

Characterization of grains and panicles quality of Cuban sorghum cultivars harvested at two grain vegetative stages and two harvesting season

Caracterización de la calidad de granos y panículas de cultivares cubanos de sorgos cosechados en dos estados vegetativos del grano y dos épocas de cosecha

Janhad L. Rodríguez-Mendieta¹, V.D. Gil-Díaz², L. I. Marrero-Suárez^{1,2}, A. Castro-Alegoría¹, Sandra Hoedtke³ and R. Lima-Orozco^{1,2}

¹Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas (UCLV), Departamento of Medicina Veterinaria y Zootecnia, Carretera a Camajuaní km 5.5. Santa Clara, Villa Clara. Cuba

²UCLV, Centro de Investigaciones Agropecuarias, Santa Clara, Cuba;

³University of Rostock, Chair of Animal Physiology and Animal Nutrition, Justus-von-Liebig-Weg 8, 18059 Rostock, Germany
Email: raciello@uclv.edu.cu

The effect of harvesting season (HS: rainy vs. dry) and grain vegetative stage (GVS: soft dough vs. hard dough) at harvesting time on grains and panicles quality parameters from three sorghum (*Sorghum bicolor* (L. Moench)) cultivars (new cultivar: CIAP MC-04-12, subsp. bicolor, race guinea; commercial cultivars: CIAP 2E-95 and CIAP 132R-05, subsp. bicolor, race bicolor) during two years (2011 and 2012) were determined. The GVS at harvesting time affected all studied parameters, while HS at harvesting time affected the dry matter, crude protein (CP), neutral detergent fiber, the slowly digestible starch fraction, organic matter (OM) digestibility and digestible energy (DE). The starch (St) of the new sorghum cultivar was classified as a St of slow digestibility and showed lower proportion of highly digestible St fraction as compared with the commercial sorghum cultivars. The hard dough grains showed the best nutritive value independent of HS (e.g., new sorghum cultivar: 127-130 g CP/kg DM, 673-677 g St/kg DM, 867-884 g digested OM/kg DM and 14.6-14.9 MJ DE/kg DM). In this study grains from new sorghum cultivar have good nutritional value to pigs and provide a basis for further studies as an interesting animal feed alternative, especially for non-ruminants.

Key words: *sorghum*, *grain vegetative stage*, *nutritive value*, *grain quality*, *starch*

Introduction

The low yield of cereals in tropical areas (e.g., corn, wheat) limit the livestock production, especially of non-ruminant species, when cereal grains are used as the main component in their feeding systems (Castro 2000). Moreover, the increase of the cereals' world market price brings the necessity to use feedstuffs from crops adapted to diverse agro-ecological conditions of the tropical areas such as sorghum and rice, that show higher yields and nutritive values compared to not adapted crops (e.g., wheat, maize, barley) under the same conditions. Sorghum (*Sorghum bicolor* (L. Moench)) is among the cereals that show a good adaptability with acceptable grain yields in drought-prone areas representing a good energy source for

El efecto de la época de cosecha (EC: lluviosa vs. poco lluviosa) y estado vegetativo del grano (EVG: masa suave vs. masa dura) en el momento de la cosecha en los indicadores de calidad de granos y panículas de tres sorgos (*Sorghum bicolor* (L. Moench)) cultivares (nuevo cultivar: CIAP MC-04-12, subsp. bicolor, raza Guinea; cultivares comerciales: CIAP 2E-95 y CIAP 132R-05, subsp. bicolor, raza bicolor) durante dos años (2011 y 2012) fueron determinados. El EVG en el momento de la cosecha afectó todos los indicadores estudiados, mientras que en el momento de cosecha la EC afectó a la materia seca, proteína bruta (PB), fibra neutro detergente, la fracción de almidón de digestión lenta, digestibilidad de la materia orgánica (MO) y energía digestible (ED). El almidón (A) del nuevo cultivar de sorgo fue clasificado como un A de digestibilidad lenta y mostró menor proporción de fracción A altamente digerible en comparación con los cultivares comerciales de sorgo. Los granos de masa dura mostraron el mejor valor nutritivo independiente de la EC (por ejemplo: nuevo cultivar de sorgo: 127-130 g PB/kg MS, 673-677 g A/kg MS, 867-884 g MO digerida/kg MS y 14.6-14.9 MJ ED/kg MS). En este estudio los granos del nuevo cultivar de sorgo tienen buen valor nutricional para los cerdos y proporcionan las bases para estudios posteriores como una alternativa interesante para la alimentación animal, especialmente para los no rumiantes.

Palabras clave: *sorgo*, *estado vegetativo del grano*, *valor nutritivo*, *calidad del grano*, *almidón*

Introducción

El bajo rendimiento de los cereales en las zonas tropicales (ejemplo: maíz, trigo) limitan la producción ganadera, especialmente de las especies no rumiantes, cuando se usan los granos de cereales como el componente principal en sus sistemas de alimentación (Castro 2000). Por otra parte, el aumento del precio del mercado mundial de los cereales trae la necesidad de utilizar los piensos de cultivos adaptados a las diversas condiciones agroecológicas de las zonas tropicales, como el sorgo y el arroz, que muestran un mayor rendimiento y valor nutritivo en comparación con los cultivos no adaptados (por ejemplo, trigo, maíz, cebada) en las mismas condiciones. El sorgo (*Sorghum bicolor* (L. Moench)) es uno de los cereales que muestran una buena capacidad de adaptación con los rendimientos de grano aceptables en

pigs (Mushandu *et al.* 2005). The ICRISAT (2003) reported about a sorghum race (i.e., guinea) that shows drought and water tolerance with high grain yields, resistance to bird damage by adaptation characteristics (i.e., lax panicles and gaping glumes) and acceptable crude protein contents, which is a viable alternative for producing grains in the tropical agricultural systems, especially by small holders. CIAP MC-04-12 (*Sorghum bicolor* (L.) Moench, subsp. bicolor, race guinea), being a new cultivar that was obtained by genetic selection at the Centro de Investigaciones Agropecuarias (CIAP, Santa Clara, Cuba), therefore requires an evaluation of its nutritional value to determine adequate inclusion levels for the respective animal feeding systems. However, the nutritional value might be affected by the grain vegetative stage (Black *et al.* 1980) at harvesting time as well as by the harvesting season (rainy and dry season), where most of the crops are negatively influenced in yield as much as in nutritive value (Pérez *et al.* 2010). In addition, as feed, the sorghum grain digestibility, and consequently its delivery energy, are lower than those of other cereals such as maize, wheat and rice (Shewayrga *et al.* 2012); for that reason when sorghum grain cultivars are evaluated is necessary to know the energy and digestibility values for its inclusion in feed systems (Noblet and Jaguelin-Peyraud 2007), especially for non-ruminants species (Annison and Topping 1994). The objective of this paper was to research the harvesting time effects on nutritive value of grains and panicles from three sorghum cultivars.

Material and methods

Plant material: Sorghums were sown in the experimental station of CIAP, Santa Clara, Cuba (Elevation: 100 m a.s.l., latitude: 22° 43'N, longitude: 79° 90'W) at row distances of 0.90 m and at rate of 25 plants/m². Sowing was carried out in different plots (per cultivar, three plots (0.20 ha/plot)/grain vegetative stage/harvesting season in each year) with similar fertility (average ± SE: P₂O₅, 3.47± 0.29 mg/100 g of soil; K₂O, 4.91±0.22 mg/100 g of soil and OM, 1.88±0.08%) and the same soil type (brown calcareous inceptisol; McCune *et al.* 2011) and crops were neither irrigated and fertilized. Grains and panicles were harvested by hand at two vegetative grain stages (soft dough and hard dough) and in two harvesting seasons [dry season (February for soft dough grain stage and March for hard dough grain stage) and rainy season (August for soft dough grain stage and September for hard dough grain stage)] during two years (2011 and 2012). Average (± SD) precipitation, temperature and humidity during the cropping period of rainy and dry season in 2011 were 182 ±30 mm and 39 ±11 mm, 27.6 ±0.5 °C and 22.1 ±0.9 °C and 80 ±1 % and 75 ±2 %, respectively; for 2012 were 193 ±24 mm and 46 ±14 mm, 28.2 ±0.4 °C and 20.7 ±0.5 °C and 80 ±2 % and

las zonas propensas a la sequía representando una buena fuente de energía para cerdos (Mushandu *et al.* 2005). El ICRISAT (2003) informó sobre una raza de sorgo (por ejemplo, guinea) que muestra tolerancia a la sequía y al agua con altos rendimientos del grano, resistencia a daños de aves por las características de adaptación (por ejemplo, panículas laxas y glumas abiertas) y contenidos de proteína cruda aceptables, que es una alternativa viable para la producción de granos en los sistemas agrícolas tropicales, especialmente de los pequeños productores. El CIAP MC-04-12 (*Sorghum bicolor* (L.) Moench, subsp. bicolor, raza guinea), siendo este un nuevo cultivar que se obtuvo mediante la selección genética en el Centro de Investigaciones Agropecuarias (CIAP, Santa Clara, Cuba), requiere, por tanto, una evaluación de su valor nutricional para determinar los niveles de inclusión adecuados para los respectivos sistemas de alimentación de animales. Sin embargo, el valor nutricional puede verse afectado por la etapa vegetativa del grano (Black *et al.* 1980) en el momento de la cosecha, así como por la época de cosecha (estación lluviosa y poco lluviosa), donde la mayoría de los cultivos se ven influenciados negativamente en el rendimiento tanto como en el valor nutritivo (Pérez *et al.* 2010). Además, como alimento, la digestibilidad del grano de sorgo, y en consecuencia su energía liberada, son más bajos que los de otros cereales, tales como maíz, trigo y arroz (Shewarega *et al.* 2012); por eso cuando se evalúan los cultivares de granos de sorgo es necesario conocer los valores de energía y digestibilidad para su inclusión en los sistemas de alimentación (Noblet y Jaguelin-Peyraud 2007), especialmente para especies no rumiantes (Annison y Topping, 1994). El objetivo de este trabajo fue investigar los efectos del momento de cosecha en el valor nutritivo de los granos y panículas de tres cultivares de sorgo.

Materiales y métodos

Material vegetal: Los sorgos se sembraron en la estación experimental del CIAP, Santa Clara, Cuba (Elevación: 100 m snm, la latitud: 22° 43'N, longitud: 79° 90'W) a una distancia entre surcos de 0.90 m y a una razón de 25 plantas /m². La siembra se realizó en diferentes parcelas (por cultivar, tres parcelas (0.20 ha/parcela)/estado vegetativo del grano/época de cosecha en cada año) con fertilidad similar (media ± EE: P₂O₅, 3.47± 0.29 mg/100 g de suelo; K₂O, 4.91±0.22 mg/100 g de suelo y MO, 1.88±0.08%) y el mismo tipo de suelo (inceptisol calcáreo marrón; McCune *et al.* 2011) y los cultivos no fueron irrigados ni fertilizados. Los granos y las panículas fueron cosechados a mano en dos estados vegetativos del grano (masa blanda y masa dura) y en dos épocas de cosecha [estación poco lluviosa (febrero para la etapa del grano de masa suave y marzo para la etapa del grano de masa dura) y la estación de lluvias (agosto para la etapa del grano de masa suave y septiembre para la etapa del grano de masa dura)] durante dos años (2011 y 2012). La precipitación, la temperatura y la humedad medias (± DE) durante el período de cultivo de la estación de lluvias y poco lluviosa en 2011 fueron 182 ± 30 mm y 39 ± 11 mm, 27.6 ± 0.5 °C y 22.1 ± 0.9 °C y 80 ± 1% y

76 ± 1 %, respectively.

Treatments and design. A split plot design with three replications per grain vegetation stage was used to compare three sorghum cultivars. They were the main plots, while the subplots were two harvesting times (soft dough grain stage and hard dough stage) per season.

Sampling and proximate chemical analysis: Immediately after harvesting 50 kg of panicles from different areas of each plot were collected, from this a subsample of 40 kg of panicles was used for takeout the grains from panicles to be used in further procedures; the another subsample (10 kg of panicles) was performed to be used in further procedures as whole panicle (without remove grains). These materials collected per each plot were dried at 65 °C during 72 h in triplicate. Afterwards, the dried material was ground to pass a 1 mm sieve and 350 g of grains or panicles stored in glass bottles at room temperature (28 ± 3 °C) before being further analyzed.

Samples were assayed (in duplicate) for the dry matter (DM), ether extract (EE), crude protein (CP (N×6.25)) (AOAC, 1995) and organic matter (OM) content by EEC (1971). Neutral detergent fiber (NDF) was analyzed with a heat stable amylase (Sigma, reference A3176) and expressed exclusive of residual ash (Van Soest *et al.* 1991), acid detergent fiber (ADF) was determined by sequential analysis of the residual NDF and also expressed exclusive of residual ash (Van Soest *et al.*, 1991), in which hemicellulose was calculated as the difference between NDF and ADF. Cellulose and lignin were determined according to Van Soest *et al.* (1991), with lignin being oxidized with permanganate.

In vitro digestibility and energy estimation: The starch (St) contents and their *in vitro* digestibility were determined in three steps simulating the digestion in mouth, stomach and intestine in a closed system, by measuring glucose at different incubation times (0, 0.5, 1.0, 2.0, 6.0 and 24 h) according to the enzymatic methods suggested by Al-Rabadi *et al.* (2009). In briefly: 0.5 g of sample were placed in an Erlenmeyer (250 mL of capacity) in which 5 mL of carbonate buffer (39.2 g of NaHCO₃ per liter of distilled water, pH 7.0) containing 11.0 mg α-amylase /mL (enzyme activity of 25 units/mg) were added and well mixed with the sample. This step was followed by the addition of 5 mL of pepsin solution (25 mg pepsin/mL of 0.02 M HCl solution). Hence, the Erlenmeyers were placed in a shaking incubator at 37 °C and 85 rpm during 30 min. After this time 25 mL of sodium acetate buffer containing 2 mg sodium azide per mL (pH 6.0), 5 mL of 0.02 M NaOH and 5 mL of pancreatin and amyloglucosidase solution (2 mg pancreatin and 0.9 mg amyloglucosidase per mL of acetate buffer containing 2 mg sodium azide per mL) were added to the mixture and placed into the shaking incubator at 37 °C (zero hour) and 85 rpm during 24 h, the

75 ± 2%, respectivamente; para el año 2012 fueron 193 ± 24 mm y 46 ± 14 mm, 28.2 ± 0.4 °C y 20,7 ± 0.5 °C y 80 ± 2% y 76 ± 1%, respectivamente.

Tratamientos y diseño: Se empleó un diseño de parcela dividida con tres réplicas por estado vegetativo del grano para comparar tres variedades de sorgo. Las variedades constituyeron la parcela principal, mientras que las subparcelas las conformaron dos momentos de la cosecha (masa suave y dura del grano) por estación.

Muestreo y análisis químico proximal: Inmediatamente después de la cosecha 50 kg de panículas de diferentes áreas de cada parcela se recogieron, de esta, una submuestra de 40 kg de panículas se utilizó para extraer los granos de las panículas que se utilizarán en los procedimientos adicionales; la otra submuestra (10 kg de panícula) se utilizó en los procedimientos adicionales como panícula conjunto (sin eliminar los granos). Estos materiales recogidos por cada parcela se secaron a 65 °C durante 72 h en triplicado. Después, el material seco se molió para pasar un tamiz de 1 mm y 350 g de granos o panículas fueron almacenados en botellas de vidrio a temperatura ambiente (28 ± 3 °C) antes de ser analizados.

Las muestras fueron analizadas (en duplicado) para la materia seca (MS), extracto etéreo (EE), proteína bruta (PB (N x 6,25)) (AOAC, 1995) y contenidos de materia orgánica (MO) por la CEE (1971). La fibra neutro detergente (FND) se analizó con una amilasa estable al calor (Sigma, A3176 de referencia) y se expresó en exclusiva de la ceniza residual (Van Soest *et al.* 1991), la fibra ácido detergente (FAD) se determinó por análisis secuencial de la FND residual y también expresado en exclusiva de la ceniza residual (Van Soest *et al.* 1991), en la que la hemicelulosa se calculó como la diferencia entre la FND y la FAD. La celulosa y la lignina se determinaron según Van Soest *et al.* (1991), con la lignina que se oxida con permanganato.

Estimación de la digestibilidad in vitro y la energía: Los contenidos de almidón (A) y su digestibilidad *in vitro* se determinó en tres pasos simulando la digestión en la boca, el estómago y el intestino en un sistema cerrado, mediante la medición de la glucosa en diferentes tiempos de incubación (0, 0,5, 1,0, 2,0, 6,0 y 24 h) de acuerdo con los métodos enzimáticos sugeridos por Al-Rabadi *et al.* (2009). En breve: 0,5 g de muestra se colocaron en un Erlenmeyer (250 mL de capacidad) en la que 5 mL de tampón de carbonato (39.2 g de NaHCO₃ por litro de agua destilada, pH 7.0) que contiene 11.0 mg α-amilasa/mL (actividad enzimática de 25 unidades/mg) se añadieron y se mezcló bien con la muestra. Este paso fue seguido por la adición de 5 mL de solución de pepsina (25 mg de pepsina/mL de solución 0.02 M HCl). Por lo tanto, los Erlenmeyers se colocaron en una incubadora de agitación a 37 °C y 85 rpm durante 30 min. Después de este tiempo 25 mL de tampón de acetato de sodio que contiene 2 mg de azida de sodio por mL (pH 6.0), 5 mL de 0.02 M NaOH y 5 mL de pancreatina y la solución de amiloglucosidasa (2 mg de pancreatina y 0.9 mg de amiloglucosidasa por mL de tampón de acetato que contiene 2 mg de azida de sodio por mL) se añadieron

incubation was stopped at 0.5, 1.0, 2.0, 6.0 and 24 h placing the Erlenmeyer in ice for 5 min to stop enzymatic activity and taking 1.0 mL of supernatant to determine the glucose content by enzymatic method. The kinetic of St digestion was calculated using a non-linear regression model proposed by van Kempen *et al.* (2010).

In addition, the St was classified in three fractions according to their digestion rate (Muir and O'Dea 1993 and van Kempen *et al.* 2010): ≤ 120 min, St highly digestible (StHd); > 120 min ≤ 360 min, St slowly digestible (StSd) and > 360 min, St resistant to the digestion (StRd).

The *in vitro* OM digestibility (OMdv) was assessed according to Noblet and Jaguelin-Peyraud, (2007) and Al-Rabadi *et al.* (2009). Based on OMdv results the *in vivo* OM digestibility (OMd) and digestible energy (DE) were estimated (Noblet and Jaguelin-Peyraud 2007) using the equations presented in table 1.

a la mezcla y se colocaron en la incubadora de agitación a 37 ° C (cero horas) y 85 rpm durante 24 h, la incubación se detuvo en 0.5, 1.0, 2.0, 6.0 y 24 h colocando el Erlenmeyer en hielo durante 5 minutos para detener la actividad enzimática y tomando 1,0 mL de sobrenadante para determinar el contenido de glucosa por el método enzimático.

La cinética de la digestión del A se calculó utilizando un modelo de regresión no lineal propuesto por van Kempen *et al.* (2010).

Además, el A se clasificó en tres fracciones de acuerdo con su tasa de digestión (Muir y O'Dea 1993 y van Kempen *et al.* 2010): ≤ 120 minutos, A altamente digestible (AHd); > 120 minutos ≤ 360 minutos, A de digestión lenta (ASd) y > 360 minutos, A resistente a la digestión (ARd). La digestibilidad *in vitro* de la MO (dvMO) se evaluó según Noblet y Jaguelin-Peyraud, (2007) y Al-Rabadi *et al.* (2009). Sobre la base de los resultados dvOM la digestibilidad *in vivo* de la MO (dMO) y la energía digestible (ED) fueron estimados (Noblet y Jaguelin-Peyraud 2007) utilizando las ecuaciones que se presentan en la tabla 1.

Table 1. Equations to estimate *in vivo* organic matter digestibility (OMd; g/kg DM) and digestible energy contents (DE; MJ/kg DM) (Noblet and Jaguelin-Peyraud 2007).

Equations ^a	R ²
OMd = 0.409 + 0.608×MOdv - 0.00063×NDF - 0.00061×ash	0.90
DE = 6.05 + 0.0116×MOdv + 0.0166×EE - 0.0135×ADF	0.88

^aOMdv: *in vitro* organic matter digestibility, Chemical characteristics (g/kg DM); NDF: neutral detergent fiber, EE: ether extract, ADF: acid detergent fiber.

Statistical analysis: To assess the effect of cultivar, harvesting year, harvesting season and grain vegetative stage on the quality and nutritive value of grains and panicles from both sorghums cultivars the general linear model (GLM) analyses were performed with SPSS version 21 (SPSS 2012) following the model:

$$Y_{ijk} = \mu + SC_{i=1-2} + HY_{j=1-2} + GVS_{k=1-2} + HS_{l=1-2} + SC \times HY + SC \times GVS + SC \times HS + HY \times GVS + HY \times HS + GVS \times HS + SC \times HY \times GVS + SC \times HY \times HS + SC \times GVS \times HS + HY \times GVS \times HS + SC \times HY \times GVS \times HS + \varepsilon_{ijk}$$

with, $SC_{i=1-2}$, the sorghum cultivar (CIAP MC-04-12 vs. CIAP 2E-95); $HY_{j=1-2}$, harvesting year (2011 vs. 2012); $GVS_{k=1-2}$, the grain vegetative stage at the season time (soft dough vs. hard dough); $HS_{l=1-2}$, the harvesting season (rainy vs. dry); $SC \times HY$, $SC \times GVS$, $SC \times HS$, $HY \times GVS$, $HY \times HS$, $GVS \times HS$, $SC \times HY \times GVS$, $SC \times HY \times HS$, $SC \times GVS \times HS$, $HY \times GVS \times HS$, $SC \times HY \times GVS \times HS$, the interaction among different factors and ε_{ijk} , the experimental error.

A non-linear regression model (van Kempen *et al.* 2010) was used to assess the starch digestion kinetics as follow:

$$dSt = (A + B \times (1 - \exp(-k_{plateau}/plateau \times t))) \times \times (C_{plateau}/plateau + 1) \times 10,$$

with, dSt: starch hydrolysis (g/kg starch); A, digested

Análisis estadístico: Para evaluar el efecto del cultivar, año de cosecha, época de cosecha y el estado vegetativo del grano en la calidad y valor nutritivo de los granos y panículas de ambos cultivares de sorgo los análisis del modelo lineal general (MLG) se realizaron con SPSS versión 21 (SPSS 2012) siguiendo el modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + SC_{i=1-2} + HY_{j=1-2} + GVS_{k=1-2} + HS_{l=1-2} + SC \times HY + SC \times GVS + SC \times HS + HY \times GVS + HY \times HS + GVS \times HS + SC \times HY \times GVS + SC \times HY \times HS + SC \times GVS \times HS + HY \times GVS \times HS + SC \times HY \times GVS \times HS + \varepsilon_{ijk}$$

con, $SC_{i=1-2}$, el cultivar de sorgo (CIAP MC-04-12 vs. CIAP 2E-95); $HY_{j=1-2}$, año de cosecha (2011 vs. 2012); $GVS_{k=1-2}$, el estado vegetativo del grano en el tiempo de la temporada (masa suave vs. masa dura); $HS_{l=1-2}$, la época de cosecha (lluviosa vs. poco lluviosa); $SC \times HY$, $SC \times GVS$, $SC \times HS$, $HY \times GVS$, $HY \times HS$, $GVS \times HS$, $SC \times HY \times GVS$, $SC \times HY \times HS$, $SC \times GVS \times HS$, $HY \times GVS \times HS$, $SC \times HY \times GVS \times HS$, la interacción entre diferentes factores y ε_{ijk} , el error experimental.

Un modelo de regresión no lineal (Van Kempen *et al.* 2010) se utilizó para evaluar la cinética de la digestión del almidón como el siguiente:

$$dSt = (A + B \times (1 - \exp(-k_{plateau}/plateau \times t))) \times \times (C_{plateau}/plateau + 1) \times 10,$$

con, dA: la hidrólisis del almidón (g/kg almidón);

starch (glucose \times starch conversion factor (0.9)) expressed as g per g starch before enzymatic addition; B, starch (glucose \times 0.9) released by exhaustive digestion expressed as g per g starch; k_{plateau} , the digestion rate of starch (g/kg starch per hour); plateau, maximal starch (glucose \times 0.9) release (A+B) as g per 100 g of sample weight; C_{plateau} , sigmoidal/shape modifier corrected for plateau effects, and t is the incubation time; 10, conversion factor.

Results

Proximate chemical composition: The GVS (table 2) at harvesting time affected ($P < 0.001$) the concentration of all studied parameters (DM, OM, CP, EE, NDF, ADF, hemicellulose, cellulose, lignin, glucose and St) in grains from three sorghum cultivars, whereas for the hard dough grain stage showed the best ($P < 0.001$) concentrations of the referred parameters. The HS only affected ($P < 0.05$) DM, CP, NDF, hemicelluloses and St, although there was an interaction ($P < 0.001$) between the HS and the GVS for DM contents. In addition, the HY had influence ($P < 0.05$) on the DM, OM, cellulose, glucose and St of the grains from three sorghum cultivars. However the CIAP MC-04-12 sorghum cultivar show higher ($P < 0.001$) concentration of CP, EE, glucose and St as well as lower ($P < 0.001$) NDF, ADF, hemicellulose, cellulose and lignin than both commercial sorghum cultivars.

Regarding the panicles from three sorghum cultivars (table 3) the grain vegetative stage only had no effect ($P > 0.05$) on OM and lignin. In our study, the CP content

A, almidón digerido (glucosa \times factor de conversión del almidón(0.9)) expresada en g por g de almidón antes de la adición enzimática; B, almidón (glucosa \times 0.9) liberado por la digestión exhaustiva expresada en g por g de almidón; k_{plateau} , la velocidad de digestión del almidón (g/kg almidón por hora); plateau, almidón máxima (glucosa \times 0.9) liberado (A+B) como g por 100 g de peso de la muestra; C_{plateau} , sigmoidal/modificador de forma corregido por los efectos plateau, y t es el tiempo de incubación ; 10, factor de conversión.

Resultados

Composición química proximal: El EVG (tabla 2) en el momento de la cosecha afectó ($P < 0.001$), la concentración de todos los indicadores estudiados (MS, MO, PB, EE, FND, FAD, hemicelulosa, celulosa, lignina, glucosa y A) en granos de tres cultivares de sorgo, mientras que para la etapa del grano de masa dura mostró las mejores concentraciones ($P < 0.001$) de los indicadores mencionados. La EC sólo afectó ($P < 0.05$) la MS, PB, FND, la hemicelulosa y el A, aunque hubo una interacción ($P < 0.001$) entre la EC y el EVG por los contenidos de MS. Además, el AC tuvo influencia ($P < 0.05$) en la MS, MO, celulosa, glucosa y el A de los granos de tres cultivares de sorgo. Sin embargo, el cultivar de sorgo CIAP-MC 04-12 mostró una mayor concentración ($P < 0.001$) de PB, EE, glucosa y A así como una menor ($P < 0.001$) FND, FDA, hemicelulosa, celulosa y lignina que ambos cultivares de sorgo comerciales.

En cuanto a las panículas de tres cultivares de sorgo (tabla 3) el estado vegetativo del grano solamente no tuvo efecto ($P > 0.05$) en la MO y la lignina. En nuestro estudio,

Table 2. Effect of grain vegetative stage (GVS), harvesting season (HS) and harvesting year (HY) on chemical composition of grains from three sorghum cultivars (SC) harvested during two years

Treatments ^a		DM	OM	CP	EE	NDF	ADF	Cell	Lignin	Gluc	St
		g/kg		g/kg DM							
CIAP MC-04-12	SdR	611	960	123	40.3	177	76.9	41.5	13.1	1.83	609
	SdD	739	960	118	41.0	184	77.4	41.4	13.2	1.82	604
	HdR	897	984	130	43.7	119	72.5	42.3	11.0	1.20	677
	HdD	914	985	127	44.5	124	74.0	42.6	11.2	1.21	673
CIAP 2E-95	SdR	608	966	97.6	27.4	235	102	66.7	31.8	1.65	487
	SdD	736	967	94.5	27.8	244	102	66.2	31.9	1.70	475
	HdR	892	983	103	28.9	190	96.3	67.5	29.7	1.10	555
	HdD	909	984	100	29.8	196	98.8	67.7	30.0	1.09	548
CIAP 132R-05	SdR	605	964	96.9	27.3	242	112	66.9	41.7	1.76	551
	SdD	732	966	93.8	27.7	250	111	66.5	41.2	1.76	546
	HdR	897	982	103	28.8	196	106	67.7	39.2	1.15	620
	HdD	905	982	99.5	29.7	202	109	68.0	39.7	1.15	616
SEM	14.8	1.19	1.56	0.83	4.93	1.79	1.42	1.44	0.04	7.32	
P value ^b	SC	0.281	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	HS	<0.001	0.032	<0.001	0.223	<0.001	0.285	0.860	0.899	0.191	<0.001
	GVS	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	<0.001	0.018	<0.001	<0.001
	HY	0.011	0.023	0.237	0.312	0.052	0.350	0.003	0.709	0.041	0.005

^aSdR: soft dough at rainy season; SdD: soft dough at dry season; HdR: hard dough at rainy season; HdD: hard dough at dry season. ^bP value: show significance of main statistical effects (SC, HS, GVS and HY) according to general lineal model.

Table 3. Effect of grain vegetative stage (GVS), harvesting season (HS) and harvesting year (HY) on chemical composition of panicles from three sorghum cultivars (SC) harvesting during two years

Treatments ^a		DM	OM	CP	EE	NDF	ADF	Cell	Lignin	Gluc	St
		g/kg					g/kg DM				
CIAP	SdR	611	960	123	40.3	177	76.9	41.5	13.1	1.83	609
MC-04-12	SdD	739	960	118	41.0	184	77.4	41.4	13.2	1.82	604
	HdR	897	984	130	43.7	119	72.5	42.3	11.0	1.20	677
	HdD	914	985	127	44.5	124	74.0	42.6	11.2	1.21	673
	SEM	14.8	14.8	1.19	1.56	0.83	4.93	1.79	1.42	1.44	0.04
CIAP 2E-95	SdR	608	966	97.6	27.4	235	102	66.7	31.8	1.65	487
	SdD	736	967	94.5	27.8	244	102	66.2	31.9	1.70	475
	HdR	892	983	103	28.9	190	96.3	67.5	29.7	1.10	555
	HdD	909	984	100	29.8	196	98.8	67.7	30.0	1.09	548
CIAP 132R-05	SdR	605	964	96.9	27.3	242	112	66.9	41.7	1.76	551
	SdD	732	966	93.8	27.7	250	111	66.5	41.2	1.76	546
	HdR	897	982	103	28.8	196	106	67.7	39.2	1.15	620
	HdD	905	982	99.5	29.7	202	109	68.0	39.7	1.15	616
P value ^b	SC	0.281	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	HS	<0.001	0.032	<0.001	0.223	<0.001	0.285	0.860	0.899	0.191	<0.001
	GVS	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	<0.001	0.018	<0.001	<0.001
	HY	0.011	0.023	0.237	0.312	0.052	0.350	0.003	0.709	0.041	0.005

^a SdR: soft dough at rainy season; SdD: soft dough at dry season; HdR: hard dough at rainy season; HdD: hard dough at dry season. ^b P value: show significance of main statistical effects (SC, HS, GVS and HY) according to general lineal model.

of panicles from CIAP MC-04-12 sorghum cultivar showed acceptable values with the best CP content in the soft dough grain stage compared with panicles in the hard dough grain stage (table 3). Besides, the DM, CP, EE and cell wall contents of panicles from three sorghum cultivars were affected ($P < 0.01$) by harvesting season (table 3). Sorghum cultivar affected all parameters studied ($P < 0.001$) except ($P > 0.05$) to DM and OM; where panicles from CIAP MC-04-12 sorghum cultivar show higher ($P < 0.001$) contents of CP, NDF, ADF, hemicellulose, cellulose, glucose and St than panicles from both commercial sorghum cultivars.

Digestibility and energy. The *in vitro* digestibility and energy contents as well as their estimated values for the *in vivo* digestibility are presented, for both grains and panicles from three sorghum cultivars harvested at different GVS and HS in Table 4 and 5. The digestibility parameters for OM (OM_{dv} and OM_d) and St (St_{Hd}, St_{Sd}, St_{Rd} and kplateau), as well as DE of both grains and panicles from three sorghum cultivars were affected ($P < 0.01$) by SC and GVS at harvesting time (tables 4 and 5).

The OM of both grains and panicles was more digestible and showed a higher ($P < 0.05$) energy concentration when were harvested at the hard dough grain stage during the rainy season (Tables 4 and 5). It seems that those results are influenced by the higher grain quality under these crop conditions (e.g., higher content of CP, St and EE).

el contenido de PB de panículas del cultivar de sorgo CIAP MC-04-12 mostró valores aceptables con el mejor contenido de PB en la etapa del grano de masa suave en comparación con las panículas en la etapa del grano de masa dura (tabla 3). Además, la MS, PB, EE y contenidos de la pared celular de las panículas de tres cultivares de sorgo se vieron afectados ($P < 0.01$) por la época de cosecha (tabla 3). El cultivar de sorgo afectó todos los indicadores estudiados ($P < 0.001$), excepto ($P > 0.05$) para la MS y la MO; donde las panículas del cultivar del sorgo CIAP MC-04-12 muestran mayor ($P < 0.001$) contenido de PB, FND, FAD, hemicelulosa, celulosa, glucosa y A que las panículas de ambos cultivares de sorgo comerciales.

Digestibilidad y energía. La digestibilidad *in vitro* y el contenido de energía, así como sus valores estimados para la digestibilidad *in vivo* se presentan, tanto para los granos y panículas de tres cultivares de sorgo cosechados en diferentes EVG y EC en las Tablas 4 y 5. Los indicadores de digestibilidad para la MO (dvMO y dMO) y el A (AAD, ADL, ARD y el kplateau), así como el CED tanto de los granos y panículas de tres cultivares de sorgo se vieron afectados ($P < 0,01$) por CS y EVG en el momento de la cosecha (tablas 4 y 5).

La MO tanto de los granos como de las panículas fue más digerible y mostró una alta concentración de energía ($P < 0.05$) cuando se cosecharon en la etapa del grano de masa dura durante la temporada de lluvias (Tablas 4 y 5). Parece que estos resultados están influidos por la mayor calidad del grano en estas condiciones de cultivo (por ejemplo, un mayor contenido de PB, A y EE).

Table 4. Effect of grain vegetative stage (GVS), harvesting season (HS) and harvesting year (HY) on digestibility and energy content of grains from three sorghum cultivars (SC) harvesting during two years.

Treatments ^a		StHd	StSd	StRd	kplateau	OMdv	OMd	DE
		g/kg St			g/kg St/h	g/kg DM		MJ/kg DM
CIAP MC-04-12	SdR	309	689	4.43	224	724	846	14.2
	SdD	306	692	2.82	224	715	839	14.0
	HdR	286	709	6.37	252	787	884	14.9
	HdD	285	708	9.66	250	763	867	14.6
CIAP 2E-95	SdR	385	571	46.2	155	693	822	13.2
	SdD	387	572	42.5	152	678	815	13.0
	HdR	346	612	43.2	183	755	863	14.0
	HdD	347	608	46.3	179	730	845	13.7
CIAP 132R-05	SdR	344	637	21.1	192	715	835	13.3
	SdD	339	642	20.9	190	708	833	13.2
	HdR	313	666	22.4	219	782	879	14.0
	HdD	312	664	26.3	217	759	863	13.8
SEM	3.85	5.57	1.90	3.78	4.07	2.63	0.07	
P value ^b	SC	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	HS	0.020	0.795	0.009	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	GVS	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
	HY	0.471	0.013	0.936	0.014	0.029	0.002	0.048

^aSdR: soft dough at rainy season; SdD: soft dough at dry season; HdR: hard dough at rainy season; HdD: hard dough at dry season; StHd: starch highly digestible; StSd: starch slowly digestible; StRd: starch resistant to the digestion; kplateau, the digestion rate of starch; OMdv, *in vitro* organic matter digestibility; Omd, estimated *in vivo* organic matter digestibility; DE: digestible energy content St: starch. ^bP value: show significance of main statistical effects (SC, HS, GVS and HY) according to general lineal model.

Table 5. Effect of grain vegetative stage (GVS), harvesting season (HS) and harvesting year (HY) on digestibility and energy content of panicles from three sorghum cultivars (SC) harvesting during two years

Treatments ^a		StHd	StSd	StRd	kplateau	OMdv	OMd	DE
		g/kg St			g/kg St/h	g/kg DM		MJ/kg DM
CIAP MC-04-12	SdR	417	584	1.31	177	591	756	11.0
	SdD	411	589	2.42	178	589	754	10.7
	HdR	415	582	3.46	179	593	753	10.1
	HdD	415	584	2.37	180	574	738	9.52
CIAP 2E-95	SdR	560	380	61.4	97.6	567	743	10.9
	SdD	558	383	60.5	96.8	568	742	10.7
	HdR	547	392	61.9	102	562	736	9.95
	HdD	547	393	61.9	102	564	733	9.56
CIAP 132R-05	SdR	476	500	26.3	139	594	759	11.1
	SdD	470	504	27.8	139	598	760	10.9
	HdR	472	500	29.7	142	586	749	10.1
	HdD	472	502	27.8	142	583	744	9.64
SEM	3.85	6.77	9.66	2.87	3.83	1.71	1.31	0.07
P value ^b	SC	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.001
	HS	0.026	0.024	0.283	0.459	0.190	0.022	<0.001
	GVS	<0.001	0.080	<0.001	<0.001	0.001	<0.001	<0.001
	HY	0.621	0.032	0.876	0.023	0.063	0.008	0.017

^aSdR: soft dough at rainy season; SdD: soft dough at dry season; HdR: hard dough at rainy season; HdD: hard dough at dry season; StHd: starch highly digestible; StSd: starch slowly digestible; StRd: starch resistant to the digestion; kplateau, the digestion rate of starch; OMdv, *in vitro* organic matter digestibility; Omd, estimated *in vivo* organic matter digestibility; DE: digestible energy content St: starch. ^bP value: show significance of main statistical effects (SC, HS, GVS and HY) according to general lineal model.

Discussion

Discusión

Proximate chemical composition: Sorghum grain quality is affected by several factors, among them genotype, soil type, fertilization, vegetative stage at harvesting and climate, which affect both the chemical composition and the nutritive value (Jahadzed *et al.* 2013). In our experiment was fixed the same soil type and similar fertility to reduce those effects on the results and can to accurate better the effect of Sorghum cultivar, harvesting season and grain vegetative stage.

The chemical composition of grains from both Sorghum cultivars (table 2) was inside the range of other Sorghum, but those characteristics of the new sorghum cultivar (CIAP MC-04-12) are closer to the characteristics of grains from hybrid sorghum cultivars [e.g., 105-125 g CP/kg DM, 32.0-37.0 g EE/kg DM and 619-795 g St/kg DM, Liv *et al.* (2012) and Puga *et al.* (2013)].

The CP and St contents are strongly related to the sorghum genotype with a range of variation of 114-128 g CP/kg DM and 695-790 g St/kg DM in sorghum cultivars resistant to birds (Hibberd *et al.*, 1982) or 115-165 g CP/kg DM and 600-795 g St/kg DM in cultivars not resistant to birds (Hibberd *et al.* and 1982; Kriegshauser *et al.*, 2006). Moreover, the CP content of the CIAP MC-04-12 sorghum cultivar showed comparable values (table 2) with other cultivars (110-125 g CP/kg DM; e.g., Cauma 20-20, CG 34/4-3-2 and G 1636) from guinea race grown under the environmental conditions of Burkina Faso (Ouattara *et al.* 2001) and even higher than other grain sorghum cultivars (90-105 g CP/kg DM; e.g., UDG-110, CIAP 9E-95, CIAP 2E-95, CIAP 132R-05, CIAP 6E-95) harvested in Cuba (Pérez *et al.* 2010) or used in Venezuela (66-100 g CP/kg DM; e.g., Criollo, Chaguaramas, Himeca, Pioneer) as feedstuff for animals (Ojeda *et al.* 2010).

Regarding the panicles and according to Johnson *et al.* (1971) the panicles from bird resistant grain sorghum cultivars showed a higher DM content in the hard dough grain stage (754 g/kg panicle) than in the soft dough grain stage (611 g/kg panicle), but similar cellulose contents between both stages (88.0 and 87.0 g/kg DM, respectively), while the panicles in the soft dough grain stage showed higher CP contents than panicles in the hard dough grain stage (111 and 93.0 g/kg DM). The dry matter and cell wall contents of panicles in our study were affected ($P < 0.05$) by the harvesting season (table 3). In this respect, the drought stress could be responsible for increased contents of ADF and DM in grasses and Poaceae (Pérez *et al.* 2010 and Bean *et al.* 2013) grown and harvested under drought conditions. In our experiment, the panicles from the CIAP MC-04-12 sorghum cultivar harvested during the dry season (table 3) showed higher ($P < 0.001$) ADF contents than panicles harvested during

Composición química proximal. La calidad del grano de sorgo es afectada por varios factores, entre ellos genotipo, tipo de suelo, la fertilización, el estado vegetativo en la cosecha y el clima, los cuales afectan tanto a la composición química como al valor nutritivo (Jahadzed *et al.* 2013). En nuestro experimento se empleó el mismo tipo de suelo y la fertilidad similar para reducir los efectos en los resultados y se puede precisar mejor el efecto del cultivar de Sorghum, época de cosecha y estado vegetativo del grano.

La composición química de los granos de ambos cultivares (tabla 2) se encontraba dentro de la gama de otros, pero esas características de la nueva variedad de sorgo (CIAP MC-04-12) están más cerca de las características de los granos de cultivares híbridos de sorgo [por ejemplo. 105-125 g PB/kg MS, 32.0 - 37.0 g de EE/kg de MS y 619-795 g A/kg de MS; Liv *et al.* (2012) and Puga *et al.* (2013)].

Los contenidos de PB y A están fuertemente relacionados con el genotipo de sorgo, con un rango de variación de 114-128 g PB/ kg de MS y 695- 790 A/kg de MS en los cultivares de sorgo resistentes a las aves (Hibberd *et al.*, 1982) o 115-165 g PB/kg de MS y de 600 -795 g A/kg de MS en los cultivares no resistentes a las aves (Hibbard *et al.* 1982 y Kriegshauser *et al.* 2006). Por otra parte, el contenido de PB del cultivar de sorgo CIAP MC-04-12 mostró valores comparables (tabla 2) con otros cultivares (110-125 g PB/kg de MS; por ejemplo, Cauma 20-20, CG 34/4-3-2 y G 1636) de la raza guinea cultivada en las condiciones ambientales de Burkina Faso (Ouattara *et al.* 2001) e incluso superior a otros cultivares de sorgo de grano (90-105 g PB/kg MS, por ejemplo, la UDG-110, CIAP 9E-95, CIAP 2E-95, CIAP 132R-05, CIAP 6E-95) cosechado en Cuba (Pérez *et al.* 2010) o utilizado en Venezuela (66-100 g PB/kg MS,., por ejemplo, Criollo, Chaguaramas, Hameca, Pioneer) como alimento para los animales (Ojeda *et al.* 2010).

En cuanto a las panículas y de acuerdo a Johnson *et al.* (1971) las panículas de cultivares de sorgo de grano resistente a las aves mostraron un mayor contenido de MS en la etapa del grano de masa dura (754 g/kg panículas) que en la etapa del grano de masa suave (611 g/kg panícula), pero de contenido de celulosa similares entre ambas etapas (88,0 y 87,0 g/kg MS, respectivamente), mientras que las panículas en la etapa del grano de masa suave mostraron contenidos de PB más altos que las panículas en la etapa del grano de masa dura (111 y 93.0 g / kg MS). Los contenidos de materia seca y la pared celular de las panículas en nuestro estudio fueron afectados ($P < 0.05$) por la época de cosecha (tabla 3). En este sentido, el estrés por sequía podría ser responsable de un aumento de contenido de FAD y MS en pastos Poaceae (Pérez *et al.* 2010 Bean *et al.* 2013) cultivados y cosechados en condiciones de sequía. En nuestro experimento, las panículas del cultivar de sorgo CIAP-MC 04-12 cosechado durante la estación poco lluviosa (tabla

the rainy season.

Digestibility and energy: The St of the CIAP MC-04-12 sorghum cultivar was classified as a St of slow digestion according to the method proposed by Muir and O'Dea (1993) and van Kempen *et al.* (2010) and showed lower amount of St highly digested than the commercial sorghum cultivars (CIAP 2E-95 or CIAP 132R-05). The St type of CIAP MC-04-12 sorghum cultivar let a slow but constant release of glucose from the intestine toward the animal blood (Al-Rabadi *et al.* 2009 and van Kempen *et al.* 2010). The highest St digestion in both grains and panicles occurred between 120 and 360 minutes post digestion. The St content resistant to the digestion under our experimental conditions was low compared to studies for other sorghum cultivars (Singh *et al.* 2010), with an acceptable degradation rate ($k_{\text{plateau}} > 200$ g/kg St per h (van Kempen *et al.* 2010), tables 4 and 5) for grains at hard dough stage from CIAP MC-04-12 and CIAP 132R-05. The high proportion of St slowly degraded could be related with the difficulty of the enzymatic diffusion into the St granule (Al-Rabadi *et al.* 2009), due to the St that is enclosed within plant cells and protein matrices (Al-Rabadi *et al.* 2009, Wong *et al.* 2009 and Singh *et al.* 2010) or because of the crystalline structure of St (Singh *et al.* 2010).

The results obtained on estimated OM digestibility and DE content are comparable with other values reported in experiments with pigs (*in vivo* methods), in which pigs fed with sorghum or corn diets showed an apparent total tract digestibility of more than 850 g DM/kg DM or 870 g DM/kg DM to sorghum or corn, respectively (Nyannor *et al.* 2007). In our study, the grains from the new sorghum cultivar (CIAP MC-04-12) showed a total digestibility between 805 and 870 g DM/kg DM which are comparable with the values (790 and 850 g DM/kg DM) of commercial sorghum cultivar. In addition, as compared with soft dough stage, the grains in hard dough stage showed the highest ($P < 0.05$) OM digestibility in both HS independently of SC. The DE content of the grains (table 4) suggests that it could be a valuable energy source for growing or fattening pigs. The estimated energy contents showed by CIAP MC-04-12 sorghum cultivar is comparable with other results obtained previously by *in vivo* trials (14.2-16.0 MJ of DE/kg DM) with other sorghum cultivars (Nyannor *et al.* 2007) or corn distillers supplemented with oil (Ren *et al.* 2011). Although the panicles from three sorghum cultivars showed a lower DE content than other grain sources and despite its fibrous characteristics, it could be an adequate energy source (Yde *et al.* 2011 and Shewayrga *et al.* 2012) to finishing fattening pigs, particularly to regions with a low input of resources and furthermore it could be a valuable energy source to ruminants.

As compared with commercial sorghum cultivars the grains from the CIAP MC-04-12 sorghum cultivar

3) mostraron mayores contenidos de FAD ($P < 0.001$) que las panículas cosechadas durante la estación lluviosa.

Digestibilidad y energía. El almidón del cultivar de sorgo CIAP MC-04-12 fue clasificado como de digestión lenta de acuerdo con el método propuesto por Muir y O'Dea (1993) y van Kempen *et al.* (2010) y mostró menor cantidad de almidón altamente digerido que los cultivares de sorgo comerciales (CIAP 2E-95 o CIAP 132R-05). El tipo de almidón del cultivar de sorgo CIAP MC-04-12 dejó una liberación lenta pero constante de glucosa desde el intestino hacia la sangre animal (Al-Rabadi *et al.* 2009 y van Kempen *et al.* 2010). El almidón altamente digerido en ambos granos y panículas se produjo entre 120 y 360 minutos después de la digestión. El contenido de almidón resistente a la digestión en nuestras condiciones experimentales fue bajo en comparación con los estudios para otros cultivares de sorgo (Singh *et al.* 2010), con una tasa de degradación aceptable ($k_{\text{plateau}} > 200$ g/kg almidón por h (van Kempen *et al.* 2010), Tablas 4 y 5) para los granos en la etapa de masa dura de CIAP-MC 04-12 y CIAP 132R-05. La alta proporción de A degradado lentamente podría estar relacionado con la dificultad de la difusión enzimática en el gránulo del almidón (Al-Rabadi *et al.* 2009), debido al almidón que está encerrado dentro de las células de plantas y matrices de proteínas (Al-Rabadi *et al.* 2009; Wong *et al.* 2009 y Singh *et al.* 2010) o debido a la estructura cristalina del almidón (Singh *et al.* 2010).

Los resultados obtenidos en la digestibilidad estimada de la MS y el contenido de ED son comparables con otros valores reportados en experimentos con cerdos (en métodos *in vivo*), en los cuales los cerdos alimentados con sorgo o dietas de maíz mostraron una aparente digestibilidad total del tracto de más de 850 g MS / kg de materia seca o 870 g MS/kg de MS para el sorgo o maíz, respectivamente (Nyannor *et al.* 2007). En nuestro estudio, los granos de la nueva variedad de sorgo (CIAP MC-04-12) mostraron una digestibilidad total entre 805 y 870 g MS/kg de MS los que son comparables con los valores (790 y 850 g MS/kg MS) del cultivar de sorgo comercial. Además, en comparación con la etapa de masa suave, los granos en la etapa de masa dura mostraron el mayor ($P < 0.05$) valor de la digestibilidad de MO en ambas épocas de cosecha independiente de los cultivares de Sorghum. El contenido de ED de los granos (tabla 4) sugiere que podría ser una valiosa fuente de energía para el crecimiento o engorde de cerdos. El contenido de energía estimado mostrado por el cultivar de sorgo CIAP MC-04-12 es comparable con otros resultados obtenidos previamente por ensayos *in vivo* (14.2 - 16,0 MJ de ED/kg MS) con otros cultivares de sorgo (Nyannor *et al.* 2007) o de destilería de maíz suplementada con aceite (Ren *et al.* 2011). Aunque las panículas de los tres cultivares de sorgo mostraron menor contenido de ED que otras fuentes de granos y a pesar de sus características fibrosas, podría ser una fuente de energía adecuada (Y de *et al.* 2011 y Shewayrga *et al.* 2012) para terminar el engorde de cerdos, sobre todo en las regiones con una entrada baja de recursos y además podría ser una valiosa fuente de energía para los rumiantes.

at hard dough grain stage in both HS (rainy and dry) showed a good nutritive value for growing/fattening pigs. This study provide a basis for further studies as an interesting animal feed alternative, especially for pig feeding systems in areas of low grain yields of conventional cereals (e.g., corn, wheat or barley). The panicles compared with grain cereals had a limited nutritive value, especially the energy value, but could be an alternative to fattening pigs in areas with a low input of resources or to feeding ruminants. The starch of CIAP MC-04-12 sorghum cultivar was classified as starch of a slow digestibility.

Acknowledgements

This research was supported by Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas (UCLV). Special acknowledgements to the staff from the Experimental Stations in CIAP of the UCLV for the technical assistance during this research.

En comparación con los cultivares de sorgo comerciales los granos de la variedad de sorgo CIAP-MC 04-12 en la etapa del grano de masa dura en ambas épocas de cosecha (lluviosa y poco lluviosa) mostraron un buen valor nutritivo para cerdos en crecimiento/engorde. Este estudio proporciona una base para estudios posteriores como una alternativa de alimentación animal interesante, especialmente para sistemas de alimentación de cerdos en zonas de bajos rendimientos del grano de cereales convencionales (por ejemplo, maíz, trigo o cebada). Las panículas en comparación con los cereales de grano, tienen un valor nutritivo limitado, especialmente el valor de la energía, pero podría ser una alternativa para los cerdos de engorde en las zonas con una baja entrada de recursos o para la alimentación de los rumiantes. El almidón del cultivar de sorgo CIAP-MC 04-12 se clasificó como el almidón de una digestibilidad lenta.

Agradecimientos

Esta investigación fue apoyada por la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas (UCLV). Especial agradecimiento al personal de la Estación Experimental en CIAP de la UCLV por la asistencia técnica durante esta investigación.

References

- Al-Rabadi, G. J. S., Gilbert, R. G. & Gidley, M. J. 2009. “Effect of particle size on kinetics of starch digestion in milled barley and sorghum grains by porcine alpha-amylase”. *Journal of Cereal Science*, 50 (2): 198–204, ISSN: 0733-5210, DOI: 10.1016/j.jcs.2009.05.001.
- Bean, B. W., Baumhardt, R. L., McCollum III, F. T. & McCuiston, K. C. 2013. “Comparison of sorghum classes for grain and forage yield and forage nutritive value”. *Field Crops Research*, 142: 20–26, ISSN: 0378-4290, DOI: 10.1016/j.fcr.2012.11.014.
- EC 2009. Determination of crude ash. Commission Regulation, no. L152/2009, Offic. J. Eur. Com. L54, p. 50.
- Gil, D. V. D., Quintero, F. E. & Artilles, G. Y. 2008. Generalidades de cultivo. Millo-Cebada. Informe final de proyecto de investigación, Santa Clara, Cuba: Centro de Investigaciones Agropecuarias, Universidad Central ‘Marta Abreu’ de Las Villas.
- Hibberd, C. A., Wagner, D. G., Schemm, R. L., Mitchell, E. D., Hintz, R. L. & Weibel, D. E. 1982. “Nutritive Characteristics of Different Varieties of Sorghum and Corn Grains”. *Journal of Animal Science*, 55 (3): 665–672, ISSN: 0021-8812, DOI: 10.2134/jas1982.553665x.
- IBM Corporation 2012. IBM SPSS Statistics. version 21, [Windows], Multiplataforma, U.S: IBM Corporation, Available: <<http://www.ibm.com>>.
- ICRISAT. 2003. Lax panicles, gaping glumes. SATrends, Available: <<http://www.icrisat.org/what-we-do/satrends/may2003.htm>>, [Consulted: January 28, 2015].
- Jahanzad, E., Jorat, M., Moghadam, H., Sadeghpour, A., Chaichi, M.-R. & Dashtaki, M. 2013. “Response of a new and a commonly grown forage sorghum cultivar to limited irrigation and planting density”. *Agricultural Water Management*, 117: 62–69, ISSN: 0378-3774, DOI: 10.1016/j.agwat.2012.11.001.
- Johnson, R. R., de Faria, V. P. & McClure, K. E. 1971. “Effects of Maturity on Chemical Composition and Digestibility of Bird Resistant Sorghum Plants When Fed to Sheep as Silages”. *Journal of Animal Science*, 33 (5): 1102–1109, ISSN: 0021-8812, DOI: 10.2134/jas1971.3351102x.
- Kriegshauser, T. D., Tuinstra, M. R. & Hancock, J. D. 2006. “Variation in Nutritional Value of Sorghum Hybrids with Contrasting Seed Weight Characteristics and Comparisons with Maize in Broiler Chicks”. *Crop Science*, 46 (2): 695, ISSN: 1435-0653, DOI: 10.2135/cropsci2005.07.0225.
- Latimer, G. W. 2012. Official Methods of Analysis of AOAC International. 19th ed., Gaithersburg, Md.: AOAC International, ISBN: 978-0-935584-83-7, Available: <http://www.amazon.com/Official-Methods-Analysis-OFFICIAL-ANALYSIS/dp/0935584838/ref=pd_sim_sbs_14_1?ie=UTF8&dpID=31iikC-xl2L&dpSrc=sims&preST=_AC_UL160_SR160%2C160_&refRID=101AB94246X0EM9N7XMXW>, [Consulted: April 1, 2016].
- Lima, O. R., Castro, A. A. & Fievez, V. 2013. “Ensiled sorghum and soybean as ruminant feed in the tropics, with emphasis on Cuba”. *Grass and Forage Science*, 68 (1): 20–32, ISSN: 1365-2494, DOI: 10.1111/j.1365-2494.2012.00890.x.
- Liu, L., Herald, T. J., Wang, D., Wilson, J. D., Bean, S. R. & Aramouni, F. M. 2012. “Characterization of sorghum grain and evaluation of sorghum flour in a Chinese egg noodle system”. *Journal of Cereal Science*, 55 (1): 31–36, ISSN: 0733-5210,

- DOI: 10.1016/j.jcs.2011.09.007.
- McCune, N. M., González, Y. R., Alcántara, E. A., Martínez, O. F., Fundora, C. O., Arzola, N. C., Cairo, P. C., D'Haese, M., DeNeve, S. & Hernández, F. G. 2011. "Global Questions, Local Answers: Soil Management and Sustainable Intensification in Diverse Socioeconomic Contexts of Cuba". *Journal of Sustainable Agriculture*, 35 (6): 650–670, ISSN: 1044-0046, DOI: 10.1080/10440046.2011.586595.
- Muir, J. G. & O'Dea, K. 1993. "Validation of an in vitro assay for predicting the amount of starch that escapes digestion in the small intestine of humans." *The American Journal of Clinical Nutrition*, 57 (4): 540–546, ISSN: 0002-9165, 1938-3207.
- Noblet, J. & Jaguelin, P. Y. 2007. "Prediction of digestibility of organic matter and energy in the growing pig from an in vitro method". *Animal Feed Science and Technology*, 134 (3–4): 211–222, ISSN: 0377-8401, DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2006.07.008.
- Nyannor, E. K. D., Adedokun, S. A., Hamaker, B. R., Ejeta, G. & Adeola, O. 2007. "Nutritional evaluation of high-digestible sorghum for pigs and broiler chicks". *Journal of Animal Science*, 85 (1): 196–203, ISSN: 0021-8812, 1525-3163, DOI: 10.2527/jas.2006-116.
- Ojeda, A., Frías, A., González, R., Linares, Z. & Pizzani, P. 2010. "Contenido de taninos, fósforo fitico y actividad de fitasas en el grano de 12 híbridos de sorgo granífero (*Sorghum bicolor* (L) Moench)". *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 60 (1): 93, ISSN: 0004-0622.
- Ouattara, L., Trouche, G., Fliedel, G. & Diawara, B. 2001. "Potentialités d'utilisations des sorghos guinea tan au Burkina Faso". In: Akintayo I. & Sedgo J. (eds.), *Towards sustainable sorghum production, utilization, and commercialization in West and Central Africa: Proceedings of a technical workshop of the West and Central Africa sorghum research network*, Patancheru: ICRISAT, pp. 24–41, Available: <<http://catalogue-bibliotheques.cirad.fr/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=7151>>, [Consulted: April 4, 2016].
- Pérez, A., Saucedo, O., Iglesias, J., Wencomo, H. B., Reyes, F., Oquendo, G. & Milián, I. 2010. "Caracterización y potencialidades del grano de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench)". *Pastos y Forrajes*, 33 (1): 1–1, ISSN: 0864-0394.
- Puga, A. P., de Mello Prado, R., Mattiuz, B.-H., do Vale, D. W. & Fonseca, I. M. 2013. "Chemical composition of corn and sorghum grains cultivated in Oxisol with different application methods and doses of zinc". *Ciencia e Investigación Agraria*, 40 (1): 97–108, ISSN: 0718-1620, DOI: 10.4067/S0718-16202013000100008.
- Ren, P., Zhu, Z., Dong, B., Zang, J. & Gong, L. 2011. "Determination of energy and amino acid digestibility in growing pigs fed corn distillers' dried grains with solubles containing different lipid levels". *Archives of Animal Nutrition*, 65 (4): 303–319, ISSN: 1745-039X.
- Ruiz, Q. D., Victor, D. & Lima, O. R. 2013. *El Millo Cebada En Villa Clara, Cuba*. Saarbrücken: Academia Española, 80 p., ISBN: 978-3-8465-6928-3.
- Shawrang, P., Sadeghi, A. A., Behgar, M., Zareshahi, H. & Shahhoseini, G. 2011. "Study of chemical compositions, anti-nutritional contents and digestibility of electron beam irradiated sorghum grains". *Food Chemistry*, 125 (2): 376–379, ISSN: 0308-8146, DOI: 10.1016/j.foodchem.2010.09.010.
- Shewayrga, H., Sopade, P. A., Jordan, D. R. & Godwin, I. D. 2012. "Characterisation of grain quality in diverse sorghum germplasm using a Rapid Visco-Analyzer and near infrared reflectance spectroscopy". *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92 (7): 1402–1410, ISSN: 1097-0010, DOI: 10.1002/jsfa.4714.
- Singh, J., Dartois, A. & Kaur, L. 2010. "Starch digestibility in food matrix: a review". *Trends in Food Science & Technology*, 21 (4): 168–180, ISSN: 0924-2244, DOI: 10.1016/j.tifs.2009.12.001.
- Tolk, J. A., Howell, T. A. & Miller, F. R. 2013. "Yield component analysis of grain sorghum grown under water stress". *Field Crops Research*, 145: 44–51, ISSN: 0378-4290, DOI: 10.1016/j.fcr.2013.02.006.
- van Kempen, T. A. T. G., Regmi, P. R., Matte, J. J. & Zijlstra, R. T. 2010. "In Vitro Starch Digestion Kinetics, Corrected for Estimated Gastric Emptying, Predict Portal Glucose Appearance in Pigs". *The Journal of Nutrition*, 140 (7): 1227–1233, ISSN: 0022-3166, 1541-6100, DOI: 10.3945/jn.109.120584.
- van Soest, P. J., Robertson, J. B. & Lewis, B. A. 1991. "Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nonstarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition". *Journal of Dairy Science*, 74 (10): 3583–3597, ISSN: 0022-0302, DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2.
- Wong, J. H., Lau, T., Cai, N., Singh, J., Pedersen, J. F., Vensel, W. H., Hurkman, W. J., Wilson, J. D., Lemaux, P. G. & Buchanan, B. B. 2009. "Digestibility of protein and starch from sorghum (*Sorghum bicolor*) is linked to biochemical and structural features of grain endosperm". *Journal of Cereal Science*, 49 (1): 73–82, ISSN: 0733-5210, DOI: 10.1016/j.jcs.2008.07.013.
- Yde, C. C., Bertram, H. C., Theil, P. K. & Knudsen, K. E. B. 2011. "Effects of high dietary fibre diets formulated from by-products from vegetable and agricultural industries on plasma metabolites in gestating sows". *Archives of Animal Nutrition*, 65 (6): 460–476, ISSN: 1745-039X, DOI: 10.1080/1745039X.2011.621284.