Rendimiento de nutrientes (ton ha^{-1}) en variedades de sorgo cultivadas en la región de Izúcar de Matamoros, Puebla.

Table 2. Nutrient yield (ton ha^{-1}) of sorghum varieties grown in the region of Izúcar Matamoros, Puebla.

Variedad	MS grano	Almidón	Almidón digestible	Proteína	FDN	Taninos
D-68	6.15	4.38	2.98	0.455	0.857 ^{ab}	0.080 ^b
D-65	6.12	4.45	2.98	0.437	0.765 ^{ab}	0.082 ^b
KS-989	5.87	3.80	2.50	0.517	1.295 ^a	0.290 ^a
P-8641	5.47	3.76	2.63	0.420	0.670 ^b	0.072 ^b
RB-3006	5.35	3.78	2.61	0.402	0.690 ^b	0.067 ^b
P-8282	5.10	3.60	2.57	0.367	0.642 ^b	0.070 ^b
HB-723	5.05	3.73	2.45	0.357	0.645 ^b	0.075 ^b
XM-406	4.77	3.49	2.43	0.352	0.440 ^b	0.067 ^b
BJ-83	4.65	3.44	2.24	0.345	0.582 ^b	0.060 ^b
HB-725	4.35	3.73	2.45	0.297	0.597 ^b	0.067 ^b
EEM	0.60	0.41	0.27	0.590	0.096	0.015

^{ab} Medias con distinta literal en la misma columna son diferentes ($p < 0.05$).

y no fue diferente ($p < 0.05$) entre las variedades, (Tabla 1). En el presente trabajo, no existieron diferencias ($p > 0.05$) entre variedades (Tabla 2) en el rendimiento por hectárea de grano (materia seca), almidón total y digestible; sin embargo, se observaron algunas tendencias entre las mismas ($p < 0.10$), con valores que variaron de 4.5 a 6.3 t ha^{-1} (Tabla 2). Este rendimiento fue muy superior a las 3.1 t ha^{-1} reportadas para esa zona (INCA RURAL 1999) y es similar al reportado en otros países. El rendimiento por ha de almidón digestible no mostró diferencias (Tabla 2), pero si hubo diferencias ($p < 0.05$) en el rendimiento de materia seca digestible a pesar de que la concentración de almidón total fue diferente entre variedades. Donde la variedad HB-725 tuvo los menores valores (Tabla 1). Para la FDN se encontraron diferencias entre variedades ($p < 0.05$) observando que la KS-989 tiene la mayor concentración (22.45 %), mientras que la XM-406 tuvo la menor (9.16 %). También se encontró una correlación negativa ($r = -0.68$, $p < 0.0001$), entre la FDN y almidón, mientras que FDN con cenizas fue positiva ($r = 0.45$, $p < 0.0001$). Con relación al contenido de materia inorgánica se encontraron diferencias ($p < 0.05$), donde la variedad XM-406 registró el menor valor (Tabla 1). La concentración de taninos fue superior ($p < 0.05$) en la variedad KS-989 (4.95 %), mientras que las otras tuvieron una concentración de taninos dentro de un rango de

1.21 a 1.51 % (Tabla 1). El mayor contenido de taninos de la variedad KS-989 repercutió en un mayor ($p < 0.05$) rendimiento por hectárea (Tabla 2). Sin embargo, la concentración de taninos de la mayoría de las variedades puede considerarse en el límite inferior de las resistentes a pájaros; las variedades amargas tienen concentraciones mayores al 1.57 % (Hibberd *et al.* 1982, Sene *et al.* 2001). El contenido de taninos mostró una correlación positiva ($p < 0.05$) con la proteína ($r = 0.89$) y la FDN ($r = 0.46$), pero negativa con el almidón ($r = -0.65$) del grano. En la Tabla 3 se presenta una estimación del valor energético de las variedades de sorgo para ovinos. El NRC (1985) reporta la EM de 2.75 -2.76 Mcal, mientras que nuestras estimaciones indican un valor 10 % más bajo.

DISCUSIÓN

El intervalo de concentraciones determinado es similar al reportado en 21 variedades de sorgo usadas en México (Duran *et al.* 2004) y confirma la variabilidad observada en experimentos realizados en EUU (Hibberd *et al.* 1982, Wester *et al.* 1992). Otros estudios (Streeter *et al.* 1990a) han mencionado concentraciones más altas de almidón (73 al 79 %), lo cual puede deberse al tipo de variedad y a las condiciones ambientales del momento de la evaluación (Hibberd *et al.* 1982). Debido

a que la producción de almidón es dependiente de un complejo de enzimas formadoras de almidón que se vinculan tanto a la síntesis de amilasa como de amilopectina y las cuales presentan diferente grado de susceptibilidad a los cambios de temperatura (Fulton *et al.* 2002, Maddelein *et al.* 1994). Se ha demostrado que los efectos ambientales de cada año pueden modificar la productividad y características del sorgo (Firkins *et al.* 1998, Hoisington *et al.* 1999, Limon-Ortega *et al.* 1998, Maman *et al.* 2003).

Tabla 3. Estimación del contenido de energía (Mcal kg⁻¹ de MS) de las variedades de sorgo cultivadas en la región de Izúcar de Matamoros, Puebla, para ovinos, con base a la digestibilidad del almidón *in situ*.

Table 3. Estimation of the energy content (Mcal kg⁻¹ of DM) in the varieties of sorghum grown in the region of Izúcar Matamoros, Puebla, for sheep, based on the *in situ* digestibility of starch.

Variedad	TND ^a	ED	EM	ENm	ENg
D-68	68.13	2.99	2.45	1.64	1.00
D-65	66.82	2.94	2.41	1.61	0.98
KS-989	65.33	2.87	2.35	1.57	0.96
P-8641	70.08	3.08	2.52	1.69	1.03
RB3006	69.08	3.04	2.49	1.67	1.02
P-8282	71.15	3.13	2.56	1.72	1.05
HB-723	65.88	2.89	2.37	1.59	0.97
XM-406	71.96	3.16	2.59	1.74	1.06
BJ-83	65.03	2.86	2.34	1.57	0.96
HB-725	65.83	2.86	2.34	1.57	0.96

^aTND: Estimado como la digestibilidad del almidón como porcentaje del inicial a las 12 h.

Las concentraciones de almidón digestible determinadas en este trabajo fueron ligeramente mayores a las reportadas por Duran *et al.* (2004) quienes reportaron un rango de 29.3 a 48.7 % con variedades de sorgo cultivadas en el Estado de Tamaulipas. Uno de los factores que puede modificar el contenido de almidón digestible esta relacionado con la técnica de análisis (Wester *et al.* 1992). Duran *et al.* (2004) determinaron la concentración de almidón digestible *in vitro* y en este estudio fue *in situ*. Trabajos realizados por Philippeau *et al.* (1999) mostraron que la digestibilidad *in situ* del grano es afectada por el grado de dureza de su endospermo. Aunque en este trabajo no se midieron las características del endospermo, los cambios en la concentración de nutrientes sugieren la posibilidad de que

existan diferencias en la constitución del endospermo.

Otro de los factores que puede alterar la concentración de almidón digestible es la relación de amilosa y amilopectina, las cuales cambian la velocidad de degradación del alimento al cambiar su distribución dentro de las placas que conforman a los gránulos (Huntington 1997). Se ha demostrado que la cantidad de amilosa presente en el grano depende de la temperatura ambiental después de la floración, ya que la síntesis de amilosa depende de la presencia y activación de una sintetasa formadora de almidón que enlaza este a los gránulos (GSSS) por sus siglas en inglés y que las altas temperaturas disminuyen su actividad enzimática y aumentan la actividad las diversas isoformas de sintetasas de almidón soluble que regulan la síntesis y el tamaño de la Amilopectina (Jiang *et al.* 2003). Estos cambios en la actividad enzimática explican parcialmente los cambios en la concentración de almidón digestible de los granos. El intervalo de concentraciones de proteína fue menor a la de otros estudios (Douglas *et al.* 1990). Streeter *et al.* (1990b) reportaron una concentración de proteína de entre 9.5 y 10.4 % observando que las variedades de sorgo rojo tienen una mayor cantidad de proteína.

El rendimiento de grano en los cultivos de sorgo en áreas de temporal se ha incrementado a lo largo de los últimos 40 años de casi 840 a 3 760 kg ha⁻¹, lo cual sido consecuencia de la mejora en las prácticas de manejo, el aumento en la disponibilidad de agua para la planta y el genotipo usado; y se estima que el uso de variedades mejoradas contribuye en un 46 % de este incremento en la producción (Unger & Baumhardt 1999). Hammer & Broad (2003) obtuvieron producciones de 4.7 a 9.4 t ha⁻¹.

Los resultados de este trabajo muestran que el comportamiento productivo del almidón y del rendimiento de grano están positivamente correlacionados ($p < 0.05$; $r = 0.81$). También, la correlación entre la producción de almidón digestible y la producción de grano por ha fue significativa ($r = 0.82$; $p < 0.05$) debido a que el proceso de selección de grano puede estar afectando los metabolitos bioquímicos que favorecen la síntesis de almidón en el endospermo.

Las concentraciones de FDN en el grano de sorgo encontradas en este trabajo son similares a las reportadas por Duran *et al.* (2004) con valores de 7.4 a 16.1 % en 21 variedades con diferente genotipo de resistencia a la sequía. También concuerdan con los valores reportados por Douglas *et al.* (1990) quienes encontraron una correlación negativa entre FDN y almidón (- 0.68) la cual muestra que al incrementar el grosor del pericarpio, el volumen del endospermo se reduce. El papel de la pared celular en la reducción de la digestibilidad ha sido establecido desde hace mucho tiempo (Poore *et al.* 1990, Varga *et al.* 1997) y permite explicar porque la variedad KS-989 es una de las variedades con menor digestibilidad.

El efecto negativo de los taninos sobre la digestibilidad en rumiantes y no rumiantes, así como en el crecimiento de bacterias ruminales ha sido demostrado (Bae *et al.* 1993, Flores *et al.* 1994, Hibberd *et al.* 1982, Longstaff & McNab 1991, O'donovan & Brooker 2001) y explica junto con el incremento de fibra, la menor concentración de almidón digestible de la variedad KS-989. El contenido de cenizas es similar al reportado en otros estudios que muestran un rango de 1.17 a 1.91 % en las 10 variedades de sorgo (Torres *et al.* 1996).

Falk *et al.* (2002) han destacado la necesidad de señalar a los fitomejoradores de variedades las necesidades que enfrenta el consumidor y dejar de producir variedades que resuelvan solo los problemas del agricultor. La variedad KS-989 que tuvo la mayor cantidad de FDN ($p < 0.05$) fue la del tercer lugar en la producción de grano por ha, lo cual la vuelve muy atractiva para los agricultores, sin embargo, cuando se considera desde el punto de vista de nutrición de rumiantes, no sería la más deseable. La correlación entre la FDN y los taninos sugiere en una forma evidente que las variedades que producen mayor cantidad de FDN producen la mayor cantidad de taninos, el trabajo de Sene *et al.* (2001) muestra

una correlación entre la producción total de taninos y la producción de MS de 0.66 y con el grano de sorgo de 0.90, resultados que coinciden con este trabajo.

El NRC (1985) reporta la ENm de 1.89 Mcal y ENg de 1.29, indicando que los sorgos tienen un bajo contenido de energía asociado a la baja digestibilidad del almidón. Esto se puede deber a que la estimación almidón no considera el aporte de la digestión de la FDN de los granos cuyo aporte es generalmente subestimado (Barcena & Swingle 2002). Sin embargo, se conoce que la variabilidad en la digestibilidad ruminal del sorgo afecta el comportamiento productivo de los rumiantes (Britton & Stock 1986, Huntington 1997, Wester *et al.* 1992). Si usamos esos valores para estimar el comportamiento, el consumo de materia seca para ovinos de 25 kg, estaría entre 1.008 kg d⁻¹ para la variedad XM 406 y sería máximo en la variedad BJ 83 con 1.050 kg d⁻¹, lo que en términos de ganancia de peso esperada con base a la EN del sorgo sería de 329 y 347 g d⁻¹ respectivamente, lo cual tendría poco efecto en términos económicos en el productor, sin embargo, estas estimaciones deben de corroborarse con ensayos de crecimiento experimentales.

Finalmente, a pesar de que hubo diferencias en la concentración de nutrimentos entre variedades, el rendimiento de nutrientes por hectárea fue similar, por lo que es importante que se evalúen las variedades de grano en función de su contenido de nutrientes y que se identifiquen aquellas de que tengan el mayor rendimiento de MS y nutrientes digestibles para rumiantes.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo del M.C. Mauricio Mora Pérez de la Fundación Produce Puebla, A.C. por su participación en el desarrollo del experimento.

LITERATURA CITADA

- AOAC (1990) Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. Vol. 1. 15 Ed., Washington, D. C.
- Bae H, Mcallister T, Yanke J, Cheng K, Muir A (1993) Effects of condensed tannins on endoglucanase

- activity and filter paper digestion by *Fibrobacter succinogenes* S85. Applied Environmental Microbiology 59: 2132-2138.
- Bárcena GR, Swingle RS (2002) Effect of roughage source on ruminal kinetics and passage of individual feed components in finishing diets for steers. Journal of Applied Animal Research 21: 109-121.
- Britton RA, Stock RA. (1986) Acidosis, rate of starch digestion and intake. In: Agric Exp Sta Oklahoma State University editors. Symposium Proceedings: Feed Intake by Beef Cattle. 70-80.
- Castro EE (1999) Características morfológicas, fisiológicas y bioquímicas asociadas con la resistencia a la sequía en el sorgo para grano [tesis doctorado]. Montecillo, Estado de México Colegio de Postgraduados
- Douglas HJ, Sullivan TW, Bond PL, Struwe FJ (1990) Nutrient composition and metabolizable energy values of selected grain sorghum varieties and yellow corn. Poultry Science 69: 1147-1155.
- Duran AJ, Castro NS, Mendoza GD, Cobos PM, Ricalde VR, Plata PF (2004) Degradabilidad ruminal *in vitro* de almidón de 21 variedades de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) con diferente genotipo de resistencia a sequía. Interciencia 29: 329-333.
- Falk MC, Chassy BM, Harlander SK, Hoban TJT, Mcgloughlin MN, Akhlaghi AR (2002) Food biotechnology: benefits and concerns. Journal of Nutrition 132: 1384-1390.
- Fernandez-Rivera S, Lewis M, Klopfenstein TJ, Thompson TI (1989) A simulation model of forage yield, quality and intake of growing cattle grazing cornstalks. Journal of Animal Science. 67: 581-589.
- Firkins JL, Allen MS, Oldick BS, St-Pierre NR (1998) Modeling ruminal digestibility of carbohydrates and microbial protein flow to the duodenum. Journal of Dairy Science 81: 3350-3369.
- Flores M, Castanon J, McNab J (1994) Effect of tannins on starch digestibility and TMEn of triticale and semipurified starches from triticale and field beans. British Poultry Science 35: 281-286
- Fulton DC, Edwards A, Pilling E, Robinson HL, Fahy B, Seale R, Kato L, Donald AM, Geigenberger P, Martin C, Smith AM (2002) Role of granule-bound starch synthase in determination of amylopectin structure and starch granule morphology in potato. Journal of Biological Chemistry 277: 10834-10841.
- García E (1988) Modificaciones al sistema de clasificación climática de Copen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 4ª ed. México: Instituto de Geografía, UNAM
- Gutiérrez C, Mendoza GD, Ricalde VR, Melgoza L, Plata PF (2005) Effect of exogenous amylase or gluco-amylase dose on *in situ* ruminal digestion of corn and sorghum. Journal of Applied Animal Research 27: 7-10.
- Hammer GL, Broad LJ (2003) Sorghum genotype and environment effects of harvest index during grain filling in sorghum. Agronomy Journal 95: 199-206.
- Herrera SR, Huber JT (1989) Influence of varying protein and starch degradabilities on performance of lactating cows. Journal of Dairy Science 72: 1477-1483
- Hibberd CA, Wagner DG, Schemm RL, Mitchell ED, Hintz RL, Weibel (1982) Nutritive characteristics of different varieties of sorghum and corn grain. Journal of Animal Science 55: 665-672.
- Hoisington D, Khairallah M, Reeves T, Ribaut JM, Skovmand B, Taba S, Warburton M (1999) Plant genetic resources: what can they contribute toward increased crop productivity? Proc Natl Acad Sci USA 96: 5937-5943.
- Huntington GB (1997) Starch utilization by ruminants: from basics to the bunk. Journal of Animal Science 75: 852-867

- INCA RURAL-Colegio de Postgraduados (1999) Programa Elemental de Asistencia Técnica 1999 en el Estado de Puebla. México.
- Jiang H, Dian W, Wu P (2003) Effect of high temperature on fine structure of amylopectin in rice endosperm by reducing the activity of the starch branching enzyme. *Phytochemistry* 63: 53-59.
- Limon-Ortega A, Mason S, Martin A (1998) Production practices improve grain sorghum and pearl millet competitiveness with weeds. *Agronomy Journal* 90: 227-232.
- Longstaff M, McNab J (1991) The inhibitory effects of hull polysaccharides and tannins of field beans (*Vicia faba* L.) on the digestion of amino acids, starch and lipid and on digestive enzyme activities in young chicks. *British Journal of Nutrition* 65: 199-216
- Maddelein MI, Libessart N, Bellanger F, Delrue B, D'hulst C, Van Den Koornhuyse N, Fontaine T, Wieruszkeski JM, Decq A, Ball S (1994) Toward an understanding of the biogenesis of the starch granule. Determination of granule-bound and soluble starch synthase functions in amylopectin synthesis. *Journal of Biological Chemistry* 269: 25150-25157.
- Maman N, Lyon DJ, Mason SC, Galusha TD, Higgins R (2003) Pearl millet and grain sorghum yield response to water supply in Nebraska. *Agronomy Journal* 95: 1618-1624
- Mendoza MGD, Ortega ME, Ricalde VR, Martínez JA (2000) Modelos matemáticos para evaluar la tasa de digestión *in vitro* del almidón. *Técnica Pecuaria México* 38: 51-65
- NRC (1985) Nutrient requirements of Sheep. National Research Council. National Academy Press. Washington, D.C.
- O'donovan L, Brooker JD (2001) Effect of hydrolysable and condensed tannins on growth, morphology and metabolism of *Streptococcus gallolyticus* (S. caprinus) and *Streptococcus bovis*. *Microbiology* 4: 1025-1033.
- Philippeau C, Martin C, Michalet-Doreau B (1999) Influence of grain source on ruminal characteristics and rate, site, and extent of digestion in beef steers. *Journal of Animal Science* 77: 1587-1596.
- Poore MH, Moore JA, Swingle RS (1990) Differential passage rates and digestion of neutral detergent fiber from grain and forages in 30, 60 and 90 % concentrate diets fed to steers. *Journal of Animal Science* 68: 2965-2973.
- Price M, Butler LG (1977) Rapid visual estimation and spectrophotometric determination of tannin content of sorghum grain. *Journal of Agricultural Food and Chemistry* 25: 1268-1273.
- SAS (1995) SAS User's Guide:Statistics, (version 6 ed.). Cary NC, USA:SAS Inst. Inc.
- Sene M, Gallet C, Dore T (2001) Phenolic compounds in a Sahelian sorghum (*Sorghum bicolor*) genotype (CE145-66) and associated soils. *Journal of Chemistry and Ecology* 27: 81-92.
- Streeter MN, Hill GM, Wagner DG, Owens FN, Hibberd CA (1993) Effect of bird-resistant and non-bird-resistant sorghum grain on amino acid digestion by beef heifers. *Journal of Animal Science* 71: 1648-1656.
- Streeter MN, Wagner DG, Hibberd CA, Owens FN (1990a) Comparison of corn with four sorghum grain hybrids: site and extent of digestion in steers. *Journal of Animal Science* 68: 3429-3440
- Streeter MN, Wagner DG, Hibberd CA, Owens FN (1990b) The effect of sorghum grain variety on site and extent of digestion in beef heifers. *Journal of Animal Science* 68: 1121-1132
- Torres CTE, Alanis GMG, Maiti R (1996) Relationship between nutritional composition and anatomical parameters in sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench)]. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 46: 253-259.

- Unger PW, Baumhardt RL (1999) Factors related to dryland grain sorghum yield increases: 1939 through 1997. *Agronomy Journal* 91: 870-875.
- Van Soest P, Robertson J, Lewis B. (1991) Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*; 74: 3583-3597.
- Varga GA, Kolver ES (1997) Microbial and animal limitations to fiber digestion and utilization. *Journal of Nutrition* 127: 819S-A
- Wester TJ, Gramlich SM, Britton RA, Stock RA (1992) Effect of grain sorghum hybrid on *in vitro* rate of starch disappearance and finishing performance of ruminants. *Journal of Animal Science* 70: 2866-2876.