

Evaluation of the productive response of male cattle to the substitution of corn grain by different levels of fresh sweet potato tuber (*Ipomoea batatas* L.) in a fattening diet

Evaluación de la respuesta productiva de bovinos machos a la sustitución del grano de maíz por diferentes niveles de tubérculo fresco de camote (*Ipomoea batatas* L.) en dieta de engorde

M.H. Ruiloba¹, J. Maure² and C. Solís³

¹Grupo de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (GRUCITED), República de Panamá

²Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), República de Panamá

³Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, República de Panamá

Email: mruiloba15@hotmail.com

M. H. Ruiloba: <https://orcid.org/0000-0001-5195-4566>

J. Maure: <https://orcid.org/0000-0003-0118-6743>

C. Solís: <https://orcid.org/0000-0003-2472-556X>

The productive response to the substitution of milled corn grain by fresh sweet potato tuber (*I. batatas*) in a ration destined to fattening steers was evaluated. A completely random design with a 3 x 2 factorial arrangement was used. The study lasted 78 days and three substitution levels were evaluated on a dry basis: 0, 50 and 100 % (TL₀, TL₅₀ and TL₁₀₀, respectively), and two evaluation periods. The diets were isoenergetic and isoprotein. A total of four crossbreed males, with an average initial weight of 358 + 23 kg were used per treatment. The live weight gain was 1.620, 1.670 and 1.756 kg animal day⁻¹ for TL₀, TL₅₀ and TL₁₀₀. The intake of dry matter, fresh tuber and crude protein was 2.66, 2.67 and 2.76 kg; 0.00, 0.76 and 1.56 kg DM; 0.303, 0.296 and 0.305 kg; while the metabolizable energy intake resulted 29.50, 29.16 and 29.00 MJ 100 kg of live weight day⁻¹ and the food conversion, 6.88, 6.68 and 6.62 kg of dry matter intake per kg of live weight gain⁻¹ for TL₀, TL₅₀ and TL₁₀₀. The cost of the fresh sweet potato tuber and the substitution of the milled corn grain was \$ 0.18 and 0.40 kg dry⁻¹ (US dollars). With respect to TL₀, the feeding cost was reduced by 18.0 and 28.3 % with TL₅₀ and TL₁₀₀. It is concluded that the fresh sweet potato tuber proved to be a competitive and economically viable nutritional alternative, as an energy source for the replacement of 100 % of the corn grain in diets for fattening male cattle.

Key words: *Tainung 66*, sweet potato tuber, weight gain, intake, food conversion, feeding cost

Sweet potato (*I. batatas* L.) is a crop with agronomic, productive and nutritional characteristics of interest for animal feeding, due to its high biomass production in tubers (roots) and foliage (stems and leaves) (Solís 2011). The sweet potato tuber contains high levels of sugars (8.3 to 31.6 %) (Aliaga and Nieto 2009), mainly sucrose (Grüneberg *et al.* 2015) and starches (55.0 to 71.5 %) (Grüneberg *et al.* 2015, DeBlas *et al.* 2019 and Solís 2020). In contrast, its crude protein (CP) content is low (3.0 to 7.1 %) on dry basis (Almeydas 2016 and DeBlas *et al.* 2019). The constitution of starch is 75.0 to 83.0 % amylopectin and 17.0 to 25.0 % amylose (Agama *et al.* 2013 and Jiménez *et al.* 2019).

Few studies are reported in the literature on the use

Se evaluó la respuesta productiva a la sustitución del grano de maíz molido por tubérculo fresco de camote (*I. batatas*) en una ración destinada al engorde de novillos. Se utilizó un diseño completamente al azar, con arreglo factorial 3 x 2. El estudio tuvo una duración de 78 días y se evaluaron tres niveles de sustitución en base seca: 0, 50 y 100 % (NT₀, NT₅₀ y NT₁₀₀, respectivamente), y dos períodos de evaluación. Las dietas fueron isoenergéticas e isoproteicas. Se utilizaron cuatro machos cruzados por tratamiento, con peso inicial promedio de 358 + 23 kg. La ganancia de peso vivo fue de 1.620, 1.670 y 1.756 kg animal día⁻¹ para NT₀, NT₅₀ y NT₁₀₀. El consumo de materia seca, tubérculo fresco y proteína bruta fue de 2.66, 2.67 y 2.76 kg; 0.00, 0.76 y 1.56 kg MS; 0.303, 0.296 y 0.305 kg; mientras que el consumo de energía metabolizable resultó en 29.50, 29.16 y 29.00 MJ 100 kg de peso vivo día⁻¹ y la conversión del alimento, 6.88, 6.68 y 6.62 kg de materia seca consumida por kg de aumento de peso vivo⁻¹ para NT₀, NT₅₀ y NT₁₀₀. El costo del tubérculo fresco de camote y la sustitución del grano de maíz molido fue de \$0.18 y 0.40 kg seco⁻¹ (dólar americano). Con respecto a NT₀, el costo de alimentación se redujo en 18.0 y 28.3 % con NT₅₀ y NT₁₀₀. Se concluye que el tubérculo fresco de camote demostró ser una alternativa nutricional competitiva y económicamente viable, como fuente energética para la sustitución de 100 % del grano de maíz en dietas para bovinos machos en engorde.

Palabras clave: *Tainung 66*, tubérculo de camote, ganancia de peso, consumo, conversión alimentaria, costo de alimentación

El camote (*I. batatas* L.) es un cultivo con características agronómicas, productivas y nutricionales de interés para la alimentación animal, debido a su alta producción de biomasa en forma de tubérculos (raíces) y follaje (tallos y hojas) (Solís 2011). El tubérculo de camote contiene altos niveles de azúcares (8.3 a 31.6 %) (Aliaga y Nieto 2009), principalmente sacarosa (Grüneberg *et al.* 2015) y almidones (55.0 a 71.5 %) (Grüneberg *et al.* 2015, DeBlas *et al.* 2019 y Solís 2020). En cambio, su contenido de proteína bruta (PB) es bajo (3.0 a 7.1%) en base seca (Almeydas 2016 y DeBlas *et al.* 2019). La constitución del almidón es de 75.0 a 83.0 % de amilopectina y de 17.0 a 25.0 % de amilosa (Agama *et al.* 2013 y Jiménez *et al.* 2019).

En la literatura se informan pocos trabajos acerca de

of fresh sweet potato tuber (FSPT) in ruminants feeding. Goyzueta (1963) substituted 59 % of the corn bran for FSPT in a diet for cattle, and achieved better live weight gain (LWG), food conversion and lower feeding cost. Ruggia *et al.* (2010) also obtained higher LWG, when supplementing grazing steers with FSPT. Its energy composition and high in vitro digestibility, fresh and ensiled, (Backer 1976 and Alvarado 2015) foresees good nutritional responses in terms of milk and meat production.

Based on the above, the objective of this study was to evaluate the productive response of male cattle, by substituting the corn grain by different levels of fresh sweet potato tuber in a fattening diet.

Materials and Methods

The study was carried out at the El Ejido Experimental Center, from the Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), at 25 m o. s. l, temperature of 27.4 °C, rainfall of 1203 mm, relative humidity of 75 %, wind speed of 1.1 m/s and annual average solar radiation of 1188.5 watts/m², with geographic location 7.9116-80.3686.

The sweet potato variety Tainung 66 was used, with a high tuber yield (45.4 t ha⁻¹) (Ruíz *et al.* 2009). Harvesting began at 125 d after sowing, for which mechanical extraction and storage under natural shade were used. Initially, the harvesting process was carried out every 12 d, but it was reduced to 8 d, due to the physical deterioration of the tuber. Before harvesting, random samplings were carried out to determine the dry matter (DM) content and biomass yield of the tuber.

A completely random design was applied, in a 3 x 2 factorial arrangement, where three levels of FSPT were evaluated in a control diet based on milled corn grain (MCG) and two evaluation periods (EP: 1 and 2). The FSPT levels were 0.0, 28.0 and 56.0 % on a dry basis (TL: TL₀, TL₂₈ and TL₅₆), which corresponded to reductions in the MCG level of 0.0, 50.0 and 100.0 %, respectively.

The diets were isoenergetic and isoprotein, made with swazi hay (*Digitaria swazilandensis*), MCG (*Zea mayz*, average particle 2 to 3 mm), soybean cake (*Glicine max*), nut cake (*Elaeis guineensis*), FSPT, urea and mineral salt (table 1), according to the recommendations of the NRC (1996). To estimate the metabolizable energy (ME, MJ kg⁻¹ DM), values of 7.53, 12.53 and 11.72 were used for hay, MCG and soybean cake (NRC 1996), 2.90 for nut cake (Vargas and Zumbado 2003) and 11.13 for the FSPT (DeBlas *et al.* 2010, 2019).

The complete ration was offered at a rate of 2.65 kg DM 100 kg of LW d⁻¹, which corresponded to 3.0, 4.6 and 6.2 kg fresh 100 kg of LW d⁻¹ for TL₀, TL₅₀ and TL₁₀₀, respectively, in equal parts, twice a day (8:00 a.m. and 2:00 p.m.). Fresh water was also supplied *ad libitum*. The tuber was daily processed in an electric mincer, at

la utilización del tubérculo de camote fresco (TCF) en alimentación de rumiantes. Goyzueta (1963) sustituyó 59 % del afrecho de maíz por TCF en una dieta para bovinos, y logró mejor ganancia de peso vivo (GPV), conversión alimentaria y menor costo de alimentación. Ruggia *et al.* (2010) también obtuvieron mayor GPV, al suplementar novillos en pastoreo con TCF. Su composición energética y alta digestibilidad in vitro, en forma fresca y ensilada, (Backer 1976 y Alvarado 2015) prevé buenas respuestas nutricionales en cuanto a producción de leche y carne.

A partir de lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar la respuesta productiva de bovinos machos, al sustituir el grano de maíz por diferentes niveles de tubérculo fresco de camote en una dieta para el engorde.

Materiales y Métodos

El trabajo se realizó en el Centro Experimental El Ejido, del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), a 25 m s.n.m., temperatura de 27.4 °C, precipitación pluvial de 1203 mm, humedad relativa de 75 %, velocidad del viento de 1.1 m/s y radiación solar promedio anual de 1188.5 vatios/m², con localización geográfica 7.9116-80.3686.

Se utilizó la variedad de camote Tainung 66, de alto rendimiento de tubérculo (45.4 t ha⁻¹) (Ruíz *et al.* 2009). Se empezó a cosechar a los 125 d después de la siembra, para lo que se utilizó la extracción mecánica y el almacenamiento bajo sombra natural. Inicialmente, el proceso de cosecha se realizó cada 12 d, pero se redujo a 8 d, debido al deterioro físico del tubérculo. Antes de la cosecha, se realizaron muestreos al azar para determinar el contenido de materia seca (MS) y rendimiento de biomasa del tubérculo.

Se aplicó un diseño completamente al azar, en arreglo factorial 3 x 2, donde se evaluaron tres niveles de TCF en una dieta control basada en grano de maíz molido (GMM) y dos períodos de evaluación (PE:1 y 2). Los niveles de TCF fueron de 0.0, 28.0 y 56.0 % en base seca (NT: NT₀, NT₂₈ y NT₅₆), lo que correspondió a reducciones del nivel de GMM de 0.0, 50.0 y 100.0 %, respectivamente.

Las dietas fueron isoenergéticas e isoproteicas, elaboradas con heno de swazi (*Digitaria swazilandensis*), GMM (*Zea mayz*, partícula promedio 2 a 3 mm), torta de soya (*Glicine max*), torta de coquito (*Elaeis guineensis*), TCF, urea y sal mineral (tabla 1), de acuerdo con las recomendaciones de la NRC (1996). Para estimar la energía metabolizable (EM, MJ kg⁻¹ MS) se utilizaron valores de 7.53, 12.97 y 11.72 para el heno, GMM y torta de soya (NRC 1996), 2.90 para la torta de coquito (Vargas y Zumbado 2003) y 11.13 para el TCF (DeBlas *et al.* 2010, 2019).

La ración completa se ofreció a razón de 2.65 kg MS 100 kg de PV d⁻¹, lo que correspondió a 3.0, 4.6 y 6.2 kg fresco 100 kg de PV d⁻¹ para NT₀, NT₅₀ y NT₁₀₀, respectivamente, en partes iguales, dos veces al día (8:00 y 14:00 h). Se suministró además, agua fresca a voluntad. El tubérculo se procesó diariamente en una

Table 1. Composition and content of crude protein, metabolizable energy and neutral detergent fiber of the experimental diets, on a dry basis, %.

| Ingredients | Diet composition | | |
|------------------------------|------------------|-------|-------|
| | TL0 | TL28 | TL56 |
| Swazi hay | 28.7 | 23.0 | 17.3 |
| Corn grain | 55.3 | 28.0 | 0.0 |
| Soybean cake | 10.0 | 10.0 | 10.0 |
| Nut cake | 5.0 | 9.7 | 15.0 |
| Sweet potato tuber | 0.0 | 28.7 | 56.0 |
| Urea | 0.0 | 0.3 | 0.7 |
| Mineral salt | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| Total DM | 100.0 | 100.0 | 100.0 |
| Chemical composition of diet | | | |
| Crude protein, % | 11.40 | 11.10 | 11.10 |
| ME, MJ/Kg DM (*) | 11.13 | 11.17 | 11.10 |
| NDF (%) | 30.30 | 29.40 | 28.50 |

(*): estimated values TL: FSPT level.

an average size of 2 to 3 cm. It was mixed with the rest of the ration in the trough, except the hay. The latter was offered in hanging bags with an additional 5.0 % to compensate for trampling losses.

A total of twelve crossbreed male cattle (Brown Swiss by Brahman) were used, with an average initial weight of 358+23kg, average age of 16-18 months. Four animals per treatment were random distributed and two animals per pen were confined in covered pens (25m²). The study included an adaptation phase of 18 days and an evaluation phase with two periods (EP), of 30 days each. The animals were weighed individually, at the beginning and end of each period, fasting, at 8:00 a.m., on a digital scale. In each EP, samples of the ingredients from the ration were taken to determine DM and CP, according to the methodology described by AOAC (2016).

Productive and economic variables were evaluated: live weight gain (LWG), intakes of DM (DMI), CP (CPI), metabolizable energy (MEI), food conversion (FC), CP (CPC), ME (MEC) and feeding cost (FC). To determine the FC, the production cost of the chopped fresh tuber was estimated. Local market prices were used for the other ingredients in the ration. The production cost of the FSPT was obtained from the records of expenses, agronomic biomass yield and useful material offered to the animal.

Each evaluation variable was tested for normality (Shapiro and Wilk 1965). When this assumption was fulfilled, an analysis of variance was applied, which included the initial weight as covariance and the Tukey-Kramer (Kramer 1956) test to detect differences ($p < 0.05$). For the statistical analyzes, the statistical package SAS, version 9.3 (2011) was used.

Results and Discussion

The FSPT showed average DM content and biomass yield of 32.0 (30.5-33.5 %) and

picadora eléctrica, a tamaño promedio de 2 a 3 cm. Se mezcló con el resto de la ración en el comedero, excepto el heno. Este último se ofreció en bolsas colgantes con 5.0 % adicional para compensar pérdidas por pisoteo.

Se utilizaron 12 bovinos machos cruzados (Pardo Suizo por Brahman), con peso inicial promedio de 358 +23 kg, edad promedio de 16-18 meses. Se distribuyeron al azar cuatro animales por tratamiento y se confinaron en corrales techados (25m²) dos animales por corral. El estudio incluyó una fase de adaptación de 18 d y una de evaluación con dos períodos (PE), de 30 d cada uno. Los animales se pesaron individualmente, al inicio y al final de cada período, en ayunas, a las 8:00 a.m., en una balanza tipo digital. En cada PE se tomaron muestras de los ingredientes de la ración para determinar MS y PB, de acuerdo con la metodología descrita por AOAC (2016).

Se evaluaron variables productivas y económicas: ganancia de peso vivo (GPV), consumos de MS (CMS), PB (CPB), energía metabolizable (CEM), conversión del alimento (CoA), PB (CoPB), EM (CoEM) y costo de alimentación (COA). Para determinar el COA se estimó el costo de producción del tubérculo fresco picado. Se utilizaron precios locales de mercado para los otros ingredientes de la ración. El costo de producción del TCF se obtuvo a partir de los registros de gastos, rendimiento agronómico de biomasa y material útil ofrecido al animal.

Cada variable de evaluación se sometió a la prueba de normalidad (Shapiro y Wilk 1965). Al cumplirse este supuesto, se aplicó un análisis de varianza, que incluyó el peso inicial como covarianza y la dócima de Tukey-Kramer (Kramer 1956) para detectar diferencias ($p < 0.05$). Para los análisis estadísticos se utilizó el paquete estadístico SAS, versión 9.3 (2011).

Resultados y Discusión

El TCF presentó contenido promedio de MS y rendimiento de biomasa de 32.0 (30.5-33.5 %) y 7.97 t MS

7.97 t DM ha⁻¹ at 120 d after sowing. These yields are similar to those reported by Ospina *et al.* (2003) for different sweet potato clones. There were not changes during the tuber harvest period in its external appearance and texture. The sweet potato tuber is a perishable product, with a very active metabolism after harvest, a situation that was observed in this study. In a postharvest characterization of this tuber, under storage conditions at 30 °C and 60 % relative humidity, García *et al.* (2014) reported daily fresh weight losses of 2.51 %, with appreciable variations in the texture and dehydration of the tissue, but with acceptable quality during the first 13 d.

The LWG (table 2) was not affected by the interaction TL * EP ($P \geq 0.58$), TL ($P \geq 0.28$) and EP ($P \geq 0.27$), although the FSPT diets showed a tendency to greater response. The average LWG for EP1 and EP2 was 1.740 and 1.68 kg animal d⁻¹, respectively. The control diet (TL0) showed LWG typical of high grain diets (Livas 2015 and Vittone *et al.* 2015). The LWG obtained in the diets with FSPT were attributed, to a great extent, to the contribution and energy quality of this product.

ha⁻¹ a los 120 d después de la siembra. Estos rendimientos son similares a los informados por Ospina *et al.* (2003) para diferentes clones de camote. No se observaron cambios apreciables durante el período de cosecha del tubérculo en su apariencia externa y textura. El tubérculo de camote es un producto perecedero, con metabolismo muy activo después de la cosecha, situación que se observó en el presente estudio. En una caracterización poscosecha de este tubérculo, en condiciones de almacenamiento a 30 °C y 60 % de humedad relativa, García *et al.* (2014) informaron pérdidas diarias de peso fresco de 2.51 %, con variaciones apreciables en la textura y deshidratación del tejido, pero con calidad aceptable durante los primeros 13 d.

La GPV (tabla 2) no se afectó por la interacción NT*PE ($P \geq 0.58$), NT ($P \geq 0.28$) y PE ($P \geq 0.27$), aunque las dietas con TCF presentaron tendencia a mayor respuesta. La GPV promedio para PE1 y PE2 fue 1.740 y 1.68 kg animal d⁻¹, respectivamente. La dieta control (NT0) presentó GPV propia de dietas altas en granos (Livas 2015 y Vittone *et al.* 2015). Las GPV obtenidas en las dietas con TCF se atribuyeron, en gran medida, al aporte y calidad energética de este producto.

Table 2. Live weight gain, intake of dry matter, crude protein and metabolizable energy in the evaluation phase

| Indicator | Sweet potato tuber level in diet, % dry basis | | | | |
|--|--|--------------------------|--------------------------|--------|----------|
| | 0.0 (TL ₀) | 28.0 (TL ₂₈) | 56.0 (TL ₅₆) | SE± | <i>p</i> |
| Initial weight, kg (*) | 371.0 | 362.0 | 386.0 | 4.370 | 0.65 |
| Final weight, kg (*) | 468.0 | 462.0 | 491.0 | 10.900 | 0.58 |
| LWG, kg animal ⁻¹ d ⁻¹ (*) | 1.620 | 1.670 | 1.756 | 0.055 | 0.28 |
| | Intake, 100 kg live weight ⁻¹ day ⁻¹ | | | | |
| DM, kg | 2.66 ^b | 2.67 ^a | 2.76 ^a | 0.010 | 0.01 |
| CP, kg | 0.303 ^a | 0.293 ^b | 0.300 ^a | 0.001 | 0.01 |
| ME, MJ | 29.50 | 20.16 | 20.00 | 0.020 | 0.12 |

(*) in the evaluation period

abc: means with different letters differ to $P < 0.05$

TL: FSPT level

Backer *et al.* (1980), with a diet based on this tuber and urea, obtained LWG of 0.823 kg animal d⁻¹ and food conversion of 6.63 kg DM kg of increase in LW⁻¹, results that could imply a synchronization of energy-N and use of urea at an adequate ruminal level. Ruggia *et al.* (2010), when supplementing grazing steers (raygrass, *Lolium multifloran*) with FSPT (1.0 % with respect to live weight, fresh base), they also achieved LWG of 1.30 kg animal d⁻¹, 62.5 % higher than that of the group, only in grass. Based on the results of different authors, Heuzé *et al.* (2015) showed that in diets for beef cattle, the substitution of 50 to 100 % of corn grain by dried sweet potato tuber resulted in very similar LWG, which corresponds to what was obtained in this study. The DMI was not affected by TL * EP ($P > 0.10$) and EP ($P > 0.30$), only by TL ($P < 0.01$), with higher intake at the highest level of FSPT (table 2), 3.6 % higher than the intake with TL₀ and TL₂₈. This higher intake was attributed to the increase in experienced DM content. The

Backer *et al.* (1980), con una dieta basada en este tubérculo y urea, obtuvieron GPV de 0.823 kg animal d⁻¹ y conversión alimentaria de 6.63 kg MS kg de aumento PV⁻¹, resultados que pudieron implicar una sincronización de energía-N y utilización de la urea a nivel ruminal adecuadas. Ruggia *et al.* (2010), al suplementar novillos en pastoreo (raygrass, *Lolium multifloran*) con TCF (1.0 % con respecto al peso vivo, base fresca) también lograron GPV de 1.30 kg animal d⁻¹, 62.5 % superior a la del grupo, solo en pastura. Sobre la base de los resultados de diferentes autores, Heuzé *et al.* (2015) indicaron que en dietas para bovinos de carne la sustitución de 50 a 100 % del grano de maíz por tubérculo de camote seco resultó en GPV muy similares, lo que se corresponde con lo obtenido en el presente estudio. El CMS no resultó afectado por NT*PE ($P > 0.10$) y PE ($P > 0.30$), solo por NT ($P < 0.01$), con mayor consumo al nivel más alto de TCF (tabla 2), 3.6 % superior al consumo con NT₀ y NT₂₈. Este consumo superior se atribuyó al aumento en el contenido de MS experimentado. El CMS

average DMI per evaluation period was 2.70 and 2.68 kg 100 kg live weight⁻¹ d⁻¹ for EP₁ and EP₂, respectively. With the TL56 diet, the tuber intake was 1.56 kg DM 100 kg of live weight⁻¹ d⁻¹.

There was no rejection of the rations and the animals did not show clinical symptoms of ruminal disorders. This allows inferring that higher intake levels can be obtained from this tuber. Backer *et al.* (1980) achieved an *ad libitum* intake of 2.41 kg DM (tuber-urea) 100 kg of live weight⁻¹ d⁻¹.

From an average starch content of 68.2 % for the corn grain and 64.2 % for the FSPT (DeBlas *et al.* 2010, Grüneberg *et al.* 2015, DeBlas *et al.* 2019 and Solís 2020), the average starch intake was estimated between 0.975 and 1.003 kg, 100 kg of live weight⁻¹ d⁻¹, which represented 37.8, 37.4 and 36.2 % of the total DM intake of TL₀, TL₂₈ and TL₅₆, respectively.

The CPI (table 2) was not affected by TL * EP and EP (P > 0.05). On the other hand, the TL₂₈ showed lower intake than the other two treatments (P < 0.001). EP₁ and EP₂ had an average CPI of 0.301 and 0.296 kg, 100 kg of live weight⁻¹ d⁻¹, respectively. Of the total CP intake in TL₂₈ and TL₅₆, 6.3 and 19.3 was contributed by urea, levels that are low with respect to the recommended maximum (Barker 1970).

The TL*EP interaction and independent variables did not affect the MEI (P > 0.12) (table 2), with an average of 28.70 and 29.45 MJ 100 kg of live weight⁻¹ d⁻¹ for EP₁ and EP₂, respectively. The FSPT contribution to the total ME intake was 0.0, 29.0 and 59.0 % for TL₀, TL₂₈ and TL₅₆, respectively. In the control treatment, the MCG contributed 64.5 % of the total ME intake. To achieve isoenergetic diets, the level of nut cake were increased, with a contribution to the total ME intake of 5.4, 10.8 and 17.3 % in TL₀, TL₂₈ and TL₅₆.

Regarding the requirements of the NRC (1996) for beef cattle with similar weight and LWG conditions as those of this study, the food balance showed that the intake of DM, CP and ME supported the obtained LWG. However, they were 11.4, 1.6 and 7.7 % higher than those recommended by the NRC, respectively.

The food conversion, CP and ME were not affected by the interaction (TL*EP). Only the conversion of ME by TL was affected (table 3), with better conversion for diets with FSPT. This performance supports the nutritional quality of diets with FSPT, and makes possible a lower feeding cost. However, ME estimates were analyzed from values available in the literature. In the case of sweet potato tuber, this information was limited, which warrants some caution in the conversion results.

The responses obtained in diets with FSPT are attributed, to a large extent, to the high sugar and starch content of this product, energetic components of great influence on the digestive and metabolic processes of the animal. At the ruminal level, these carbohydrates

promedio por período de evaluación fue de 2.70 y 2.68 kg 100 kg de peso vivo⁻¹ d⁻¹ para PE₁ y PE₂, respectivamente. Con la dieta NT56, el consumo de tubérculo fue de 1.56 kg MS 100 kg de peso vivo⁻¹ d⁻¹.

No hubo rechazo a las raciones y los animales no mostraron síntomas clínicos de trastornos ruminales. Esto permite inferir que se pueden obtener mayores niveles de consumo de este tubérculo. Backer *et al.* (1980) lograron un consumo *ad libitum* de 2.41 kg MS (tubérculo-urea) 100 kg de peso vivo⁻¹ d⁻¹. A partir de un contenido promedio de almidón de 68.2 % para el grano de maíz y de 64.2 % para el TCF (DeBlas *et al.* 2010, Grüneberg *et al.* 2015, DeBlas *et al.* 2019 y Solís 2020), el consumo promedio de almidón se estimó entre 0.975 y 1.003 kg, 100 kg de peso vivo⁻¹ d⁻¹, lo que representó 37.8, 37.4 y 36.2 % del consumo total de MS del NT₀, NT₂₈ y NT₅₆, respectivamente.

El CPB (tabla 2) no se afectó por NT*PE y PE (P > 0.05). En cambio, el NT₂₈ dejó ver menor consumo que los otros dos tratamientos (P < 0.001). PE₁ y PE₂ tuvieron un CPB promedio de 0.301 y 0.296 kg, 100 kg de peso vivo⁻¹ d⁻¹, respectivamente. Del total de PB consumida en NT₂₈ y NT₅₆, 6.3 y 19.3 lo aportó la urea, niveles que resultan bajos con respecto al máximo recomendado (Barker 1970).

La interacción NT*PE y variables independientes no afectaron el CEM (P > 0.12) (tabla 2), con promedio de 28.70 y 29.45 MJ 100 kg de peso vivo⁻¹ d⁻¹ para PE₁ y PE₂, respectivamente. El aporte del TCF al consumo total de EM fue de 0.0, 29.0 y 59.0 % para NT₀, NT₂₈ y NT₅₆, respectivamente. En el tratamiento control, el GMM aportó 64.5 % del consumo total de EM. Para lograr dietas isoenergéticas, se incrementó el nivel de torta de coquito, con aporte al consumo total de EM de 5.4, 10.8 y 17.3 % en NT₀, NT₂₈ y NT₅₆.

Con respecto a los requerimientos de la NRC (1996) para bovinos de carne con similares condiciones de peso y GPV que los del presente estudio, el balance alimentario indicó que el consumo de MS, PB y EM sustentó las GPV obtenidas. No obstante, resultaron superiores en 11.4, 1.6 y 7.7 % a las recomendadas por la NRC, respectivamente.

La conversión del alimento, PC y EM no se afectaron por la interacción (NT*PE). Solo se afectó la conversión de la EM por NT (tabla 3), con mejor conversión para las dietas con TCF. Este comportamiento sustenta la calidad nutritiva de las dietas con TCF, y posibilita menor costo de alimentación. Sin embargo, las estimaciones de EM se analizaron a partir de valores disponibles en la literatura. En el caso del tubérculo de camote, esta información fue limitada, lo que merece cierta precaución en los resultados de conversión.

Las respuestas obtenidas en las dietas con TCF se atribuyen, en gran parte, a los altos contenidos de azúcares y almidón de este producto, componentes energéticos de gran influencia en los procesos digestivos y metabólicos del animal. A nivel ruminal, estos carbohidratos definen la

Table 3. Food conversion, crude protein and metabolizable energy in the evaluation period

| Indicator | Substitution level | | | | Evaluation period | | | |
|---|--------------------|--------------------|--------------------|----------|-------------------|-----------------|----------|------|
| | TL ₀ | TL ₂₈ | TL ₅₆ | <i>p</i> | EP ₁ | EP ₂ | <i>p</i> | SE± |
| FC, kg DM kg Increased LW ⁻¹ | 6.88 | 6.68 | 6.62 | 0.81 | 6.50 | 6.95 | 0.25 | 0.17 |
| CPC, kg kg increased LW ⁻¹ | 0.784 | 0.738 | 0.732 | 0.08 | 0.778 | 0.728 | 0.27 | 0.02 |
| MEC, MJ kg increased LW ⁻¹ | 76.44 ^a | 72.38 ^b | 76.96 ^b | 0.01 | 73.82 | 73.30 | 0.29 | 0.06 |

LW: live weight.

define the speed and extent of fermentation (Cone 1998). Sugars, like the soluble fraction of starches, are rapidly fermented, which increases cell mass, production of volatile fatty acids and synthesis of microbial protein (Gómez *et al.* 2016). LI Jian-nan *et al.* (2014) reported a starch disappearance rate from the dried and milled sweet potato tuber of 27.6 % h⁻¹ in the first two hours of incubation in the rumen, which decreased as the incubation time increased. In theory, this pattern of energy availability may favor the use of rapidly fermentable N (Herrera *et al.* 1990) and bacterial growth, not only due to a greater synchronization of energy and protein, but also due to the constant availability of energy. However, the experimental information is contradictory, and does not validate this synchronization approach (Oba 2011 and Fondevila 2015). The tuber was supplied to the animal in small pieces (2.0 - 3.0 cm), an aspect that could reduce the degradation speed of its easily fermentable carbohydrates, due to its accessibility to microbial activity.

Another important ruminal parameter is the effective degradability rate. For tuber starch, for a passage rate of 0.060 h⁻¹, Jiang (2005) reported an *in situ* value of 54.9 %, with a significant bypass fraction. It is also possible that in the liquid phase of the rumen a fraction of sugars pass to the lower parts of the gastrointestinal tract (Cone 1998). With respect to the ruminal way, this allows higher efficiency of energy use of sugars and starches (Zavaleta 2007). According to estimates by Oba (2011), 5.0 % of the available sugars escape from the rumen without being fermented, an effect that may be higher when supplying the fresh tuber, whole or chopped.

Another aspect that supports the responses obtained with FSPT is its high starch content, which, like MCG, allowed diets high in this nutrient, on average 37.1 %, dry basis, a level that produces a decrease in ruminal pH and an increase in the production of propionic acid, a glucogenic compound that favors the animal response (Zavaleta 2007). It has also been showed that this effect on pH decreases methanogenesis, a process that involves energy expenditure, favors bacterial growth, increases the passage rate and saves energy (Stern *et al.* 1994 and Gómez *et al.* 2016).

When considering some chemical and ruminal characteristics that affect the animal response, the sweet potato tuber have an average starch content slightly

velocidad y extensión de la fermentación (Cone 1998). Los azúcares, al igual que la fracción soluble de los almidones, son de rápida fermentación, lo que aumenta la masa celular, producción de ácidos grasos volátiles y síntesis de proteína microbiana (Gómez *et al.* 2016). LI Jian-nan *et al.* (2014) informaron una tasa de desaparición del almidón del tubérculo de camote seco y molido de 27.6 % h⁻¹ en las primeras dos horas de incubación en el rumen, la que disminuyó a medida que aumentó el tiempo de incubación. En teoría, este patrón de disponibilidad de energía puede favorecer el aprovechamiento del N rápidamente fermentable (Herrera *et al.* 1990) y el crecimiento bacteriano, no solo por una mayor sincronización de la energía y proteína, sino por la disponibilidad constante de energía. No obstante, la información experimental es contradictoria, y no valida este planteamiento de sincronización (Oba 2011 y Fondevila 2015). El tubérculo se suministró al animal en trozos pequeños (2.0 - 3.0 cm), aspecto que pudo disminuir la velocidad de degradación de sus carbohidratos fácilmente fermentables, producto de su accesibilidad a la actividad microbiana.

Otro parámetro ruminal de importancia es la tasa de degradabilidad efectiva. Para el almidón del tubérculo, para una tasa de pasaje de 0.060 h⁻¹, Jiang (2005) informó valor *in situ* de 54.9 %, con una fracción sobrepasante importante. También es posible que en la fase líquida del rumen una fracción de los azúcares pasen a las partes bajas del tracto gastrointestinal (Cone 1998). Con respecto a la vía ruminal, esta permite mayor eficiencia de utilización energética de azúcares como de almidones (Zavaleta 2007). Según estimaciones de Oba (2011), 5.0 % de los azúcares disponibles escapan del rumen sin ser fermentados, efecto que puede ser mayor al suministrar el tubérculo fresco, en forma entera o troceado.

Otro aspecto que sustenta las respuestas obtenidas con TCF es su elevado contenido de almidón, que al igual que el GMM permitió dietas altas en este nutriente, como promedio 37.1%, base seca, nivel que produce disminución del pH ruminal y aumento en la producción de ácido propiónico, compuesto glucogénico que favorece la respuesta animal (Zavaleta 2007). También se ha indicado que este efecto en el pH disminuye la metanogénesis, proceso que implica gasto energético, favorece el crecimiento bacteriano, aumenta la tasa de pasaje y ahorra energía (Stern *et al.* 1994 y Gómez *et al.* 2016).

Al considerar algunas características químicas y ruminales que afectan la respuesta animal, el tubérculo de camote presenta un contenido promedio de almidón

lower (64.7 vs 66.7 %) with respect to the corn grain, (Grüneberg *et al.* 2015, DeBlas *et al.* 2019 and Solís 2020). However, its sugar content is much higher (16.0 vs 1.6 %) (Aliaga and Nieto 2009 and Martínez *et al.* 2016). On average, both materials present very similar *in situ* degradabilities, 82.0 and 97.8 %, at 24 and 48 h of incubation, respectively (Batajoo and Shaver 1998, LI Jian-nan *et al.* 2014 and Gómez *et al.* 2016). The same situation is shown for the degradability rate of 0.058/h (LI Jian-nan *et al.* 2014 and Calsamiglia 2016), a value that implies a mean degradation time (t_{1/2}) of 11.9 h. In terms of effective ruminal starch degradability, an average value of 61.9 % has been reported for the corn grain (Offner *et al.* 2003, Jiang 2005 and Calsamiglia 2016) and 54.9 % for the sweet potato tuber (Jiang 2005), values that show a higher proportion of bypassing starch for this tuber. The amylose content of starch inversely limits its digestion (Rooney and Rflugfelder 1986 and Bednar *et al.* 2001). Information from various authors refers to an average content of amylose and amylopectin for corn starch of 27.4 and 72.6 % (Hernández *et al.* 2008 and Gómez *et al.* 2016) and for sweet potato tuber starch of 22.1 and 77.9 % (Tecson 2007, Hernández *et al.* 2008 and Manzanillas 2018), respectively. These chemical and ruminal values make possible the competitive substitution of corn grain by sweet potato tuber in fattening diets.

The cost of the FSPT and MCG was 0.18 US dollars and 0.40 kg dry⁻¹, which represents \$ 0.06 and 0.13 MJ ME⁻¹, respectively, values that enable the economic viability of this tuber in cattle feeding. The cost of diets was \$0.38, 0.30 and 0.23 kg dry⁻¹ for TL₀, TL₂₈ and TL₅₆, respectively. With respect to TL₀, the feeding cost of TL₅₀ and TL₁₀₀ decreased 18.0 and 28.3 %, respectively.

Conclusion

The sweet potato tuber proved to be a nutritional, competitive and economically viable alternative as an energy source for the replacement of 100 % of corn grain in the diet for fattening male cattle.

Conflict of interest

The authors declare that there are no conflicts of interests among them

Author's contribution

M.H. Ruiloba: Original idea, design and experimental methodology, statistical analysis, writing the manuscript

J. Maure: Conducting the experiment, sampling, lab analysis, writing the manuscript

C. Solís: Statistical analysis, writing the manuscript

ligeramente inferior (64.7 vs 66.7 %) con respecto al grano de maíz, (Grüneberg *et al.* 2015, DeBlas *et al.* 2019 y Solís 2020). Sin embargo, su contenido de azúcar es muy superior (16.0 vs 1.6 %) (Aliaga y Nieto 2009 y Martínez *et al.* 2016). Como promedio, ambos materiales presentan degradabilidades *in situ* muy similares, 82.0 y 97.8 %, a las 24 y 48 h de incubación, respectivamente (Batajoo y Shaver 1998, LI Jian-nan *et al.* 2014 y Gómez *et al.* 2016). Igual situación se muestra para la tasa de degradabilidad, de 0.058/h (LI Jian-nan *et al.* 2014 y Calsamiglia 2016), valor que implica un tiempo medio de degradación (t_{1/2}) de 11.9 h. En términos de degradabilidad ruminal efectiva del almidón, se ha informado un valor promedio de 61.9 % para el grano de maíz (Offner *et al.* 2003, Jiang 2005 y Calsamiglia 2016) y 54.9 % para el tubérculo de camote (Jiang 2005), valores que indican mayor proporción de almidón sobrepasante para este tubérculo. El contenido de amilosa del almidón limita, en forma inversa, su digestión (Rooney y Rflugfelder 1986 y Bednar *et al.* 2001). Información de varios autores refiere un contenido promedio de amilosa y amilopectina para el almidón del maíz de 27.4 y 72.6 % (Hernández *et al.* 2008 y Gómez *et al.* 2016) y para el almidón del tubérculo de camote de 22.1 y 77.9 % (Tecson 2007, Hernández *et al.* 2008 y Manzanillas 2018), respectivamente. Estos valores químicos y ruminales posibilitan la sustitución competitiva del grano de maíz por tubérculo de camote en dietas de engorde.

El costo del TCF y GMM fue de 0.18 dólar americano y 0.40 kg seco⁻¹, lo que representa \$ 0.06 y 0.13 MJ EM⁻¹, respectivamente, valores que posibilitan la viabilidad económica de este tubérculo en la alimentación bovina. El costo de las dietas fue de \$0.38, 0.30 y 0.23 kg seco⁻¹ para NT₀, NT₂₈ y NT₅₆, respectivamente. Con respecto a NT₀, el costo de alimentación de NT₅₀ y NT₁₀₀ disminuyó 18.0 y 28.3 %, respectivamente.

Conclusión

El tubérculo de camote demostró ser una alternativa nutricional, competitiva y económicamente viable, como fuente energética para la sustitución del 100 % del grano de maíz en la dieta destinada a bovinos machos en engorde.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflicto de intereses

Contribución de los autores

M.H. Ruiloba: Idea original, diseño y metodología experimental, análisis estadísticos, redacción del artículo.

J. Maure: Conducción del experimento, muestreos, análisis de laboratorio, redacción del artículo.

C. Solís: Análisis estadísticos, redacción del artículo.

References

- Agama, E., Juárez, E., Evangelista, S., Rosales, O. & Bello, L. 2013. "Characteristics of maize starch and relationship with its biosynthesis enzymes". *Agrociencia*, 47: 1-12, ISSN: 2521-9766.
- Aliaga, P. & Nieto, C. 2009. "Contenido de azúcares en raíces reservantes de 106 clones de camote (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) de la colección de germoplasma". *Anales Científicos*, 70(2): 1-10, ISSN: 2519-7398. <http://dx.doi.org/10.21704/>

- ac.v70i2.493.
- Almeydas, J. 2016. Manejo y alimentación de vacas productoras de leche en sistemas intensivos. Actualidad Ganadera (Parte I). Available: <https://ganaderiasos.com/manejo-alimentacion-vacas-productoras-leche-sistemas-intensivos-parte-i/>.
- Alvarado, E. 2015. Evaluación del valor nutricional del ensilaje de residuos de la cosecha de camote (*Ipomoea batatas* (L)). Diploma Thesis. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Sede Regional San Carlos, Costa Rica.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 2016. Official Methods of Analysis of AOAC International. 20th Ed. Latimer Jr, G.W. (ed). Ed. AOAC International, Rockville M.D, USA, ISBN: 9780935584875.
- Backer, J. 1976. Utilización integral del camote (*Ipomoea batatas* (L) Lam) en la producción de carne. MSc. Thesis. Centro Agronomico Tropical de de Investigacion y Enseñanza (CATIE), Universidad de Costa Rica, Turrialba, Costa Rica.
- Backer, J., Ruiz, M. & Pinchinat, A. 1980. "The use of sweet potato (*Ipomoea batatas* (L) Lam) in animal feeding: II beef production". Tropical Animal Production, 5(2): 152-160.
- Barker, D. 1970. "Feeding urea to cattle". Journal of the Department of Agriculture, Western Australia, Series 4, 11(1), Article 5, ISSN: 0021-8618.
- Batajoo, K. & Shaver, R. 1998. "In situ dry matter, crude protein, and starch degradabilities of selected grains and by-product feeds". Animal Feed Science and Technology, 71(1-2): 165-176, ISSN: 0377-8401. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(97\)00132-6](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(97)00132-6).
- Bednar, G.E., Patil, A.R., Murray, S.M., Grieshop, C.M., Merchen, N.R. & Fahey, G.C.2001. "Starch and fiber fractions in selected food and feed ingredients affect their small intestinal digestibility and fermentability and their large bowel fermentability in vitro in a canine mode". The Journal of Nutrition, 131(2): 276-286, ISSN: 1541-6100. <https://doi.org/10.1093/jn/131.2.276>.
- Calsamiglia, S. 2016. "Consideraciones sobre el uso de almidones en el racionamiento del vacuno lechero". Frisona Española, 210: 100-103, ISSN: 0211-3767, Available: <https://www.revistafrisona.com/Portals/0/articulos/n210/uso%20de%20almidon.pdf>.
- Cone, J. 1998. "The development, use and application of the gas production technique at the DLO Institute for Animal Science and Health (ID-DLO), Lelystad, The Netherlands". BSAP Occasional Publication, 22: 65-78, ISSN: 2053-5953. <https://doi.org/10.1017/S0263967X00032286>.
- DeBlas, C., García, P., Gorrachategui, M. & Mateos, G. 2019. Maíz Nacional. Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos. 4th Ed. Ed. FEDNA. Madrid, España, Available: <http://www.fundacionfedna.org/node/370>.
- DeBlas, C., Mateos, G. & García, P. 2010. Patata dulce o batata. Ingredientes para piensos. 3rd Ed. Ed. FEDNA. Madrid, España, p. 502, Available: http://www.fundacionfedna.org/ingredientes_para_piensos/patata-dulce-o-batata.
- Fondevila, M. 2015. La importancia de los azúcares en la alimentación de los ruminantes (Ponencia presentada en la I Jornada FEDNA-ANEMBE, Zaragoza, España). Vacuno de Élite, (3): 38-47, ISSN: . Disponible en: http://www.vacunodeelite.es/wp-content/uploads/2016/05/La_importancia_de_los_azucares.pdf.
- García, A., Pérez, M. & García, A. 2014. "Evaluación del comportamiento post-cosecha de la batata (*Ipomea batatas* (L) Lam) en condiciones de almacenamiento comercial". Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, 15(2): 177-186, ISSN: 1665-0204.
- Gómez, L., Posada, S. & Olivera, M. 2016. "Starch in ruminant diets: a review". Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias, 29(2): 77-90, ISSN: 2256-2958. <https://doi.org/10.17533/udea.rccp.v29n2a01>.
- Goyzueta, M. 1963. Camote fresco en el engorde de bovinos de carne. Diploma Thesis. Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.
- Grüneberg, W., Ma, D., Mwangi, R., Carey, E., Huamani, K., Diaz, F., Eyzaguirre, R., Guaf, E., Jusuf, M., Karuniawan, A., Tjintokohadi, K., Song, Y., Anil, S., Hossain, M., Rahaman, E., Attaluri, S., Somé, K., Afauape, S., Adofo, K., Lukonge, E., Karanja, L., Ndirigwe, J., Ssemakula, G., Agili, S., Randrianaivoarivony, J., Chiona, M., Chipungu, F., Laurie, S., Ricardo, J., Andrade, M., Rausch, F., Mello, A., Khan, M., Labonte, D. & Yenchu, G. 2015. Chapter 1: Advances in Sweetpotato Breeding from 1992 to 2012. In: Potato and Sweetpotato in Africa: transforming the Value Chains for Food and Nutrition Security. Low, J., Nyongesa, M., Quinn, S., Parker, M. (eds.) Ed. CABI International. Boston, USA, pp 3-68, ISBN: 978-1-78064-420-2. <http://dx.doi.org/10.1079/9781780644202.0000>.
- Hernández, M., Torruco, J.G., Chel, L. & Bethancour, D. 2008. "Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México". Food Science and Technology, 28(3): 718-726, ISSN: 1678-457X. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612008000300031>.
- Herrera, R., Gomez, R., Torabi, M. & Huber, J.T. 1990. "Influence of Synchronizing Protein and Starch Degradation in the Rumen on Nutrient Utilization and Microbial Protein Synthesis". Journal of Dairy Science, 73: 142-148, ISSN: 1525-3198. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(90\)78657-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(90)78657-2).
- Heuzé, V., Tran, G., Hassoun, P., Renaudeau, D. & Bastianelli, D. 2015. Sweet potato (*Ipomoea batatas* s) tubers. Feedipedia, a programme by INRA, CIRAD, AFZ and FAO. Available: <http://www.feedipedia.org/node/745>.
- Jiang, Z. 2005. Dissertation: Study on Kinetics of Starch Degradability of Common Used Feed for Ruminants. Animal Nutrition and Feed Science. Course: Animal Nutrition and Feed Science. Hunan Agricultural University, China. Available: <https://www.dissertationtopic.net/doc/89579.1>
- Jiménez, K., Arrieta, L., Salcedo, J. & Contreras, K. 2019. "Caracterización de harinas y almidones de batatas (*Ipomoea batatas* Lam.), de la costa caribe colombiana". Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, 22(1): 1-11, ISSN: 2619-2551. <https://doi.org/10.31910/rudca.v22.n1.2019.1185>.
- Kramer, C.Y. 1956. "Extension of multiple range tests to group means with unequal numbers of replications". Biometrics,

- 12(3): 307-310, ISSN: 1541-0420. <http://dx.doi.org/10.2307/3001469>.
- Li Jian-nan, Qiu-feng, L., Yan-xia, G., Yu-feng, C., Jian-guo, L. & Yun-qi, L. 2014. "Effect of Ensilage on Degradability of Dry Matter and Starch in Rumen about Potato Residues and Sweet Potato Residues". *China Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 41(6): 89-93, ISSN: 1671-7236, Available: <http://www.chvm.net/EN/abstract/abstract5325.shtml>.
- Livas, F. 2015. Estrategias de Alimentación para Ganado Bovino en las Regiones Tropicales. Available: <https://www.ganaderia.com/destacado/Estrategias-de-alimentaci%C3%B3n-para-ganado-bovino-en-las-regiones-tropicales>.
- Manzanillas, L. 2018. Evaluación de las propiedades fisicoquímicas y funcionales de fésculas de tres variedades de camote (*Ipomoea batatas*) para aplicaciones alimentarias. Diploma Thesis. Universidad Técnica de Ambato, Ecuador, p. 73.
- Martínez, M., Palacios, I. & Medina, H. 2016. "Composición química del grano de maíz (*Zea mays*) Chococito del Municipio de Quibdó, Colombia". *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 7(1), ISSN: 2145-6453. <https://doi.org/10.22490/21456453.1619>.
- NRC (National Research Council). 1996. Nutrient Requirements of Beef Cattle. 7th Rev. Ed. Ed. The National Academies Press. Washington, D.C., USA. Available: <http://nutrition.dld.go.th/nutrition/images/knowledge/beef-cattle.pdf>.
- Oba, M. 2011. "Review: Effects of feeding sugars on productivity of lactating dairy cows". *Canadian Journal of Animal Science*, 91(1): 37-46, ISSN: 0008-3984. <https://doi.org/10.4141/CJAS10069>.
- Offner, A., Bach, A. & Sauvant, D. 2003. "Quantitative review of *in situ* starch degradation in the rumen". *Animal Feed Science and Technology*, 106(1-4): 81-93, ISSN: 0377-8401. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(03\)00038-5](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(03)00038-5).
- Orskov, E. & McDonald, I. 1979. "The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage". *The Journal of Agricultural Science*, 92(2): 499-503, ISSN: 1469-5146. <https://doi.org/10.1017/S0021859600063048>.
- Ospina, B., Cadavid, L. & Albán, Á. 2003. El cultivo de Camote: un aliado de la yuca para la tropicalización de la alimentación avícola en Colombia. CLAYUCA. Disponible en: <https://xdoc.mx/download/el-cultivo-de-camote-un-aliado-de-la-yuca-para-la-5f53f63bf2105?hash=4774daded213797eb1f294892c11c4cb>.
- Rooney, L.W. & Pflugfelder, R.L. 1986. "Factors affecting starch digestibility with special emphasis on sorghum and corn". *Journal of Animal Science*, 63(5): 1607-1623, ISSN: 1525-3163. <https://doi.org/10.2527/jas1986.6351607x>.
- Ruggia, A., Rodríguez, G., Reggio, A., Vicente, E. & Zarza, R. 2010. Efecto de la suplementación con boniato sobre la evolución de peso vivo en novillos. In: Cultivares de boniato en el litoral norte. Estación Experimental INIA Salto Grande, p. 11, Available: http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:6EHI_puUY3oJ:www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/577/1/12940220710121314.pdf+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=pa.
- Ruíz, E., Aguilera, V. & Batista, A. 2009. Manual técnico para el cultivo de camote (*Ipomoea batatas* L.). Ed. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá, Ciudad de Panamá, Panamá, ISBN: 978-9962-8903-9-3.
- SAS. 2011. SAS/STAT® 9.3 User's Guide. Version 9.3. SAS Institute Inc. Cary, North Carolina, USA.
- Shapiro, S. & Wilk, M. 1965. "An analysis of variance test for normality (complete samples)". *Biometrika*, 52(3-4): 591-611, ISSN: 1464-3510. <https://doi.org/10.1093/biomet/52.3-4.591>.
- Solís, C. 2011. Sustitución del maíz por ensilaje integral de camote (*Ipomoea batatas* L.) como fuente energética en la alimentación de bovinos en crecimiento. MSc. Thesis. Universidad de Panamá, Panamá.
- Solís, C. 2020. Obtención y evaluación nutricional del ensilado integral de camote presecado (*Ipomoea batatas*, L.) como sustituto energético del grano de maíz (*Zea mays*) en dietas para vacunos en crecimiento. PhD Thesis. Departamento de Rumiantes, Instituto de Ciencia Animal, Mayabeque, Cuba.
- Stern, M., Calsamiglia, S. & Endres, M. 1994. Dinámica del metabolismo de los hidratos de carbono y del nitrógeno en el rumen. In: X Curso de Especialización FEDNA. Madrid, España, pp. 1-11, Available: https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/manejo_del_alimento/36-hidratos_de_carbono_y_proteinas.pdf.
- Tecson, E. 2007. "Development of functional foods in the Philippines". *Food Science and Technology Research*, 13(3):179-186, ISSN: 1881-3984. <https://doi.org/10.3136/fstr.13.179>.
- Vargas, E. & Zumbado, M. 2003. "Composición de los subproductos de la industrialización de la palma africana utilizados en la alimentación animal en Costa Rica". *Agronomía Costarricense*, 27(1): 7-18, ISSN: 2215-2202.
- Vittone, J., Munilla, M., Lado, M., Corne, M., Ré, A., Biolatto, A. & Galli, I. 2015. Experiencias de recría y engorde con raciones secas en autoconsumo. Ed. INTA. Buenos Aires, Argentina, p. 43, ISBN: 978-987-521-658-7, Available: https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_-_experiencias_de_ganaderia_bovina_-_autoconsumo.pdf.
- Zavaleta, E. 2007. Los ácidos grasos volátiles, fuente de energía en los rumiantes. Departamento de Nutrición y Bioquímica, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México. Available: <http://www.fmvz.unam.mx/fmvz/cienciavet/revistas/CVvol1/CVv1c09.pdf>.

Received: July 7, 2021

Accepted: September 16, 2021