

# Evaluation of the substitution of granule corn by integral sweet potato silage (*Ipomoea batata*, L.) in a diet for the fattening of male cattle

## Evaluación de la sustitución del grano de maíz por ensilado de camote integral (*Ipomoea batata*, L.) en una dieta destinada al engorde de bovinos machos

M. H. Ruiloba<sup>1</sup>, J. Maure<sup>2</sup> and C. Solís<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (GRUCITED), República de Panamá

<sup>2</sup>Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), República de Panamá

<sup>3</sup>Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, República de Panamá

Email: carlos.solis@up.ac.pa

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>

In order to evaluate the substitution of ground granule corn by integral sweet potato silage in a diet for male cattle fattening, a completely randomized design with factorial arrangement 2x2 was used. A total of two substitution levels of the granule corn by integral sweet potato silage, dry basis were studied: 0.0 and 100.0 % and two evaluation periods (28 days each), with previous adaptation of 21 days. The diets were iso-energetic (10.88 MJ ME kg<sup>-1</sup> DM) and iso-protein (12.0 % CP). The silage had good organoleptic characteristics. There was not effect of the silage ( $p > 0.05$ ) on dry matter intake, crude protein and metabolizable energy (2.66 kg, 0.321 and 27.97 MJ 100 kg<sup>-1</sup> LWday<sup>-1</sup>). The daily weight gain ( $p > 0.05$ ), the dry matter conversion and metabolizable energy ( $p > 0.05$ ), with average of 1.84 kg animal<sup>-1</sup> day<sup>-1</sup>, 6.86 kg and 72.00 MJ kg<sup>-1</sup> weight gain, respectively was neither affected. The substitution of 0.0 % showed better crude protein conversion than those of the 100.0 % (0.796 y 0.849 kg kg<sup>-1</sup> of weight gain) ( $p < 0.01$ ). The weight in hot carcass was not affected by the silage, with average of 269.4 kg animal<sup>-1</sup> ( $p > 0.05$ ). The feeding cost of the treatment with the silage was 21.4 % lower than those with the ground granule corn. It is concluded that the integral sweet potato silage have viability as competitive alternative for the substitution of the granule corn in fattening diets of male cattle.

Key words: *silage, sweet potato, substitution level, weight gain, feeding cost*

The sweet potato (*Ipomoea batata*) is a crop of great biomass production and adaptation to a variety of tropical edaphoclimatic conditions (Ruíz *et al.* 2012). Other important characteristic of this crop is that the tuber and the foliage can be use in cattle feeding (Solís *et al.* 2019). On dry basis, the tuber has high content of sugars (8.3 - 31.6 %) and starch (60.0 - 70.0 %), low crude protein content (CP, 3.5 - 5.0 %) (Aliaga and Nieto 2009 and DeBlas *et al.* 2010), while the foliage show more content of CP (8.3 - 19.7 %), crude fiber (8.7 - 32.9 %) and ash (8.6 - 20.2 %) (Sologuren 2008 and Vélez 2019). The integral sweet potato silage (tuber + silage) have good fermentative and nutritional characteristics (Alvarado 2015 and Solís *et al.* 2019), with CP levels from 4.2 to 9.2 % and *in vitro* digestibility of dry matter (IVDDM) from 64.9 to 90.2 %, depending on the tuber/foliage relation (Alvarado 2015 and Solís and Ruiloba 2017). In dairy cattle with high production, Quezada (2001) introduced the integral sweet potato silage (ISPS)

Para evaluar la sustitución del grano de maíz molido por ensilado de camote integral en una dieta para el engorde de bovinos machos, se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial 2 x 2. Se estudiaron dos niveles de sustitución del grano de maíz por ensilado de camote integral, base seca: 0.0 y 100.0 % y dos períodos de evaluación (28 días cada uno), con previa adaptación de 21 días. Las dietas fueron isoenergéticas (10.88 MJ EM kg<sup>-1</sup> MS) e isoproteicas (12.0 % PB). El ensilado presentó buenas características organolépticas. No hubo efecto del ensilado ( $p > 0.05$ ) en el consumo de materia seca, proteína bruta y energía metabolizable (2.66 kg, 0.321 y 27.97 MJ 100 kg<sup>-1</sup> PV día<sup>-1</sup>). Tampoco se afectó la ganancia de peso diaria ( $p > 0.05$ ) y la conversión de la materia seca y energía metabolizable ( $p > 0.05$ ), con promedio de 1.84 kg animal<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>, 6.86 kg y 72.00 MJ kg<sup>-1</sup> de aumento de peso, respectivamente. La sustitución de 0.0 % mostró mejor conversión de la proteína bruta que la de 100.0 % (0.796 y 0.849 kg kg<sup>-1</sup> de aumento de peso) ( $p < 0.01$ ). El peso en canal caliente no se afectó por el ensilado, con promedio de 269.4 kg animal<sup>-1</sup> ( $p > 0.05$ ). El costo de alimentación del tratamiento con ensilado fue 21.4 % menor que con el grano de maíz molido. Se concluye que el ensilado de camote integral presenta viabilidad como alternativa competitiva para la sustitución del grano de maíz en dietas para engorde de bovinos machos.

Palabras clave: *ensilado, camote, nivel de sustitución, ganancia de peso, costo de alimentación*

El camote o boniato (*Ipomoea batata*) es un cultivo de gran producción de biomasa y adaptación a variedad de condiciones edafoclimáticas tropicales (Ruíz *et al.* 2012). Otra característica importante de este cultivo es que el tubérculo y el follaje se pueden utilizar en la alimentación de bovinos (Solís *et al.* 2019). En base seca, el tubérculo posee gran contenido de azúcares (8.3 - 31.6 %) y almidón (60.0 - 70.0 %), poco contenido de proteína bruta (PB, 3.5 - 5.0 %) (Aliaga y Nieto 2009 y DeBlas *et al.* 2010), mientras que el follaje muestra más contenido de PB (8.3 - 19.7 %), fibra cruda (8.7 - 32.9 %) y ceniza (8.6 - 20.2 %) (Sologuren 2008 y Vélez 2019). El ensilado de camote integral (tubérculo + follaje) presenta buenas características fermentativas y nutricionales (Alvarado 2015 y Solís *et al.* 2019), con niveles de PB de 4.2 a 9.2 % y digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) de 64.9 a 90.2 %, en dependencia de la relación tubérculo/follaje (Alvarado 2015 y Solís y Ruiloba 2017). En ganado de leche con alta producción, Quezada (2001) introdujo el ensilado de camote integral

in the feeding, without prove adverse effects on live weight, food intake and milk production. In growing male cattle, Solís (2011) achieved to substitute more than 90 % of the metabolizable energy (ME) provided by the ground granule corn( GKC), without affecting the live weight gain (LWG). When considering the nutritional and productive characteristics of the integral sweet potato silage, the objective of this study was to evaluate the substitution of the ground granule corn by ISPS in an finishing diet for male cattle.

### Materials and Methods

The study was carried out at the Centro Experimental El Ejido, from Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), at 25 m.o.s.l, anual average temperature of 27.4 °C, rainfall of 1203 mm year<sup>-1</sup>, relative humidity of 75 % and annual average solar radiation of 1188.5 watt m<sup>-2</sup>. The Tainung 66 variety was used, due to its favorable yield of fresh biomass (86 t ha<sup>-1</sup>, 53.0 % tuber and 47.0 % foliage), according to Batista (2006) reports. This variety was cultivated according to the methodology described by Ruíz *et al.* (2012) and it was harvested at 125d after sowing The harvested material was left in the field for 48 h to facilitate the pre-drying(Solís 2011). The tuber and the foliage were simultaneously introduce in a mechanic chopper for achieving an homogeneous integral material and chop size between 0.5 and 2.5 cm for the foliage and 0.5 and 1.5 cm for the tuber. The material was ensiled in a trench type silo without additives and it began to use at 30 days after its manufacture.

Through a completely random design and factorial arrangement 2 x 2 two substitution levels of the GKC by ISPS (CS), dry basis, in a fattening diet of male cattle: 0.0 and 100.0% (CS0 and CS100) and two evaluation periods (EP1 and EP2) were studied. The experimental diets were iso-protein and iso-energetic (table 1).

(ECI) en la alimentación, sin comprobar efectos adversos en el peso vivo, consumo de alimento y producción de leche. Con bovinos machos en crecimiento, Solís (2011) logró sustituir más del 90 % de la energía metabolizable (EM) aportada por el grano de maíz molido (GMM), sin afectar la ganancia de peso vivo (GPV). Al considerar las características nutricionales y productivas del ensilado de camote integral, el objetivo del estudio fue evaluar la sustitución del grano de maíz molido por ECI en una dieta para terminado de bovinos machos.

### 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 media anual de 27.4 °C, precipitación pluvial de 1203 mm año<sup>-1</sup>, humedad relativa de 75 % y radiación solar promedio anual de 1188.5 vatios m<sup>-2</sup>. Se utilizó la variedad Tainung 66, por su rendimiento favorable de biomasa fresca (86 t ha<sup>-1</sup>, 53.0 % tubérculo y 47.0 % follaje), según informes de Batista (2006). Esta variedad se cultivó según la metodología descrita por Ruíz *et al.* (2012) y se cosechó a los 125 d posteriores a la siembra. El material cosechado se dejó en campo durante 48 h para facilitar el presecado (Solís 2011). El tubérculo como el follaje se introdujeron simultáneamente en una picadora mecánica para lograr un material integral homogéneo y tamaño de picado entre 0.5 y 2.5 cm para el follaje y 0.5 y 1.5 cm para el tubérculo. El material se ensiló en un silo tipo trinchera, sin aditivos y se empezó a utilizar a los 30 d después de su confección.

Mediante un diseño completamente al azar y arreglo factorial 2 x 2 se estudiaron dos niveles de sustitución del GMM por ECI (SM), base seca, en una dieta para el engorde de bovinos machos: 0.0 y 100.0% (SM0 y SM100) y dos períodos de evaluación (PE1 y PE2). Las dietas experimentales fueron isoproteicas e isoenergéticas (tabla 1).

Table 1. Ingredients and chemical composition of the experimental diets (dry basis)

| Ingredients               | Chemical composition |      |        | Diet composition, % |       |
|---------------------------|----------------------|------|--------|---------------------|-------|
|                           | CP, %                | ME*  | NDF, % | CS0                 | CS100 |
| GKC <sup>1</sup>          | 9.5                  | 13.0 | 9.8    | 50.2                | 0.0   |
| Swazi <sup>1</sup> hay    | 4.5                  | 7.5  | 72.0   | 29.0                | 18.2  |
| Soybean <sup>1</sup> cake | 44.0                 | 11.7 | 10.3   | 10.5                | 10.5  |
| Coquito <sup>2</sup> cake | 15.0                 | 12.1 | 66.8   | 9.5                 | 19.7  |
| ISPS <sup>3</sup>         | 5.5                  | 10.9 | 22.0   | 0.0                 | 50.2  |
| Urea                      | 270.0                | 0.0  | 0.0    | 0.0                 | 0.6   |
| Mineral salt              | 0.0                  | 0.0  |        | 0.8                 | 0.8   |
| Total                     |                      |      |        | 100.0               | 100.0 |
| CP, %                     |                      |      |        | 12.0                | 12.0  |
| ME*                       |                      |      |        | 10.9                | 10.9  |
| NDF, %                    |                      |      |        | 33.20               | 38.40 |

ME: metabolizable energy, MJ kg DM1; NDF: neutral detergent fiber  
<sup>1</sup>NRC (1996), <sup>2</sup>Vargas and Zumbado (2003), <sup>3</sup>Solís and Ruiloba (2017)

A mealy corn, ground at 2.0 - 3.0 mm particle size was used. In order to balance the CP and ME levels in the diets, coquito cake and urea was included. The coquito cake is a byproduct from the mechanic extraction of the fruit oil of the African palm (*Elaeis guineensis*).

According to each treatment, the dry supplement base on GKC, soybean cake, coquito cake, urea and mineral salt was prepared. In CS0, the supplement was only offered in the feeder, while in the CS100 it was mixed with ISPS. In both treatments, the hay was offered whole in hanging feeders. It was included 5.0 % additional to the quantity corresponding to the ration to compensate the waste on the floor. The complete ration was offered at a rate of 3.0 and 6.0 kg fresh (2.70 kg DM) 100 kg LW d<sup>-1</sup> for CS0 and CS100 in equal parts, twice a day (8:00 a.m. and 2:00 p.m.) and water *ad libitum*.

A total of five male crossing animals Brahman-Brown Swiss per treatment were used, with weigh and average age at the start of the adaptation period of 386.8 ( $\pm$  24.0) kg and 17.0 months of age. They were management in their growing and developing stages under adequate feeding conditions in grazing. Initially, the animals received treatments against endoparasite and ectoparasite. Each group of animals was allocated in a 30 m<sup>2</sup> covered pen. The study lasted 77d and included an adaptation period of 21 d and two evaluation periods of 28 d each (EP1 and EP2). At the beginning of the study and at the end of each period the animals were weighed in fasting, at 8:00 a.m. In the adaptation period, the amount of offered food was periodically increased until get to the established maximum level and in the evaluation periods was fitted every 14 d in function of the LW and the established intake level. In the first evaluation period, the LW was defined from the LWG estimate in accordance with the NRC (1996), and in the second one based on the weight gain obtained in the first. The food intake was daily recorded per group, according to the amount offered and rejected. Every 14 d, the average intake per animal was calculated. In addition, samples from the diets ingredients for the DM and CP determination were taken.

When finish the second evaluation period (EP2) and immediately after determine the final weight, the animals were taken to the slaughterhouse, where they were individually weighed when enter. Here they stay in resting and without food during 8h until their slaughter, moment in which the individual weight of the hot carcass was taken. The evaluation indicators included LWG, intake of DM, (DMI), CP, (CPI) and ME (MEI), DM conversion (DMC), CP (CPC) and ME (MEC), yield in hot carcass (YHC) and intake ration cost (IRC). The intake ration cost only included the ingredients cost. For the ground granule corn and integral sweet potato silage, was of \$0.338 and 0.166/kg MS (American dollar, \$).

Se utilizó maíz, tipo harinoso, molido a 2.0 - 3.0 mm de tamaño de partícula. Para balancear los niveles de PB y EM en las dietas se incluyó torta de coquito y urea. La torta de coquito es un subproducto de la extracción mecánica del aceite del fruto de la palma africana (*Elaeis guineensis*).

Según cada tratamiento, se preparó el suplemento seco basado en GMM, torta de soya, torta de coquito, urea y sal mineral. En SM0, el suplemento se ofreció solo en el comedero, mientras que en SM100 se mezcló con ECI. En ambos tratamientos, el heno se ofreció entero en comederos colgantes. Se incluyó 5.0 % adicional a la cantidad correspondiente a la ración para compensar el desperdicio en el piso. La ración completa se ofreció a razón de 3.0 y 6.0 kg fresco (2.70 kg MS) 100 kg PV d<sup>-1</sup> para SM0 y SM100 en partes iguales, dos veces al día (8:00 a.m. y 2:00 p.m.) y agua a libre consumo.

Se utilizaron cinco animales machos cruzados Brahman-Pardo Suizo por tratamiento, con peso y edad promedio al inicio del período de adaptación de 386.8 ( $\pm$  24.0) kg y 17.0 meses de edad. Se manejaron en sus etapas de crecimiento y desarrollo en adecuadas condiciones de alimentación en pastoreo. Inicialmente, los animales recibieron tratamiento contra endoparásitos y ectoparásitos. Cada grupo de animales se confinó en un corral techado de 30 m<sup>2</sup>. El estudio duró 77 d e incluyó un período de adaptación de 21 d y dos períodos de evaluación de 28 d cada uno (PE1 y PE2). Al inicio del estudio y al final de cada período, los animales se pesaron en ayuna, a las 8:00 a.m. En el período de adaptación, la cantidad de alimento ofrecida se incrementó periódicamente hasta llegar al nivel máximo establecido y en los períodos de evaluación se ajustó cada 14 d en función del PV y el nivel de consumo establecido. En el primer período de evaluación, el PV se definió a partir de la GPV estimada de acuerdo con NRC (1996), y en el segundo basado en la ganancia de peso obtenida en el primero. El consumo de alimento se registró diariamente por grupo, según la cantidad ofrecida y rechazada. Cada 14 d, se calculó el consumo promedio por animal. Además, se tomaron muestras de los ingredientes de las dietas para la determinación de MS y PB.

Al finalizar el segundo período de evaluación (PE2) e inmediatamente después de determinar el peso final, los animales se transportaron a la planta de sacrificio, donde al entrar se pesaron individualmente. Aquí permanecieron en reposo y sin alimento durante 8 h hasta su sacrificio, momento en el que se tomó el peso individual de la canal caliente. Los indicadores de evaluación incluyeron GPV, consumo de MS (CMS), PB (CPB) y EM (CEM), conversión de la MS (CO ms), PB (COpb) y EM (COem), rendimiento en canal caliente (RCC) y costo de la ración consumida (CRC). El costo de la ración consumida solo incluyó el costo de los ingredientes. Para el grano de maíz molido y ensilaje de camote integral, fue de \$0.338 y 0.166/kg MS (dólar americano, \$).

The statistical analysis included the normality test (Shapiro and Wilk 1965) and analysis of variance. In the case of the LWG, the initial live weight in the evaluation period as covariate was used. The analysis of variance of LWG included the effect of the independent variables CS and EP, the effect of the randomized variable nested animal in CS and the interaction CS\*EP. For the DMI, CPI and MEI, the analysis only included CS and. The data were analyzed with the statistical program SAS (SAS 2010).

### Results and Discussion

The sweet potato silage showed light brown color and typical smell of a lactic fermentation, characteristics similar to those obtained by Solís (2011) when ensiling integral sweet potato with the silo-press technique. These characteristics showed enough availability of carbohydrates easily fermentative for an adequate fermentation activity in the ensilage process.

The variables of DM, CPAMD ME intake showed normal distribution ( $Pr > 0.0500$ ). The DMI was not affected by the interaction CS\*EP ( $p = 0.7472$ ), CS ( $p = 0.6998$ ) and EP ( $p = 0.5678$ ). Table 2 show the DMI values in function of the CS and EP, with general average of 2.66 kg DM 100 kg LW d<sup>-1</sup>, very similar to the established feeding level, practically without rejection. The average intake of GKC and ISPS was similar between treatments, with values of 1.31 and 1.36 kg DM 100 kg LW d<sup>-1</sup> for CS<sub>0</sub> and CS<sub>100</sub>. With a control diet, based on granule corn, Solís and Ruiloba (2017) informed that the inclusion of ISPS up to 60 %, dry basis, did not affected the DMI of growing male cattle (2.64 kg DM 100 kg<sup>-1</sup> LW d<sup>-1</sup>, as average), while with 73 % of ISPS, the DMI decreased 15.6 %, due to the rejection of silage, constituted in a large extent by its forage fraction ( stems). When considering an average starch content for the GKC and ISPS (Corcuera *et al.* 2016 and DeBlas *et al.* 2019) and 44.3 % (Solís 2020), it was estimated a starch intake of 0.87 and 0.60 kg 100 kg<sup>-1</sup> LW d<sup>-1</sup>, which corresponded to 33.0 and 22.4 % of intake DM for CS<sub>0</sub> and CS<sub>100</sub>, respectively.

The CPI and MEI were not affected by the interaction and the independent variables studied ( $p \geq 0.1607$ ). The average values of CPI and MEI per treatments are show in tale 2, with general average of 0.321 kg and 28.10 MJ 100 kg<sup>-1</sup> LW d<sup>-1</sup>, respectively. Based on these

Los análisis estadísticos incluyeron la prueba de normalidad (Shapiro y Wilk 1965) y análisis de varianza. En el caso de la GPV, se utilizó el peso vivo inicial en la fase de evaluación como covariable. El análisis de varianza de la GPV incluyó el efecto de las variables independientes SM y PE, el efecto de la variable ramdomizada animal anidado en SM y la interacción SM\*PE. Para el CMS, CPB y CEM, el análisis solo incluyó SM y PE. Los datos se analizaron con el programa estadístico SAS (SAS 2010).

### Resultados y Discusión

El ensilado de camote mostró un color marrón claro y olor típico de una fermentación láctica, características similares a las obtenidas por Solís (2011) al ensilar camote integral con la técnica de silo prensa. Estas características indican suficiente disponibilidad de carbohidratos fácilmente fermentables para una adecuada actividad fermentativa en el proceso de ensilaje.

Las variables de consumo de MS, PB y EM presentaron distribución normal ( $Pr > 0.0500$ ). El CMS no se afectó por la interacción SM\*PE ( $p = 0.7472$ ), SM ( $p = 0.6998$ ) y PE ( $p = 0.5678$ ). En la tabla 2 se muestran los valores de CMS en función de SM y PE, con promedio general de 2.66 kg MS 100 kg PV d<sup>-1</sup>, muy similar al nivel de alimentación establecido, prácticamente sin rechazo. El consumo promedio de GMM y ECI fue similar entre tratamientos, con valores de 1.31 y 1.36 kg MS 100 kg PV d<sup>-1</sup> para SM<sub>0</sub> y SM<sub>100</sub>. Con una dieta control, basada en 55 % de grano de maíz, Solís y Ruiloba (2017) informaron que la inclusión de ECI hasta 60 %, base seca, no afectó el CMS de bovinos machos en crecimiento (2.64 kg MS 100 kg<sup>-1</sup> PV d<sup>-1</sup>, como promedio), mientras que con 73 % de ECI, el CMS disminuyó 15.6 %, debido al rechazo de ensilado, constituido en gran parte por su fracción forrajera (tallos). Al considerar un contenido promedio de almidón para el GMM y ECI de 66.1 % (Corcuera *et al.* 2016 y DeBlas *et al.* 2019) y 44.3 % (Solís 2020), se estimó un consumo de almidón de 0.87 y 0.60 kg 100 kg<sup>-1</sup> PV d<sup>-1</sup>, lo que correspondió a 33.0 y 22.4 % de MS consumida para SM<sub>0</sub> y SM<sub>100</sub>, respectivamente.

El CPB y CEM tampoco se afectaron por la interacción y variables independientes estudiadas ( $p \geq 0.1607$ ). Los valores promedio de CPB y CEM por tratamiento se indican en la tabla 2, con promedio general

Table 2. Intake of dry matter, crude protein and metabolizable energy per treatment

| Treatment         | DM intake, kg 100 kg <sup>-1</sup> LW d <sup>-1</sup> |      |         | CP intake, kg 100 kg <sup>-1</sup> LW d <sup>-1</sup> |       |         | ME intake, MJ 100 kg <sup>-1</sup> LW d <sup>-1</sup> |       |         |
|-------------------|---|------|---------|---|-------|---------|---|-------|---------|
|                   | Evaluation period                                     |      | Average | Evaluation period                                     |       | Average | Evaluation period                                     |       | Average |
|                   | 1   | 2    |         | 1   | 2     |         | 1   | 2     |         |
| CS <sub>0</sub>   | 2.63  | 2.65 | 2.64    | 0.313   | 0.316 | 0.315   | 28.18   | 28.89 | 28.55   |
| CS <sub>100</sub> | 2.64  | 2.71 | 2.68    | 0.324   | 0.330 | 0.327   | 27.30   | 27.88 | 27.59   |
| Average           | 2.64  | 2.68 |         | 0.318   | 0.323 |         | 27.72   | 28.39 |         |

p: probability

SE: standard error 0.003, 0.004 and 0.006 for DMI, CPI and MEI respectively.

intakes, the intake DM showed CP content of 11.93 and 12.20 % and the ME of 10.80 and 10.30 MJ kg<sup>-1</sup> DM for CS0 and CS100, respectively. According to NRC (1996) recommendations for animals with weight and LWG similar to this study, the CPI was higher in 16.4 %, performance that also depends on the quality of the protein sources used. The excessive CP intake led to an additional energetic expense, which can affect the animal response (Di Marco 2006). Whereas, the MEI was equal to that indicate by the NRC (1996). In terms of the MEI, the GKC and ISPS contribute 16.75 and 14.65 MJ 100 kg LW d<sup>-1</sup>, which corresponded to 59.0 and 52.2 % of the ME total intake that showed CS0 and CS100, respectively, although the LWG did not affected. The ISPS only replace 88.5 % of the ME provided by the GKC. The difference was covered with the coquito cake, with contribution of 10.2 and 23.5 % of MEI of CS0 and CS100, respectively. On the fat content of coquito cake of 13.2% , dry basis (Vargas and Zumbado 2003) in the diet CS0 and CS100, this one represented 1.25% and 2.60 of the intake DM. However, when considering the true contribution of the GKC, the fat level in the diet CS0 increased approximately 2.75%. In both diets, these levels did not has negative effects on the digestibility of DM and the fiber, due to there were lower to the 4.0 % showed by Martínez *et al.* (2011) as maximum level for do not affect this indicators.

In the adaptation period, the average live weight gain (LWG) was similar between treatments: 1.364 kg animal<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>. In the evaluation periods, this variable was normal (Pr > 0.0500) and was not affected by the covariable LW (p = 0.4290), and neither by the interaction CS\*EP (p = 0.2580) and variables nested animal in CS (p=0.4192), CS (p=0.2295) and EP (p = 0.4600), with general average of 1.836 kg animal d<sup>-1</sup>. With diets similar to those of this study Solís and Ruiloba (2017) did not obtained differences when substituting the ME of GKC by the one of the sweet potato silage in growing male cattle, although the average LWG was lower (1.400 kg animal d<sup>-1</sup>). The LWG obtained with the diet based on GKC (table3) was similar to that informed with diets rich in granules for cattle finishing (Buckner *et al.* 2007, Arelovich *et al.* 2012 and Vittone *et al.* 2015).

de 0.321 kg y 28.10 MJ 100 kg<sup>-1</sup> PV d<sup>-1</sup>, respectivamente. Sobre la base de estos consumos, la MS consumida mostró contenido de PB de 11.93 y 12.20 % y la EM de 10.80 y 10.30 MJ kg<sup>-1</sup> MS para SM0 y SM100, respectivamente. De acuerdo con las recomendaciones de NRC (1996) para animales con peso y GPV similares a los del presente estudio, el CPB resultó superior en 16.4 %, comportamiento que también depende de la calidad de las fuentes proteicas utilizadas. El consumo excesivo de PB conlleva a un gasto energético adicional, situación que puede afectar la respuesta animal (Di Marco 2006). En cambio, el CEM resultó igual a lo indicado por NRC (1996). En términos del CEM, la GMM y ECI aportaron 16.75 y 14.65 MJ 100 kg PV d<sup>-1</sup>, lo que correspondió al 59.0 y 52.2 % del consumo total de EM que presentó SM0 y SM100, respectivamente, aunque la GPV no se afectó. El ECI solo reemplazó 88.5 % de la EM aportada por la GMM. La diferencia se cubrió con la torta de coquito, con contribución de 10.2 y 23.5 % del CEM de SM0 y SM100, respectivamente. Sobre un contenido de grasa de la torta de coquito de 13.2 %, base seca (Vargas y Zumbado 2003) en la dieta SM0 y SM100, esta representó 1.25 y 2.60 % de la MS consumida. Sin embargo, al considerar el aporte de grasa verdadera del GMM, el nivel de grasa en la dieta SM0 aumentó aproximadamente 2.75 %. En ambas dietas, estos niveles no presentaron efectos negativos en la digestibilidad de la MS y de la fibra, debido a que fueron inferiores al 4.0 % indicado por Martínez *et al.* (2011) como nivel máximo para no afectar a estos indicadores.

En el período de adaptación, la ganancia de peso vivo (GPV) promedio fue muy similar entre tratamientos: 1.364 kg animal<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>. En los períodos de evaluación, esta variable resultó normal (Pr > 0.0500) y no se afectó por la covariable PV (p = 0.4290), tampoco por la interacción SM\*PE (p = 0.2580) y variables animal anidado en SM (p=0.4192), SM (p=0.2295) y PE (p = 0.4600), con promedio general de 1.836 kg animal d<sup>-1</sup>. Con dietas similares a las del presente estudio, Solís y Ruiloba (2017) no obtuvieron diferencias al sustituir la EM del GMM por la del ensilado de camote en bovinos machos en crecimiento, aunque la GPV promedio fue menor (1.400 kg animal d<sup>-1</sup>). La GPV obtenida con la dieta a base GMM (tabla 3) resultó similar a la informada con dietas ricas en granos para finalización de bovinos (Buckner *et al.* 2007, Arelovich *et al.* 2012 y Vittone *et al.* 2015).

Table 3. Live weight and live weight gain per treatment

| Substitution level<br>of corn | LW, kg animal <sup>-1</sup> |                  | LWG, kg animal <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> |        |         |
|-------------------------------|-----------------------------|------------------|--|--------|---------|
|                               | Initial                     | Final            | Evaluation period                            |        | CS      |
|                               | LWi <sup>1</sup>            | LWf <sup>2</sup> | EP1  | EP2    | Average |
| CS0 (control)                 | 414.7                       | 519.6            | 1.860  | 1.884  | 1.876   |
| CS100 (diet with ISPS)        | 415.3                       | 515.3            | 1.850  | 1.740  | 1.795   |
| Average                       | 415.0                       | 517.4            | 1.855  | 1.812  |         |
| p                             | 0.9700                      | 0.7502           | 0.4600                                       | 0.2295 |         |

<sup>1</sup>Live weight at starting the EP1, <sup>2</sup>Live weight at finishing the EP2; SE: standard error, 6.900, 6.540 and 0.050 for LWi, LWf and LWG, respectively.

The interaction CS\*EP was not significant for the DM conversions ( $p = 0.7328$ ), CP ( $p = 0.4143$ ) and ME ( $p = 0.1600$ ). The conversion of DM (DMCO) and metabolizable energy (MECO) (table 4) were not affected by silage level and experimental period (table 4), with average of 6.85 kg and 72.01 MJ kg<sup>-1</sup> of LW increase, respectively. In contrast, the CP has better conversion in the corn treatment (table 4), difference that could be related with the urea, although this one only contributed approximately 13.5 % of the ration CP, a very lower level to the maximum of 30.0 % recommended. With similar diets, Solís (2011) did not obtained effect of the ISPS level on these conversions, with average values of 6.18, 0.790 and 16.48 for DMCO, CPCO and MECO, respectively.

La interacción SM\*PE no resultó significativa para las conversiones de MS ( $p = 0.7328$ ), PB ( $p = 0.4143$ ) y EM ( $p = 0.1600$ ). La conversión de la MS (COms) y energía metabolizable (COem) (tabla 4) no resultaron afectadas por el nivel de ensilado y el período experimental (tabla 4), con promedio de 6.85 kg y 72.01 MJ kg<sup>-1</sup> de aumento de PV, respectivamente. En cambio, la PB presentó mejor conversión en el tratamiento con maíz (tabla 4), diferencia que pudo estar relacionada con la urea, aunque esta solo aportó aproximadamente 13.5 % de la PB de la ración, nivel muy inferior al máximo de 30.0 % recomendado. Con dietas similares, Solís (2011) no obtuvo efecto del nivel de ECI en estas conversiones, con valores promedio de 6.18, 0.790 y 16.48 para COms, COpb y COem, respectivamente.

Table 4. Conversion of the dry matter, crude protein and metabolizable energy of the experimental diets

| Treatment | DM conversion (DMCO),<br>kg 100 kg <sup>-1</sup> LW d <sup>-1</sup> |        |         | CP conversion (CPCO),<br>kg 100 kg <sup>-1</sup> LW d <sup>-1</sup> |        |         | ME conversion (MECO),<br>MJ 100 kg <sup>-1</sup> LW d <sup>-1</sup> |       |         |
|-----------|---|--------|---------|---|--------|---------|---|-------|---------|
|           | Evaluation period   |        | Average | Evaluation period   |        | Average | Evaluation period   |       | Average |
|           | 1   | 2      |         | 1   | 2      |         | 1   | 2     |         |
| CS0       | 5.98  | 7.34   | 6.66    | 0.709   | 0.883  | 0.796   | 63.89   | 80.80 | 72.34   |
| CS100     | 6.28  | 7.81   | 7.04    | 0.771   | 0.927  | 0.849   | 64.94   | 78.50 | 71.72   |
| Average   | 6.13  | 7.58   |         | 0.740   | 0.905  |         | 64.39   | 79.63 |         |
| p         | 0.0016  | 0.1214 | 0.0001  | 0.0066  | 0.0001 | 0.5313  |   |       |         |

p: probability; SE: standard error, 0.009, 0.005 and 0.125 for DMI, CPI and MEI, respectively

The weight of hot carcass was not affected for the CS ( $p = 0.6921$ ) with average of 272.4 and 266.5 kg animal<sup>-1</sup> for zero level and 100 % of substitution, respectively, result that validate the effect recorded when using ISPS in the weight and gain of LW at finishing.

In energetic terms, ISPS contribute much of the ME of the diet, mainly starch, although sugars too, despite in the silage process part of the sugars are fermented (Fondevila 2015). However, the sweet potato was ensiled in relatively big pieces (0.5 - 1.5 cm), which could limit the fermentative action of the bacteria on these compounds, favorable effect to the energetic contribution of ISPS of the diet. In the silage, sugars and starches were mainly providing by the tuber.

Under *in vitro* conditions, 1.0 mm particle size and 24h of incubation, Solís (2020) obtained average degradabilities for the starch of the integral sweet potato mixture, pre-drying and ensiled of 86.4 and 82.9 %, respectively, difference attributed to the silage process. LI Jian-nan *et al.*, (2014) reported that the silage process decreased the *in situ* ruminal degradability of the starch from the silage sweet potato tuber of 83.8 to 54.5 % at 24h of incubation. This performance could be attributed to that during the silage process the fermented starch mainly corresponded to the degradable fraction, which proportionally increased the resistant fraction. Englyst *et al.* (1999) showed that the most of starches have a fraction quickly digestible, slowly digestible

El peso en canal caliente no se afectó por el SM ( $p = 0.6921$ ) con promedio de 272.4 y 266.5 kg animal<sup>-1</sup> para el nivel cero y 100 % de sustitución, respectivamente, resultado que valida el efecto que se registró al utilizar ECI en el peso y ganancia de PV al final.

En términos energéticos, ECI aportó gran parte de la EM de la dieta, principalmente almidón, aunque también azúcares, a pesar que en el proceso de ensilaje parte de los azúcares se fermentan (Fondevila 2015). Sin embargo, el camote se ensiló en trozos relativamente grandes (0.5 - 1.5 cm), lo que pudo limitar la acción fermentativa de las bacterias en estos componentes, efecto favorable al aporte energético de ECI a la dieta. En el ensilado, los azúcares y almidones los aportó principalmente el tubérculo.

En condiciones *in vitro*, tamaño de partícula de 1.0 mm y 24 h de incubación, Solís (2020) obtuvo degradabilidades promedio para el almidón de la mezcla de camote integral presecada y ensilada de 86.4 y 82.9 %, respectivamente, diferencia atribuida al proceso de ensilado. LI Jian-nan *et al.*, (2014) informaron que el proceso de ensilaje disminuyó la degradabilidad ruminal *in situ* del almidón del tubérculo de camote ensilado de 83.8 a 54.5 % a las 24 h de incubación. Este comportamiento se puede atribuir a que durante el proceso de ensilaje el almidón fermentado correspondió principalmente a la fracción degradable, lo que aumentó en forma proporcional la fracción resistente. Englyst *et al.* (1999) indicaron que la mayoría de los almidones contienen una fracción rápidamente digerible, una lentamente digerible y otra

and other resistant. Solís (2020) also refers that at 24h of *in vitro* incubation the starch of GKC and ISPS was degraded 75.0 and 67.0 %, while at 24 h of incubation 90.1 and 82.9 %, with degradability rate of 2.48 and 2.01 %/h, respectively. At a rate of passage of 0.06 %/h was reported for the starch of the granule corn that the average effective ruminal degradability was of 61.9 % (Offner *et al.* 2003, Jiang 2005 and Calsamiglia 2016) and for the sweet potato tuber of 54.9 % (Jiang 2005). These results not only show low ruminal fermentation level of the ISPS starch, also make possible high bypass level to the low parts of the gastrointestinal tract. Other authors (Dreher *et al.* 1984, Offner *et al.* 2003, Tecson 2007 and Calsamiglia 2016) informed ruminal degradability values for the corn starch higher to that indicate for the sweet potato tuber.

The starch degradation depends on its type or nature, but also of own physiological aspects and of external components which surround the granule (Giuberti *et al.* 2014 y Faccio *et al.* 2020). If it is compare with the corn starch, the granule of the sweet potato starch have high content of CP and ash, low fiber content and equal content of lipids and N free extract (Hernández *et al.* 2008 and Alvani *et al.* 2011). Starches can form insoluble complex between phospholipids and amylose or the amylopectin ramified chain, with reduction effect of the enzymatic hydrolysis of this carbohydrates, as has been informed with several cereals (Crowe *et al.* 2000 and Singh *et al.* 2010). During the silage process, the starches has enzymatic hydrolysis, effect that in the sweet potato tuber can mainly occur on the amylopectin (Knowles *et al.* 2012), with increase in the amylose/pectin proportion, which decreased the starch degradability (Bednar *et al.* 2001 and Brewer *et al.* 2012). Solís (2020) results showed that the silage process produce 11.0 % of starch loss in the sweet potato integral mixture, via enzymatic hydrolysis and effluents. It is also point out that the amylopectin have higher molecular weight and superficial area than the amylose (Singh *et al.* 2010 and Tetlow and Bertoft 2020), characteristic that make it more sensitive to amylolytic attack. The hydration is a characteristic of the starch granule, which increase with temperature (Hernández *et al.* 2008). In the silage, this process can occur with the granule breaking, situation that will favor the starch hydrolysis and sugars release for the fermentation.

The morphological aspect of the granule can also affect the starch hydrolysis. The granule of the starch corn has polygonal shape and those of the sweet potato, spherical shape (Hernández *et al.* 2008). This allow higher superficial area and possibility of amylolytic attack to the corn starch. Regardless the size, the granule of corn starch and sweet potato has dimensions of 15.0 and 12.4 microns, respectively (Hernández *et al.* 2008). As higher size, lower specific area per occupied

resistente. Solís (2020) también refirió que a las 12 h de incubación *in vitro* el almidón del GMM y ECI se degradó 75.0 y 67.0 %, mientras que a las 24 h de incubación 90.1 y 82.9 %, con tasa de degradabilidad de 2.48 y 2.01 %/h, respectivamente. A una tasa de pasaje de 0.06 %/h se informó para el almidón del grano de maíz que la degradabilidad ruminal efectiva promedio fue de 61.9 % (Offner *et al.* 2003, Jiang 2005 y Calsamiglia 2016) y para el tubérculo de camote de 54.9 % (Jiang 2005). Estos resultados no solo indican menor nivel de fermentación ruminal del almidón de ECI, también posibilitan mayor nivel de sobrepaso a las partes bajas del tracto gastrointestinal. Otros autores (Dreher *et al.* 1984, Offner *et al.* 2003, Tecson 2007 y Calsamiglia 2016) informaron valores de degradabilidad ruminal para el almidón del maíz superiores al indicado para el tubérculo de camote.

La degradación del almidón depende de su tipo o naturaleza, pero también de aspectos físico-químicos propios y de componentes externos que rodean el gránulo (Giuberti *et al.* 2014 y Faccio *et al.* 2020). Si se compara con el almidón del maíz, el gránulo de almidón del camote presenta mayor contenido de PB y ceniza, menor contenido de fibra e igual contenido de lípidos y extracto libre de N (Hernández *et al.* 2008 y Alvani *et al.* 2011). Los almidones pueden formar complejos insolubles entre fosfolípidos y la amilosa o las cadenas ramificadas de amilopectina, con efecto de reducción de la hidrólisis enzimática de este carbohidrato, tal como se ha informado con varios cereales (Crowe *et al.* 2000 y Singh *et al.* 2010). Durante el proceso de ensilaje, los almidones experimentan hidrólisis enzimática, efecto que en el tubérculo de camote puede ocurrir principalmente sobre la amilopectina (Knowles *et al.* 2012), con aumento en la proporción amilosa/amilopectina, situación que disminuye la degradabilidad del almidón (Bednar *et al.* 2001 y Brewer *et al.* 2012). Resultados de Solís (2020) indicaron que el proceso de ensilaje produjo 11.0 % de pérdida de almidón en la mezcla integral de camote, vía hidrólisis enzimática y efluentes. También se ha señalado que la amilopectina tiene mayor peso molecular y área superficial que la amilosa (Singh *et al.* 2010 y Tetlow y Bertoft 2020), característica que la hace más susceptible al ataque amilolítico. La hidratación es una característica propia del gránulo de almidón, la que se incrementa con la temperatura (Hernández *et al.* 2008). En el ensilaje, este proceso puede ocurrir con ruptura del gránulo, situación que favorecería la hidrólisis del almidón y liberación de azúcares para la fermentación.

El aspecto morfológico del gránulo también puede afectar la hidrólisis del almidón. El gránulo de almidón del maíz tiene forma poligonal y el del camote, forma esférica (Hernández *et al.* 2008). Esto permite mayor área superficial y posibilidad de ataque amilolítico al almidón de maíz. Con respecto al tamaño, el gránulo de almidón del maíz y camote tienen dimensiones de 15.0 y 12.4 micras, respectivamente (Hernández *et al.* 2008). A mayor tamaño, menor área específica por volumen ocupado,

volume, which showed that the sweet potato granule has higher superficial area and sensitive to amylolytic attack. The characteristics of the granule surface can also affect the enzymatic hydrolysis level of the starch. The corn granule has small holes or pores that allow the amylose inlet, facilitating the starch hydrolysis (Dreher *et al.* 1984). Whereas, in plain surfaces, like the granule of the potato (Singh *et al.* 2010), the enzyme has to break it or eroded for penetrate its inside, situation which can be similar in the sweet potato and other tubers. This can cause great resistance to the enzymatic hydrolysis.

It is known that in the corn, the starch is surrounded by the protein matrix which affects or retard their enzymatic hydrolysis (Bednar *et al.* 2001 and Gómez *et al.* 2016), obstacle that the sweet potato did not has. It has been showed a reverse relation between the amylose-amylopectin proportion and starch degradability (Bednar *et al.* 2001 and Brewer *et al.* 2012), product of high amount of hydrogen bonds that the amylose make, situation which made it more compact with less surface per molecular area (Brewer *et al.* 2012) and more resistance to enzymatic action. As average, the amylose-amylopectin relation of the corn is higher than those of the sweet potato, with values of 27.4:72.6 and 22.1:77.9 %, respectively (Hernández *et al.* 2008, Gómez *et al.* 2016 and Manzanillas 2018). However, there is not information of this proportion for the starch of the sweet potato silage, process that can increase it due to the starch loss, possibly as consequence of high enzymatic hydrolysis of the amylopectin. Another aspect to be considered is the possibly presence of amylose inhibitors, as has been informed in beans, rye, wheat and oat (Singh *et al.* 2010), although there is not information for the sweet potato.

There are many factors which can affect the starch hydrolysis, ones in favor of corn, but others in favor of sweet potato. However, results available *in vitro* and *in situ* show low ruminal degradability for sweet potato starch, situation that can represent low energetic availability for the microbial activity, but high availability at intestinal level as glucose. Other aspect in favor of a diet with ISPS is that a lower energetic contribution of starch at ruminal level could be compensating by the sugars in the tuber. It is also to consider that the silage approximately contribute 30.0 % of NDF of the diet, which contribute to the ruminal energetic production. This is maintain in *in vivo* and *in vitro* studies (Solís 2011 and Solís *et al.* 2021), where there were obtained degradabilities for the NDF of 64.0 % for a diet high in ISPS, similar to the one of this study, and 33.0 % for ISPS only, respectively.

The lower ruminal degradability of the starch could represent high flow of this one to the low parts of the gastrointestinal tract, but in absolute terms depends on the amount intake, degradability rate and ruminal passage.

lo que indica que el gránulo de camote tiene mayor área superficial y susceptibilidad al ataque amilolítico. Las características de la superficie del gránulo también pueden afectar el nivel de hidrólisis enzimática del almidón. El gránulo del maíz presenta pequeños agujeros o poros que permiten la entrada de la amilasa, facilitando la hidrólisis del almidón (Dreher *et al.* 1984). En cambio, en superficies lisas, como la del granulo de almidón de la papa (Singh *et al.* 2010), la enzima tiene que romperla o erosionarla para penetrar su interior, situación que puede ser similar en el camote y otros tubérculos. Esto puede implicar mayor resistencia a la hidrólisis enzimática.

Se conoce que en el maíz, el almidón está rodeado por la matriz proteica que afecta o retrasa su hidrólisis enzimática (Bednar *et al.* 2001 y Gómez *et al.* 2016), impedimento que no presenta el camote. Se ha indicado una relación inversa entre la proporción amilosa-amilopeptina y degradabilidad del almidón (Bednar *et al.* 2001 y Brewer *et al.* 2012), producto de mayor cantidad de enlaces de hidrógeno que forma la amilosa, situación que la hace más compacta, con menor superficie por área molecular (Brewer *et al.* 2012) y más resistencia a la acción enzimática. Como promedio, la relación amilosa-amilopeptina del maíz es mayor que la del camote, con valores de 27.4:72.6 y 22.1:77.9 %, respectivamente (Hernández *et al.* 2008, Gómez *et al.* 2016 y Manzanillas 2018). Sin embargo, no hay información de esta proporción para el almidón del camote ensilado, proceso que puede aumentarla debido a la pérdida de almidón, posiblemente como consecuencia de mayor hidrólisis enzimática de la amilopeptina. Otro aspecto a considerar es la posible presencia de inhibidores de amilasa, tal como se ha informado en frijoles, centeno, trigo y avena (Singh *et al.* 2010), aunque no hay información para el camote.

Son múltiples los factores que pueden afectar la hidrólisis del almidón, unos a favor del maíz, pero otros a favor del camote. Sin embargo, resultados disponibles *in vitro* e *in situ* indican menor degradabilidad ruminal para el almidón del camote, situación que puede representar menor disponibilidad energética para la actividad microbiana, pero mayor disponibilidad a nivel intestinal como glucosa. Otro aspecto a favor de la dieta con ECI es que un menor aporte energético del almidón a nivel ruminal se pudo compensar por los azúcares contenidos en el tubérculo. También hay que considerar que el ensilado aportó aproximadamente 30.0 % de la FDN de la dieta, que contribuyó a la producción energética ruminal. Esto se sustenta en estudios *in vivo* e *in vitro* (Solís 2011 y Solís *et al.* 2021), donde se obtuvieron degradabilidades para la FDN de 64.0 % para una dieta alta en ECI, similar a la del presente trabajo, y 33.0 % para el ECI solo, respectivamente.

La menor degradabilidad ruminal del almidón puede representar mayor flujo de este a las partes bajas del tracto gastrointestinal, pero en términos absolutos depende de la cantidad consumida, tasa de degradabilidad y pasaje ruminal. Con ECI también es posible que cierta cantidad de azúcares sea sobrepasante



With ISPS is possible that certain amount of sugars be bypass and reach the intestine. This carbohydrates are use more efficient intestinal way than ruminal (Owens *et al.* 1986), performance that favors the use of intake energy in the diet with ISPS.

Some of the qualities or characteristics stated in terms of sugars, starch and NDF explain the capacity of diets based on integral sweet potato silage to generate LW gains equals or similar to those reached with ground granule corn, as took place in this study and was previously informed with similar diets in developing beef cattle (Solís and Ruiloba 2017).

The intake ration cost (RC) was of 3.69 and 2.90 \$ animal<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> for CS0 and CS100, respectively, which show decrease of 21.4 %, in favor of the diet with silage. This economic result and the productive indicators analyzed show the viability of the integral sweet potato silage, as competitive alternative for the substitution of the granule corn in finishing diets of male cattle.

### Conclusions

The substitution of granule corn by integral sweet potato silage reduce the feeding cost, allow similar live weight gains, did not affect the intake and conversion of dry matter, metabolizable energy and of the weight in hot carcass.

#### Conflict of interest

The authors declare that there is not conflict of interest among them. .

#### Authors contribution

M. H. Ruiloba: Conceptualization, data curation, formal analysis, funding acquisition, methodology, project administration, resources, validation, writing -original draft, writing and review and editing of the last version.

J. Maure: Conceptualization, investigation, project administration, resources, supervision, writing, review and editing of the last version.

C. Solís: Formal analysis, funding acquisition, methodology, validation, writing-original draft, writing, review and editing of the last version.

y llegue al intestino. Estos carbohidratos se utilizan de forma más eficiente vía intestinal que ruminal (Owens *et al.* 1986), comportamiento que favorece la utilización de la energía consumida en la dieta con ECI.

Varios de los atributos o características planteadas en términos de azúcares, almidón y FDN explican la capacidad de dietas basadas en ensilado de camote integral para generar ganancias de PV iguales o similares a las que se logran con grano de maíz molido, tal como ocurrió en el presente estudio y se informó previamente con dietas similares en bovinos de carne en desarrollo (Solís y Ruiloba 2017).

El costo del alimento consumido (CRC) fue de 3.69 y 2.90 \$ animal<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> para SM0 y SM100, respectivamente, lo que representó disminución de 21.4 %, a favor de la dieta con ensilado. Este resultado económico y los indicadores productivos analizados demuestran la viabilidad del ensilado de camote integral, como alternativa competitiva para la sustitución del grano de maíz en dietas para el terminado de bovinos machos.

### Conclusiones

La sustitución del grano de maíz por ensilado de camote integral redujo el costo de alimentación, permitió ganancias de peso vivo similares, no afectó el consumo y conversión de la materia seca, energía metabolizable y del peso en canal caliente.

#### Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses entre ellos.

#### Contribución de los autores

M. H. Ruiloba: Conceptualización, curación de datos, análisis formal, adquisición de fondos, metodología, administración de proyectos, recursos, validación, redacción del borrador original, redacción y revisión y edición de última versión.

J. Maure: Conceptualización, investigación, administración de proyectos, recursos, supervisión, redacción, revisión y edición de última versión.

C. Solís: Análisis formal, adquisición de fondos, metodología, validación, redacción del borrador original, redacción, revisión y edición de última versión.

### References

- 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 UNALM, 70(2): 1–10, ISSN: 2519-7398. <https://dx.doi.org/10.21704/ac.v70i2.493>.
- Alvani, K., Qi, X., Tester, R. & Snape, C. 2011. "Physico-chemical properties of potato starches". Food Chemistry, 125(3): 958–965, ISSN: 1873-7072. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.09.088>.
- Alvarado, E. 2015. Evaluación del valor nutricional del ensilaje de residuos de la cosecha de camote (*Ipomoea batatas* (L)). Instituto Tecnológico de Costa Rica. Available: <http://bibliodigital.tec.ac.cr/handle/2238/6468>.
- Arelovich, H. M., Bravo, R., Martínez, M. F. & Amela, M. I. 2012. "Recría de bovinos de carne con dietas basadas en granos de maíz o avena pelletizados". Revista Argentina de Producción Animal, 32(2): 125–134, ISSN: 2314-324X.
- Batista, A. 2006. Evaluación agronómica de diferentes variedades de camote con tres densidades de siembra. Informe final de proyecto. Instituto de Investigación Agropecuaria (IDIAP), Gualaca, Chiriquí.
- Bednar, G., Patil, A., Murray, S., Grieshop, C., Merchen, N. & Fahey, G. 2001. "Nutrient metabolism: 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 model". *Journal of Nutrition*, 131(2): 276–286, ISSN: 1541-6100. <https://doi.org/10.1093/jn/131.2.276>.
- Brewer, L., Cai, L. & Shi, Y. 2012. "Mechanism and enzymatic contribution to *in vitro* test method of digestion for maize starches differing in amylose content". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(17): 4379–4387, ISSN: 1873-7072. <https://doi.org/10.1021/jf300393m>.
- Buckner, C., Erickson, G., Mader, T., Colgan, S., Karges, K. & Gibson, M. 2007. Optimum Levels of Dry Distillers Grains with Solubles for Finishing Beef Steers, Nebraska Beef Report. Nebraska. Available: <https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1067&context=animalscinbr>
- Calsamiglia, S. 2016. "Consideraciones sobre el uso de almidones en el racionamiento del vacuno lechero". *Frisona Española*, (210): 100–103, ISSN: 2310-2799.
- Corcuera, V., Salmoral, E., Pennisi, M., Kandus, M. & Salerno, J. 2016. "Análisis composicional cuanti-cualitativo de los macronutrientes del grano de híbridos de maíz con valor mejorado (VEC) desarrollados para la industria alimentaria argentina". *Revista de divulgación técnica agropecuaria, agroindustrial y ambiental / Facultad de Ciencias Agrarias UNLZ*, 3 (2) : 37-51, ISSN: 2451-7747.
- Crowe, T., Seligman, S. & Copeland, L. 2000. "Inhibition of enzymic digestion of amylose by free fatty acids *in vitro* contributes to resistant starch formation". *Journal of Nutrition*, 130(8): 2006–2008, ISSN: 1541-6100. <https://doi.org/10.1093/jn/130.8.2006>.
- 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. Cuarta Edición, FEDNA. Madrid, España. Available at: <http://www.fundacionfedna.org/node/370>.
- DeBlas, C., Mateos, G. & García, P. 2010. Patata dulce o batata. Ingredientes para piensos. Tercera Edición, FEDNA. Madrid, España. Available: [http://www.fundacionfedna.org/ingredientes\\_para\\_piensos/patata-dulce-o-batata](http://www.fundacionfedna.org/ingredientes_para_piensos/patata-dulce-o-batata).
- DiMarco, O. 2006. "Eficiencia de utilización del alimento en vacunos". *Revista Visión Rural*, 13(61). Available at: [http://www.produccion-animal.com.ar/informacion\\_tecnica/manejo\\_del\\_alimento/89-eficiencia\\_utilizacion\\_alimento.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/manejo_del_alimento/89-eficiencia_utilizacion_alimento.pdf).
- Dreher, M., Dreher, C., Berry, J. & Fleming, S. 1984. "Starch digestibility of foods: A nutritional perspective". *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 20(1): 47–71, ISSN: 1549-7852. <https://dx.doi.org/10.1080/10408398409527383>.
- Englyst, K., Englyst, H., Hudson, G., Cole, T. & Cummings, J. 1999. "Rapidly available glucose in foods: An *in vitro* measurement that reflects the glycemic response". *The American Journal of Clinical Nutrition*, 69(3): 448–454, ISSN: 1938-3207. <https://dx.doi.org/10.1093/ajcn/69.3.448>.
- Faccio, C., Guerrero, F., Pozo, C., Mibach, M., Kozloski, G., DeOliverira, L., Schmitt, E., Rabassa, V., Burkert, F., Nunez, M. & Cassal, C. 2020. "*In vitro* fermentation of diets containing sweet potato flour as a substitute for corn in diets for ruminants". *Ciência Rural*, Santa María, 50(8): e20181055, ISSN: 1678-4596. <https://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20181055>.
- Fondevila, M. 2015. La importancia de los azúcares en la alimentación de los rumiantes. in I jornada FEDNA-ANEMBE. Zaragoza, España, p. 38. Available: [http://www.vacunodeelite.es/wp-content/uploads/2016/05/La\\_importancia\\_de\\_los\\_azucres.pdf](http://www.vacunodeelite.es/wp-content/uploads/2016/05/La_importancia_de_los_azucres.pdf).
- Giuberti, G., Gallo, A., Masoero, F., Ferraretto, L., Hoffman, P. & Shaver, R. 2014. "Factors affecting starch utilization in large animal food production system: A review. *Starch/Starke*, 66(1-2): 72–90, ISSN:1521-379X. <https://dx.doi.org/10.1002/star.201300177>.
- Gómez, L., Posada, S. & Olivera, M. 2016. "Starch in ruminant diets: a review". *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 29(2): 77–90, ISSN: 2265-2958. <https://doi.org/10.17533/udea.rccp.v29n2a01>.
- Hernández, M., Torruco, J., Chel, L. & Betancur, D. 2008. "Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México". *Ciencia e Tecnología de Alimentos*, 28(3): 718–726, ISSN: 2236-6717.
- 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>
- Knowles, M., Pabón, M. & Carulla, J. 2012. "Use of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) and other starchy non-conventional sources in ruminant feeding". *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 25(3): 488–499, ISSN: 2265-2958.
- Kramer, C. 1956. "Extension of Multiple Range Tests to Group Means with Unequal Numbers of Replications". *Biometrics*, 12(3): 307–310, ISSN: 1541-0420. <https://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 Ensiling 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.
- Manzanillas, L. 2018. Evaluación de las propiedades fisicoquímicas y funcionales de féculas de tres variedades de camote (*Ipomoea batata*) para aplicaciones alimentarias. Universidad Técnica de Ambato. Available: [https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/28375/1/AL\\_680.pdf](https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/28375/1/AL_680.pdf).
- Martínez, A., Pérez, M., Pérez, L., Gómez, G. & Carrión, D. 2011. "Efecto de las fuentes de grasa sobre la digestión de la fibra en los rumiantes". *Revista Electrónica de Veterinaria*, 12(7): 1-22, ISSN: 1695-7504.
- NRC 1996. Nutrient Requirements of Beef Cattle. Seventh Re. Washington, D.C. National Academy of Sciences. Available: <http://nutrition.dld.go.th/nutrition/images/knowledge/beef-cattle.pdf>.
- Offner, A., Bach, A. & Sauvart, 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).
- Owens, F., Zinn, R. & Kim, Y. 1986. "Limits to starch digestion in the ruminant small intestine". *Journal of Animal Science*,

- 63(5): 1634–1648. <https://dx.doi.org/10.2527/jas1986.6351634x>.
- Quezada, E. 2001. Evaluación nutricional del ensilado de follaje y raíces de camote (*Ipomoea batata* (L.) Lam) en la alimentación de vacas lecheras. M.Sc. Thesis. UNALM.
- Ruíz, E., Aguilera, V. & Batista, A. 2012. Manual técnico para el cultivo de camote (*Ipomoea batatas*. L.). Edited by IDIAP. Panamá. Available at: <http://www.idiap.gob.pa/?wpdmdl=1256>
- SAS 2010. User's guide: Statistics. Version 9.3. Cary, N.C., USA. SAS Institute.
- Shapiro, S. & Wilk, M. 1965. "An analysis of variance test for normality (complete samples)". *Biometrika*, 52(3–4): 591–611. <https://doi.org/10.1093/biomet/52.3-4.591>
- Singh, J., Dartois, A. & Kaur, L. 2010. "Starch digestibility in food matrix: a review". *Trends in Food Science and Technology*, 21(4): 168–180, ISSN: 0924-2244. <https://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2009.12.001>.
- Solís, C. 2011. Sustitución del maíz por ensilaje integral de camote (*Ipomoea batata* 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 batata*, L.) como sustituto energético del grano de maíz (*Zea mays*) en dietas para vacunos en crecimiento. Thesis DrC. Universidad Agraria de la Habana - Fructuoso Rodríguez. Mayabeque, Cuba.
- Solís, C., Rodríguez, R., Marrero, Y., Elías, A., Moreira, O., Sarduy, L. & Ruiloba, M. 2019. "Efecto del ensilaje en la composición química y fermentación ruminal *in vitro* de mezclas integrales de camote (*Ipomoea batata* L.)". *Livestock Research for Rural Development*, 31(art. 161). Available: <http://www.lrrd.org/lrrd31/10/carlos31161.html>.
- Solís, C., Rodríguez, R., Marrero, Y., Moreira, O., Medina, Y., González, N. & Ruiloba, M. 2021. "Efecto del ensilado integral de camote (*Ipomoea batata*) como sustituto del grano de maíz en la producción de gas *in vitro* y otros indicadores de la fermentación ruminal". *Livestock Research for Rural Development*, 33(2, Art. #20). Available: <http://www.lrrd.org/lrrd33/2/carlo3320.html>.
- Solís, C. & Ruiloba, M. 2017. "Evaluation of different levels of integral silage of sweet potato (*Ipomoea batata*) as energetic source for growing cattle". *Cuban Journal of Agricultural Science*, 51(1): 35–46, ISSN: 2079-3480.
- Sologuren, M. 2008. Producción y calidad nutricional del follaje de camote nativo (*Ipomoea batata*), para alimentación de cuyes, bajo condiciones de Selva Alta - Satipo. Universidad Nacional del Centro del Perú. Available: [http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/2979/Sologuren\\_Villanueva.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/2979/Sologuren_Villanueva.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- 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>.
- Tetlow, I. & Bertoft, E. 2020. "A review of starch biosynthesis in relation to the building block-backbone model". *International Journal of Molecular Sciences*, 21(19): 7011, ISSN: 1422-0067. <https://dx.doi.org/10.3390/ijms21197011>.
- 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.
- Vélez, J.R. 2019. Producción forrajera, composición química y Ensilabilidad del follaje de tres variedades de camote (*Ipomoea batata*, L.). Editorial : Calceta: ESPAM MFL. 80 p. Available: <http://repositorio.esпам.edu.ec/bitstream/42000/1154/1/TTMV12.pdf>.
- Vittoni, J., Munilla, M., Lado, M., Corne, M., Ré, A., Biolatto, A. & Galli, I. 2015. Experiencias de recría y engorde con raciones secas en autoconsumo. INTA EEA Concepción del Uruguay, E. Ríos, Argentina. 45 p.

**Received: June 10, 2022**

**Accepted: December 20, 2022**