

Chemical composition and productive performance of gestating sows, fed with taro tubers silage (*Colocasia esculenta* L. Schott) and panela cane (POJ93)

Composición química y comportamiento productivo de cerdas gestantes, alimentadas con ensilado de tubérculos de taro (*Colocasia esculenta* L. Schott) y caña panelera (POJ93)

W. Caicedo^{1,2} and L. Caicedo²

¹Facultad de Ciencias de la Tierra, Universidad Estatal Amazónica, Puyo, Pastaza, Ecuador

²Granja Agropecuaria Caicedo, Puyo, Pastaza, Ecuador

Email: orlando.caicedo@yahoo.es

W. Caicedo: <https://orcid.org/0000-0002-2890-3274>

In order to evaluate the chemical characteristics of taro tuber silage (*Colocasia esculenta* L. Schott) with panela cane (POJ93) and its effect on productive indicators of gestating commercial sows, a total of 30 F1 Landrace x Duroc sows with an average weight of 218.87 ± 2.85 kg were used. They were divided into two treatments (0 and 50% inclusion of silage in the diet), in equal parts, according to a completely randomized design. In the silage samples, the pH, dry matter, crude protein, crude fiber, ash, ether extract, nitrogen-free extracts and gross energy were determined. In the productive performance, the final weight of the sows, piglets born at birth, piglets born alive at birth, litter weight, piglet weight at born, food intake and the feeding cost per sow were evaluated. Data were processed by ANOVA and contrast of means with Fisher's test ($P < 0.05$). The pH was stabilized between days four (4.15) and thirty (4.15). The silage showed good content of dry matter (70.99 %), crude protein (7.01 %), ash (13.16 %), nitrogen-free extract (72.42 %), gross energy (895.21 kJ/kg DM) and low content of ether extract (1.31 %) and crude fiber (6.13 %). There were no significant differences ($P > 0.05$) between treatments for the final weight of the sows, piglets born at birth, total live born piglets, litter weight, piglet weight at born and food intake. The sows that were fed silage showed the lowest ($P < 0.05$) feeding cost per sow. Under the Ecuadorian Amazon conditions, the inclusion of 50 % taro tubers silage (*Colocasia esculenta* L. Schott) with panela cane (POJ93) in the diet for gestating commercial sows did not affect the productive performance and reduced the cost production on the stage, so it constitutes an alternative food source with optimal nutritional characteristics for this category.

Key words: *alternative food, Ecuadorian Amazon, gestating commercial sows, taro and cane by-products.*

Pig feeding systems are mainly based on the use of conventional diets, based on soybeans and cereals, to fully exploit the genetic potential of the maternal and meat lines that are produced today. The genetic improvement of maternal lines leads to animals with greater development, and better production, in terms of litter size and reproductive longevity (Ordaz-Ochoa *et al.* 2013). That is why the diets for sows must be well balanced so as not to affect productive and reproductive parameters (Kim 2010).

The management of the breeding sow directly

Para evaluar las características químicas de un ensilado de tubérculos de taro (*Colocasia esculenta* L. Schott) con caña panelera (POJ93) y su efecto en indicadores productivos de cerdas comerciales en gestación, se utilizaron 30 cerdas F1 Landrace x Duroc, con peso promedio de 218.87 ± 2.85 kg. Se dividieron en dos tratamientos (0 y 50 % de inclusión de ensilado en la dieta), en partes iguales, de acuerdo con un diseño completamente aleatorizado. En las muestras de ensilado se determinó el pH, materia seca, proteína bruta, fibra bruta, cenizas, extracto etéreo, extractos libres de nitrógeno y energía bruta. En el desempeño productivo se evaluó el peso final de las cerdas, lechones nacidos al parto, lechones nacidos vivos al parto, peso de la camada, peso del lechón al nacimiento, consumo de alimento y el costo de alimentación por cerda. Los datos se procesaron por ANOVA y el contraste de medias con la prueba de Fisher ($P < 0.05$). El pH se estabilizó entre los días cuatro (4.15) y treinta (4.15). El ensilado presentó buen contenido de materia seca (70.99 %), proteína bruta (7.01%), cenizas (13.16 %), extracto libre de nitrógeno (72.42 %), energía bruta (895.21 kJ/kg MS) y bajos contenidos de extracto etéreo (1.31 %) y fibra bruta (6.13%). No hubo diferencias significativas ($P > 0.05$) entre tratamientos para el peso final de las cerdas, lechones nacidos al parto, lechones nacidos vivos al parto, peso de la camada, peso del lechón al nacimiento y consumo de alimento. Las cerdas que se alimentaron con ensilado presentaron el menor ($P < 0.05$) costo de alimentación por cerda. En las condiciones de la Amazonía ecuatoriana, la inclusión de 50 % de ensilado de tubérculos de taro (*Colocasia esculenta* L. Schott) con caña panelera (POJ93) en la dieta destinada a cerdas comerciales en gestación no afectó el comportamiento productivo y redujo el costo de producción en la etapa, por lo que constituye una fuente de alimento alternativo de óptimas características nutricionales para esta categoría.

Palabras clave: *alimento alternativo, Amazonía ecuatoriana, cerdas comerciales en gestación, subproductos de taro y caña.*

Los sistemas de alimentación de porcinos se basan, principalmente, en la utilización de dietas convencionales, basadas en soya y cereales, para explotar al máximo el potencial genético de las líneas maternas y cárnicas que se producen en la actualidad. El mejoramiento genético de las líneas maternas conduce a animales con mayor desarrollo, y mejor producción, en cuanto al tamaño de camada y longevidad reproductiva (Ordaz-Ochoa *et al.* 2013). Es por ello que las dietas para las cerdas deben estar bien equilibradas para no tener afectación en los parámetros productivos y reproductivos (Kim 2010).

influences on the weight at born, weaning, growth, final weight of pigs, among others. Feeding in the gestating sow is restricted to avoid overweight and problems at the farrowing time (Quiles and Hevia 2015). This type of diet causes chronic hunger in animals and gives rise to different degrees of stereotypes. To avoid these behaviors and favor animal welfare, alternative fibrous (grasses) and bulky (silage) foods are successfully used, without any effects on the productive indicators of commercial sows were showing (Bernardino *et al.* 2016).

Currently, the global crisis that has caused climate change, the production of biofuels and, more recently, the COVID-19 pandemic, which makes the need to apply new feeding systems in pigs, which allow reducing costs because of this concept (García *et al.* 2020). In the Republic of Ecuador there are alternative sources that can be used successfully in the feeding of reproductive sows, such as panela cane and waste taro tubers, which through biotechnological procedures, such as silage, generate functional food with good nutrient content for animals (Caicedo *et al.* 2020). The objective of this study was to evaluate the chemical characteristics of taro tubers silage (*Colocasia esculenta* L. Schott) with panela cane (POJ93) and its effect on productive indicators of gestating commercial sows.

Materials and Methods

Location. The research was carried out in the Bromatology laboratory from the Amazonian State University, and in the facilities of the gestation sector of Caicedo Agricultural Farm, both located in Pastaza canton, Pastaza province, Ecuador. The study area has a humid subtropical climate, with rainfall ranging between 4000 and 4500 mm annually, average relative humidity of 87 %, temperatures between 20 and 32 °C and altitude of 900 m o.s.l. (INAMHI 2014).

Elaboration of silage. Waste taro tubers and panela cane from two days post-harvest were used. The taro tubers and the panela cane were collected on the lands from Caicedo Agricultural Farm. Later, they were washed with drinking water for human consumption, drained for 10 min. and they were ground fresh with a mixed mill, with blades and a 2.0 cm sieve. For the formulation of the silage, chopped taro tubers (50%), chopped cane (22%), molasses (2%), wheat dust (20 %), vitaminized peccurin (0.5 %), calcium carbonate (0.5 %) and natural yogurt (5 %) were combined. Subsequently, a homogeneous mixture with all the ingredients was carried out on a flat concrete floor, covered with plastic, at room temperature. A part of this mixture was placed in plastic microsilos, with a capacity for 1 kg, and it was evaluated at 1, 4, 8, 15 and 30 d to carry out the respective laboratory analyzes. The mixture was deposited in dark plastic bags until the moment of use.

El manejo de la cerda reproductora influye directamente en el peso al nacimiento, destete, crecimiento, peso final de los cerdos, entre otros. La alimentación en la cerda gestante es de tipo restringida para evitar el sobrepeso y los problemas al momento del parto (Quiles y Hevia 2015). Este tipo de alimentación ocasiona hambre crónica en los animales y da lugar a diferentes grados de estereotipias. Para evitar estas conductas y favorecer el bienestar animal, se utilizan exitosamente alimentos alternativos fibrosos (pastos) y voluminosos (ensilado), sin que se muestren afectaciones en los indicadores productivos de las cerdas comerciales (Bernardino *et al.* 2016).

En la actualidad, la crisis mundial que ha provocado el cambio climático, la producción de biocombustibles y, más recientemente, la pandemia del COVID-19, que hace eminente la necesidad de aplicar nuevos sistemas de alimentación en porcinos, que permitan reducir los costos por este concepto (García *et al.* 2020). En la república de Ecuador se dispone de fuentes alternativas que se pueden emplear con éxito en la alimentación de cerdas reproductoras, como la caña panelera y los tubérculos de taro de desecho, los que mediante procedimientos biotecnológicos, como el ensilado, generan alimentos funcionales con buen tenor de nutrientes para los animales (Caicedo *et al.* 2020). El objetivo de este estudio fue evaluar las características químicas de un ensilado de tubérculos de taro (*Colocasia esculenta* L. Schott) con caña panelera (POJ93) y su efecto en indicadores productivos de cerdas comerciales en gestación.

Materiales y Métodos

Ubicación. La investigación se efectuó en el laboratorio de Bromatología, de la Universidad Estatal Amazónica, y en las instalaciones del sector de gestación de la Granja Agropecuaria Caicedo, ambos ubicados en el cantón Pastaza, provincia de Pastaza, Ecuador. La zona de estudio tiene un clima subtropical húmedo, con precipitaciones que oscilan entre 4000 y 4500 mm anuales, humedad relativa media de 87 %, temperaturas entre 20 a 32 °C y altitud de 900 m s.n.m. (INAMHI 2014).

Elaboración del ensilado. Se emplearon tubérculos de taro de desecho y caña panelera de dos días post-cosecha. Los tubérculos de taro y la caña panelera se recolectaron en los predios de la Granja Agropecuaria Caicedo. Seguidamente, se lavaron con agua potable para consumo humano, se escurrieron por 10 min. y se molieron en estado fresco con un molino mixto, con cuchillas y criba de 2.0 cm. Para la formulación del ensilado, se combinaron los tubérculos de taro picados (50 %), caña picada (22 %), melaza (2 %), polvillo de trigo (20 %), peccurín vitaminado (0.5 %), carbonato de calcio (0.5 %) y yogur natural (5 %). Seguidamente, se efectuó una mezcla homogénea con todos los ingredientes sobre un piso de concreto plano, cubierto con plástico, a temperatura ambiente. Una parte de esta mezcla se dispuso en microsilos plásticos, con capacidad para 1 kg, y se evaluó a los 1, 4, 8, 15 y 30 d para efectuar los respectivos análisis de laboratorio. La mezcla se depositó en

Measurement of pH in the silage. The pH was measured in 25 microsilos, on days 1, 4, 8, 15 and 30 of the fermentation process, five for each testing day. For the pH measurement, aqueous extract was used, composed of a portion of 25 g of silage and 250 mL of distilled water (Cherney and Cherney 2003).

Determination of chemical components in silage. The determination of the chemical components of the silage was carried out on day 8 of fermentation, in accordance with recommendations for this type of food (Caicedo *et al.* 2020). Dry matter (DM), crude proteins (CP), ether extract (EE), crude fiber (CF), ash and nitrogen-free extracts (NFE) were verified, according to the AOAC (2005). The calculation of gross energy (GE) was carried out according to Ewan (1989).

Management of animals and facilities. The research was carried out according to the regulations for Animal Welfare of the Republic of Ecuador, in accordance with AGROCALIDAD (2017), and the experimental protocol, according to Sakomura and Rostagno (2007). After confirmation of pregnancy by ultrasound, 28 days after artificial insemination, the selection of 30 F1 sows from the commercial cross (Landrace x Duroc), from second farrowing, with an average live weight of 218.87 ± 2.85 kg. A total of 15 sows per treatment were used, and each sow constituted an experimental unit. They were placed in individual metal cages, 0.65 m x 2.40 m (1.56 m²), arranged in the gestation building until 110 d. Later, they moved to the maternity area until farrowing. Each cage had an individual hopper-type feeder and a nipple drinker.

Verification of productive indicators and the feeding cost in gestating. The final weight of the sows, total born piglets, total live born piglets, litter weight at born, piglet weight at born and food intake per sow were evaluated (Zverina *et al.* 2015 and Campler *et al.* 2019). For the feeding cost, the costs of raw matters, additives and direct labor were considered (Rodríguez-Medina *et al.* 2012).

Food management. A total of 0 and 50 % of taro tubers silage with panela cane of 8-day production was included. The diets under study were formulated according to Rostagno *et al.* (2011) (table 1). The food was offered once a day (09:00 a.m.). Between days 28 and 70 of gestation, 2.4 kg of DM /sow/d was supplied, and between day 71 until farrowing, 2.6 kg of DM/sow/d was provided. In the treatment that included silage, before offering the sows, a homogeneous mixture was made with other ingredients showed in the formulation. The drinking water was permanently supplied in nipple drinkers.

Experimental design and statistical analysis. To analyze the pH results, a completely randomized design was used and Duncan's (1955) test was applied to contrast the means with $P < 0.05$. For the processing of

bolsas plásticas oscuras hasta el momento de su utilización.

Medición del pH en el ensilado. El pH se midió en 25 microsilos, en los días 1, 4, 8, 15 y 30 del proceso de fermentación, cinco para cada día de comprobación. Para la medición del pH se utilizó extracto acuoso, compuesto por una porción de 25 g de ensilado y 250 mL de agua destilada (Cherney y Cherney 2003).

Determinación de componentes químicos en el ensilado. La determinación de los componentes químicos del ensilado se realizó al día 8 de fermentación, de acuerdo con recomendaciones para este tipo de alimento (Caicedo *et al.* 2020). Se comprobó materia seca (MS), proteína bruta (PB), extracto etéreo (EE), fibra bruta (FB), cenizas y extractos libres de nitrógeno (ELN), según la AOAC (2005). El cálculo de la energía bruta (EB) se efectuó de acuerdo con Ewan (1989).

Manejo de animales e instalaciones. La investigación se ejecutó por la normativa para el Bienestar Animal de la República de Ecuador, de acuerdo con AGROCALIDAD (2017), y el protocolo experimental, según Sakomura y Rostagno (2007). Luego de la confirmación de la gestación por ecografía, a los 28 d posteriores a la inseminación artificial, se realizó la selección de 30 cerdas F1 del cruce comercial (Landrace x Duroc), de segundo parto, con peso vivo promedio de 218.87 ± 2.85 kg. Se utilizaron 15 cerdas por tratamiento, y cada cerda constituyó una unidad experimental. Se ubicaron en jaulas metálicas individuales, 0.65 m x 2.40 m (1.56 m²), dispuestas en la nave de gestación hasta los 110 d. Posteriormente, se trasladaron al área de maternidad hasta el parto. Cada jaula disponía de un comedero individual tipo tolva y un bebedero de chupón.

Comprobación de indicadores productivos y del costo de alimentación en gestación. Se evaluó el peso final de las cerdas, total de lechones nacidos, total de lechones nacidos vivos, peso de la camada al nacimiento, peso del lechón al nacimiento y consumo de alimento por cerda (Zverina *et al.* 2015 y Campler *et al.* 2019). Para el costo de alimentación se consideraron los costos de materia prima, aditivos y mano de obra directa (Rodríguez-Medina *et al.* 2012).

Manejo del alimento. Se incluyó 0 y 50 % de ensilado de tubérculos de taro con caña panelera de 8 d de producción. Las dietas en estudio se formularon según Rostagno *et al.* (2011) (tabla 1). El alimento se ofertó una vez al día (09:00 a.m.). Entre los días 28 y 70 de gestación se suministró 2.4 kg de MS/cerda/d, y entre el día 71 hasta el parto se proveyó de 2.6 kg de MS/cerda/d. En el tratamiento que incluyó ensilado, antes de ofertar a las cerdas, se hizo una mezcla homogénea con otros ingredientes indicados en la formulación. El agua de bebida se suministró permanentemente en bebederos de chupón.

Diseño experimental y análisis estadístico. Para analizar los resultados del pH, se utilizó un diseño completamente aleatorizado y para contrastar las medias se aplicó la dócima de Duncan (1955) con $P < 0.05$. Para el procesamiento de datos de composición química (MS, PB, FB, EE, cenizas, ELN y EB), se utilizó estadística

Table 1. Composition and contribution of nutrients of the experimental diets (% DW)

Raw matters	Silage inclusion levels, %	
	0	50
Yellow corn	46.00	11.00
Protein concentrate ¹	5.00	13.00
Orito banana silage with cane	-	50.00
Wheat dust	25.60	33.60
Vitamin mineral premixture ²	0.40	0.40
Nutrient supply		
Crude protein,%	13.96	13.32
Crude fiber, %	5.29	6.16
Cost, dollars/kg DM	0.50	0.32

¹Ingredients: soybean paste, rice co-products, wheat; DGGs from corn, wheat by-products, palm oil, bakery by-products, cane molasses, calcium carbonate, sodium chloride, 78 % L-lysine, dicalcium phosphate, 50 % propionic acid, sodium aluminosilicate, DL-methionine 99 % and L-threonine 98 %. Nutrient supply: protein 34 %, fat 4 %, fiber 5 %, ash 7 %, humidity 13 %, lysine 0.92 % and methionine 0.27 %.

²Vitamin and mineral premixture: Vit. A, 2,666,660 IU; Vit. D₃, 533,300 IU; Vit E, 4667 IU; Vit K₃, 1,200 mg; Vit B₁, 200 mg; Vit B₂, 13,336 mg; Vit B₆, 133 mg; vit B₁₂, 6667µg; folic acid, 34 mg; niacin, 10,000 mg; pantothenic acid, 666,666 mg; biotin, 20 mg; bolin, 62 g; iron, 40 mg; copper, 86,805 mg; cobalt, 334 mg; manganese, 30,000 mg; zinc, 46,666 mg; selenium, 67 mg; iodine, 400 mg; antioxidant 40 g and vehicle qsp, 1000 g

chemical composition data (DM, CP, CF, EE, ash, NFE and GE), descriptive statistics were used and the mean and standard deviation were checked. The production index and feeding cost experiment was carried out using a completely randomized design. The assumptions of the model of normality and homogeneity of variance were examined using the Shapiro-Wilk and Levene tests, respectively. The results were statistically analyzed by one-way ANOVA, with dietary treatment as the main factor. Fisher (1954) test ($P < 0.05$) was used to contrast the means. All analyzes were carried out with the statistical program InfoStat (Di Rienzo *et al.* 2017).

Results and Discussion

In the evaluation of the pH there were differences ($P < 0.0001$) during the study days. The highest pH value was found on day one and between 4 and 30 days it was stable (table 2).

The pH in the silos is one of the most important indicators to be able to conserve the silage for a long time (Romero *et al.* 2017). The rapid decrease in pH in silos is due to the initial inoculation with lactic bacteria,

descriptiva y se comprobó la media y desviación estándar. El experimento de índices productivos y costo de alimentación se efectuó mediante un diseño completamente aleatorizado. Los supuestos del modelo de normalidad y homogeneidad de la varianza se examinaron mediante las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene, respectivamente. Los resultados se analizaron estadísticamente por ANOVA unidireccional, con el tratamiento dietético como factor principal. Para contrastar las medias se utilizó la prueba de Fisher (1954) ($P < 0.05$). Todos los análisis se realizaron con el programa estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.* 2017).

Resultados y Discusión

En la evaluación del pH hubo diferencias ($P < 0.0001$) durante los días de estudio. El mayor valor de pH se comprobó en el día uno, y entre los 4 y 30 d fue estable (tabla 2).

El pH en los silos es uno de los indicadores de mayor importancia para lograr conservar el ensilado por tiempo prolongado (Romero *et al.* 2017). La pronta disminución del pH en los silos se debe a la inoculación inicial con

Table 2. Performance of pH in taro tubers silage with panela cane

Variable	Days					SE±	P value
	1	4	8	15	30		
pH	5.54 ^a	4.15 ^b	4.15 ^b	4.15 ^b	4.15 ^b	0.02	P = 0.0001

^{ab}Different letters show differences at the level of $P < 0.05$

which have the ability to produce lactic acid and rapidly reduce the pH of the medium (Silva *et al.* 2016). The acidic medium limits the growth of pathogenic microorganisms, such as *Escherichia coli* (Ogunade *et al.* 2016). Likewise, it allows avoiding DM losses, derived from contamination by clostridia (Borreani *et al.* 2018 and Hartinger *et al.* 2019).

The taro tubers silage with panela cane showed good content of DM, CP, ash, NFE, GE and low levels of EE and CF (table 3).

bacterias lácticas, que tienen la facultad para producir ácido láctico y reducir rápidamente el pH del medio (Silva *et al.* 2016). El medio ácido limita el crecimiento de microorganismos patógenos, como *Escherichia coli* (Ogunade *et al.* 2016). Asimismo, permite evitar pérdidas de la MS, derivadas de la contaminación por clostridios (Borreani *et al.* 2018 y Hartinger *et al.* 2019).

El ensilado de tubérculos de taro con caña panelera exhibió buen contenido de MS, PB, cenizas, ELN, EB y bajos niveles de EE y FB (tabla 3).

Table 3. Chemical characteristics of taro tubers silage with panela cane

Nutrients	Mean	SD
DM, %	70.99	0.01
CP, %	7.01	1.24
EE, %	1.31	0.03
CF, %	6.13	1.21
Ash, %	13.16	1.05
NFE, %	72.42	1.36
GE, kJ/kg DM	895.21	2.72

The silage showed high DM content. In sugar cane silage treated with different additives, Santos *et al.* (2009) obtained lower DM values (32 %) with respect to those obtained in this research. The highest DM content in this study is related to the use of drying material (rice and wheat dust) (Borras-Sandoval *et al.* 2017). A DM content in the silage higher than 32% inhibits the development of putrefactive microorganisms that affect the useful life of the silage material (Lima *et al.* 2017 and Kung *et al.* 2018) and could cause effects on health and productive performance of the animals (Gismervik *et al.* 2015).

Regarding CP, in the silage there was an increase in protein with respect to the raw matters in their natural state (Aguirre *et al.* 2010), which is due to the unicellular protein or also called natural protein concentrate, developed during the fermentation process (Nasseri *et al.* 2011, Suman *et al.* 2015 and Ritala *et al.* 2017). Caicedo *et al.* (2019) used as substrate ground taro tubers, dehydrated and inoculated with natural yogurt on day 8 of fermentation, and obtained a significant protein increase, compared to the tuber in its natural state.

The silage showed high ash content, which is due to the inclusion of calcium carbonate (Fonseca-López *et al.* 2018) and to the bioavailability of minerals resulting from the fermentation process of vegetable raw matters (Aguirre *et al.* 2010, Famakin *et al.* 2016, Nkhata *et al.* 2018 and Samtiya *et al.* 2021).

The fiber and fat contents of the silage were low, and were in the appropriate range for use in pigs feeding (Bertechini 2013). The NFE and GE contents of taro tubers silage with panela cane were high. These

El ensilado presentó alto contenido de MS. En ensilados de caña tratados con diferentes aditivos, Santos *et al.* (2009) obtuvieron valores inferiores de MS (32 %) con respecto a los obtenidos en esta investigación. El mayor contenido de MS de este estudio se relaciona con la utilización de material secante (polvillo de arroz y trigo) (Borras-Sandoval *et al.* 2017). Un contenido de MS en el ensilado superior al 32 % inhibe el desarrollo de microorganismos putrefactivos que afectan la vida útil del material ensilado (Lima *et al.* 2017 y Kung *et al.* 2018) y que pueden provocar efectos en la salud y el desempeño productivo de los animales (Gismervik *et al.* 2015).

Con respecto a la PB, en el ensilado hubo incremento proteico con respecto a las materias primas en su estado natural (Aguirre *et al.* 2010), lo que se debe a la proteína unicelular o también llamada concentrado de proteína natural, desarrollada durante el proceso de fermentación (Nasseri *et al.* 2011, Suman *et al.* 2015 y Ritala *et al.* 2017). Caicedo *et al.* (2019) utilizaron como sustrato tubérculos de taro molidos, deshidratados e inoculados con yogur natural en el día 8 de fermentación, y obtuvieron un importante incremento proteico, respecto al tubérculo en estado natural.

El ensilado presentó alto contenido de cenizas, lo que se debe a la inclusión de carbonato de calcio (Fonseca-López *et al.* 2018) y a la biodisponibilidad de minerales resultante del proceso de fermentación de las materias primas vegetales (Aguirre *et al.* 2010, Famakin *et al.* 2016, Nkhata *et al.* 2018 y Samtiya *et al.* 2021).

Los contenidos de fibra y grasa del ensilado fueron bajos, y estuvieron en el rango adecuado para su uso en la alimentación de cerdos (Bertechini 2013). Los contenidos de ELN y EB del ensilado de tubérculos de taro con caña panelera resultaron altos. Estos indicadores se relacionan

indicators are related to the starch and sugar content of the raw matters of the silage origin (taro and cane). Due to the characteristics described, these foods are widely used as an energy source for animal feeding (Suksombat and Junpanichcharo 2005).

Table 4 shows the productive indices and the feeding cost of gestating sows that intake taro tuber silage with panela cane. There were no differences ($P > 0.05$) for the final weight of sows, piglets born at birth, piglets born alive at birth, litter weight, piglet weight at born and food intake. There were differences ($P < 0.0001$) for the feeding cost per sow.

con el contenido de almidón y azúcares de las materias primas de origen del ensilado (taro y caña). Debido a las características descritas, estos alimentos se usan ampliamente como fuente energética para la alimentación animal (Suksombat y Junpanichcharo 2005).

En la tabla 4 se muestran los índices productivos y el costo de alimentación de cerdas gestantes que consumieron ensilado de tubérculos de taro con caña panelera. No hubo diferencias ($P > 0.05$) para el peso final de las cerdas, lechones nacidos al parto, lechones nacidos vivos al parto, peso de la camada, peso del lechón al nacimiento y consumo de alimento. Se observó diferencias

Table 4. Productive indices and feeding cost in commercial gestating sows, fed with taro tubers silage with panela cane

Variables	Silage inclusion levels, %		SE±	P value
	0	50		
Initial weight, kg	218.33	219.40	0.74	P=0.3136
Final weight, kg	248.47	249.53	0.78	P=0.3399
Piglets born at birth	14.00	13.93	0.17	P=0.7902
Piglets born alive at birth	13.40	13.40	0.15	P=0.9899
Litter weight, kg	21.39	21.98	0.39	P=0.3063
Piglet weight at born, kg	1.53	1.58	0.02	P=0.1853
Food intake, kg	212.65	212.71	0.16	P=0.7664
Cost per sow, dollars	132.90 ^b	85.09 ^a	0.10	P=0.0001

^{ab} Different letters show differences at the level of $P < 0.05$, according to Fisher (1954)

The inclusion of 50 % of taro tubers silage with panela cane in the diet of gestating sows did not had a negative effect on the final weight of sows, piglets born at birth, piglets born live at birth, litter weight, piglet weight at born and food intake. In this sense, recent researches has focused on the use of alternative foods in gestating sows to avoid excessive weight gain and body fat, since these factors can cause problems during farrowing, negative situations for the survival of piglets (Guillemet *et al.* 2006 and Muñoz *et al.* 2011).

The optimal productive performance of gestating sows is achieved because the nutritional demand in this category is relatively low (Kraeling and Webel 2015). In the pig industry, gestating sows are supplied with between 50 and 60 % of voluntary intake (Mroz and Tarkowski 1991). The latest trends in the nutrition of gestating sows show that to satisfy the chronic hunger experienced by sows during gestation, bulky feeds are successfully used to induce satiety and reduce the appearance of stereotyped behaviors, which guarantees the welfare of the sows. (Robert *et al.* 2002). On the other hand, the intake of bulky food during gestation guarantees a higher intake of dry matter during lactation (Guillemet *et al.* 2006 and Darroch *et al.* 2008).

The sows that intake silage showed lower feeding cost. The feeding costs are the most important and their magnitude shows the level of profits for the farm

($P < 0.0001$) para el costo de alimentación por cerda.

La inclusión de 50 % de ensilaje de tubérculos de taro con caña panelera en la dieta de cerdas en gestación no presentó efecto negativo en el peso final de las cerdas, lechones nacidos al parto, lechones nacidos vivos al parto, peso de la camada, peso del lechón al nacimiento y consumo de alimento. En este sentido, investigaciones recientes se han enfocado en el uso de alimentos alternativos en cerdas gestantes para evitar aumento excesivo de peso y grasa corporal, ya que estos factores pueden ocasionar problemas durante el parto, situaciones negativas para la sobrevivencia de los lechones (Guillemet *et al.* 2006 y Muñoz *et al.* 2011).

El óptimo desempeño productivo de las cerdas gestantes se logra porque la demanda nutritiva en esta categoría es relativamente baja (Kraeling y Webel 2015). En la industria porcina, a las cerdas gestantes se les suministra entre 50 y 60 % del consumo voluntario (Mroz y Tarkowski 1991). Las últimas tendencias en la nutrición de cerdas gestantes señalan que para saciar el hambre crónica que experimentan las cerdas durante la gestación, se emplean con éxito alimentos voluminosos para provocar la saciedad y reducir la aparición de conductas estereotipadas, lo que garantiza el bienestar de las cerdas (Robert *et al.* 2002). Por otro lado, el consumo de alimento voluminoso durante la gestación garantiza mayor consumo de materia seca durante la lactancia (Guillemet *et al.* 2006 y Darroch *et al.* 2008).

Las cerdas que consumieron ensilado presentaron menor costo de alimentación. Los costos de alimentación son los más importantes y su magnitud indica el nivel de

(Estévez 2016, Bauza *et al.* 2018 and Sánchez *et al.* 2018). In this regard, Magaña *et al.* (2002) point out that the relative costs of sow feeding represent 15.1 % in full cycle farms.

Conclusions

The inclusion of 50 % of taro tubers silage (*Colocasia esculenta* L. Schott) with panela cane (POJ93) in the diet of commercial gestating sows under the Ecuadorian Amazon conditions did not affect the productive performance and reduced the production cost in the stage. Therefore, its incorporation into the diet constitutes an alternative food source with optimal nutritional characteristics for this category.

Acknowledgments

Thanks to the owners and technical staff of Caicedo Agricultural Farm for the support provided for the execution of this research.

Conflict of interest

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

Author's contribution

W. Caicedo: Original idea, experimental design, data analysis, statistic analysis, writing the manuscript

L. Caicedo: Conducting the experiment, data collection, writing the manuscript

utilidades para la granja (Estévez 2016, Bauza *et al.* 2018, Sánchez *et al.* 2018). Al respecto, Magaña *et al.* (2002) señalan que los costos relativos de alimentación de las cerdas representan 15.1 % en granjas de ciclo completo.

Conclusiones

La inclusión de 50 % de ensilado de tubérculos de taro (*Colocasia esculenta* L. Schott) con caña panelera (POJ93) en la dieta de cerdas comerciales en gestación en las condiciones de la Amazonía ecuatoriana no afectó el comportamiento productivo y redujo el costo de producción en la etapa. Por tanto, su incorporación a la dieta constituye una fuente de alimento alternativo de características nutricionales óptimas para esta categoría.

Agradecimientos

Se agradece a los propietarios y personal técnico de la Granja Agropecuaria Caicedo por el apoyo brindado para la ejecución de esta investigación.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflicto de intereses

Contribución de los autores

W. Caicedo: idea original, diseño de la investigación, análisis de datos, análisis estadístico, escritura del manuscrito

L. Caicedo: Conducción del experimento, recolección de datos, escritura del manuscrito

References

- AGROCALIDAD (Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro). 2017. Manual de aplicabilidad de buenas prácticas porcícolas. Quito, Ecuador, p. 127, Available: <http://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/pdf/Guia-BPA-publicaciones/2017/enero/manual-buenas-practicas-porcicolas-24-01-2017.pdf>.
- Aguirre, J., Magaña, R., Martínez, S., Gómez, A., Ramírez, J.C., Barajas, R., Plascencia, A., Barcena, R. & García, D.E. 2010 "Caracterización nutricional y uso de la caña de azúcar y residuos transformados en dietas para ovinos". *Zootecnia Tropical*, 28(4): 489-497, ISSN: 2542-3436.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 2005. Official Method of Analysis. 18th Ed. Ed. Association of Official Analytical Chemists, Inc. Gaithersburg MD, USA, ISBN: 978-0-935584-87-5.
- Bauza, R., Silva, D., Bratschi, C. & Barreto, R. 2018. "Respuesta productiva de cerdos en engorde a la sustitución de maíz por sorgo en su dieta". *Agrociencia Uruguay*, 22(1): 124-132, ISSN: 2301-1548.
- Bernardino, T., Tatemoto, P., Morrone, B., Mazza Rodrigues, P.H. & Zanella, A.J. 2016. "Piglets Born from Sows Fed High Fibre Diets during Pregnancy Are Less Aggressive Prior to Weaning". *PLoS ONE*, 11(12): e0167363, ISSN: 1932-6203. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0167363>.
- Bertechini, A.G. 2013 *Nutrição de Monogástricos*. 2nd Ed. Ed. UFLA. Minas Gerais, Brasil, p. 373.
- Borrás-Sandoval, L., Valiño, E. & Elías, A. 2017. "Evaluación del efecto de la inclusión de materiales fibrosos en la fermentación en estado sólido de residuos poscosecha de papa (*Solanum tuberosum*) inoculado con preparado microbiano". *Revista Electrónica de Veterinaria*, 18(8): 1-16, ISSN: 1695-7504.
- Borreani, G., Tabaco, E., Schmidt, R.J., Holmes, B.J. & Muck, R.E. 2018. "Silage review: Factors affecting dry matter and quality losses in silages". *Journal of Dairy Science*, 101(5): 3952-3979, ISSN: 1525-3198. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13837>.
- Caicedo, W., Alves-Ferreira, F.N., Pérez, M., Flores, A. & Motta-Ferreira, W. 2020. "Composición química y comportamiento productivo de cerdas gestantes alimentadas con ensilado de banano orito (*Musa acuminata* AA) con caña panelera (POJ93)". *Livestock Research for Rural Development*, 32, Article #9, ISSN: 0121-3784, Available: <http://www.lrrd.org/lrrd32/1/orlan32009.html>.
- Caicedo, W., Moya, C., Tapuy, A., Caicedo, M. & Pérez, M. 2019. "Composición química y digestibilidad aparente de tubérculos de taro procesados por fermentación en estado sólido (FES) en cerdos de crecimiento". *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 30(2): 580-589, ISSN: 1682-3419. <https://doi.org/10.15381/rivep.v30i2.16078>.
- Campler, M., Pairs-García, M., Kieffer, J. & Moeller, S. 2019. "Sow behavior and productivity in a small stable group-housing system". *Journal of Swine Health and Production*, 27(2): 76-86, ISSN: 1537-209X.
- Cherney, J.H. & Cherney, D.J.R. 2003. Assessing silage quality. In: *Silage science and technology*. Buxton, D.R., Muck, R.E. & Harrison, J.H. (eds). Ed. American Society of Agronomy. Wisconsin, USA, pp. 141-198.

- Darroch, C.S., Dove, C.R., Maxwell, C.V., Johnson, Z.B. & Southern, L.L. 2008. "A regional evaluation of the effect of fiber type in gestation diets on sow reproductive performance". *Journal of Animal Science*, 86: 1573-1578, ISSN: 1525-3163. <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0662>.
- Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., González, L., Tablada, M. & Robledo, C.W. 2012. InfoStat, Version 2012 (Windows). Grupo InfoStat, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Available: <http://www.infostat.com.ar>.
- Duncan, D.B. 1955. "Multiple Range and Multiple F Tests". *Biometrics*, 11(1): 1-42, ISSN: 0006-341X. <https://doi.org/10.2307/3001478>.
- Estévez, J. 2016. "Manejo alimentario durante la gestación y lactancia en una unidad integral de producción porcina. Estudio de caso". *Revista de Producción Animal*, 28(2-3): 1-11, ISSN: 2224-7920.
- Ewan, R.C. 1989. Predicting the energy utilization of diets and feed ingredients by pigs. Department of Animal Science, Iowa State University, Ames, IA, USA, pp. 271-274.
- Famakin, O., Fatoyinbo, A., Ijarotimi, O.S., Badejo, A.A. & Fagbemi, T.N. 2016. "Assessment of nutritional quality, glycaemic index, antidiabetic and sensory properties of plantain (*Musa paradisiaca*) based functional dough meals". *Journal of Food Science and Technology*, 53(11): 3865-3875, ISSN: 0975-8402. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2357-y>.
- Fisher, R.A. 1954. *Statistical Methods for Research Workers*. 12th Ed. Oliver and Boyd (eds.). Edinburgh, England, ISBN: 0-05-002170-2.
- Fonseca-López, D., Saavedra-Montañez, G. & Rodríguez-Molano, C.E. 2018. "Elaboración de un alimento para ganado bovino a base de zanahoria (*Daucus carota* L.) mediante fermentación en estado sólido como una alternativa ecoeficiente". *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 12(1): 175-182, ISSN: 2422-3719. <https://doi.org/10.17584/rcch.2018v12i1.7416>.
- García, Y., Sosa, D., González, L. & Dustet, J.C. 2020. "Caracterización química, física y microbiológica de alimentos fermentados para su uso en la producción animal". *Livestock Research for Rural Development*, 32, Article #105, ISSN: 0121-3784, Available: <http://www.lrrd.org/lrrd32/7/Yaneis32105.html>.
- Gismervik, K., Randby, A.T., Rørvik, L.M., Bruheim, T., Andersen, A., Hernandez, M. & Skaar, I. 2015. "Effect of invasive lug populations (*Arion vulgaris*) on grass silage. II: Microbiological quality and feed safety". *Animal Feed Science and Technology*, 199: 20-28, ISSN: 0377-8401. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.09.024>.
- Guillemet, R., Dourmad, Y.D. & Meunier-Salaun, M.C. 2006. "Feeding behavior in primiparous lactating sows: Impact of a high-fiber diet during pregnancy". *Journal of Animal Science*, 84(9): 2474-2481, ISSN: 1525-3163. <https://doi.org/10.2527/jas.2006-024>.
- Hartertinger, T., Gresner, N. & Südekum, K.H. 2019. "Effect of Wilting Intensity, Dry Matter Content and Sugar Addition on Nitrogen Fractions in Lucerne Silages". *Agriculture*, 9(1): 11, ISSN: 2077-0472. <https://doi.org/10.3390/agriculture9010011>
- INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología). 2014. Anuario Meteorológico. Quito, Ecuador, p. 28, Available: <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/wp-content/uploads/anuarios/meteorologicos/Am%202011.pdf>.
- Kim, S.W. 2010. "Recent advances in sow nutrition". *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39(suplemento especial): 303-310, ISSN: 1806-9290. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982010001300033>.
- Kraeling, R.R. & Webel, S.K. 2015. "Current strategies for reproductive management of gilts and sows in North America". *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 6: 3, ISSN: 2049-1891. <https://doi.org/10.1186/2049-1891-6-3>.
- Kung, J.L., Shaver, R.D., Grant, R.J. & Schmidts, R.J. 2018. "Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages". *Journal of Dairy Science*, 101(5): 4020-4033, ISSN: 0022-0302. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13909>.
- Lima, L.M., Dos Santos, J.P., Casagrande, D.R., Ávila, C.L.S., Lara, M.A.S. & Bernardes, T.F. 2017. "Lining bunker walls with oxygen barrier film reduces nutrient losses in corn silages". *Journal of Dairy Science*, 100(6): 4565-4573, ISSN: 0022-0302. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12129>.
- Magaña, M.M.A., Matus-Gardea, J.A., García-Mata, R., Santiago-Cruz, M.J., Martínez-Damian, M.A. & Martínez-Garza, A. 2002. "Rentabilidad y efectos de política económica en la producción de carne de cerdo en Yucatán". *Agrociencia*, 36(6): 737-747, ISSN: 1405-3195.
- Mroz, Z. & Tarkowsky, A. 1991. "The effects of the dietary inclusion of sidamental (Malvaceae) for gilts on the reproductive performance, apparent digestibility, rate of passage and plasma parameters". *Livestock Production Science*, 27(2-3): 199-210, ISSN: 0301-6226. [https://doi.org/10.1016/0301-6226\(91\)90096-9](https://doi.org/10.1016/0301-6226(91)90096-9).
- Muñoz, C.H., Magaña-Magaña, M.A., Lara-Lara, P.E., Ramón-Ugalde, J.P., Ortiz, J.R. & Sanginés-García, J.R. 2011. "Comportamiento productivo en cerdas gestantes suplementadas con morera (*Morus alba*)". *Zootecnia Tropical*, 29(3): 273-281, ISSN: 2542-3436.
- Nasseri, A.T., Rasoul-Amini, S., Morowvat, M.H. & Ghasemi, Y. 2011. "Single Cell Protein: Production and Process". *American Journal of Food Technology*, 6(2): 103-116, ISSN: 1557-4571. <https://doi.org/10.3923/ajft.2011.103.116>.
- Nkhata, S.F., Ayua, E., Kamau, E.H. & Shingiro, J.B. 2018. "Fermentation and germination improve nutritional value of cereals and legumes through activation of endogenous enzymes". *Food Science and Nutrition*, 6(8): 2446-2458, ISSN: 2048-7177. <https://doi.org/10.1002/fsn3.846>.
- Ogunade, I.M., Kim, D.H., Jiang, Y., Weinberg, Z.G., Jeong, K.C. & Adesogan, A.T. 2016. "Control of *Escherichia coli* O157:H7 in contaminated alfalfa silage: Effects of silage additives". *Journal of Dairy Science*, 99(6): 4427-4436, ISSN: 0022-0302. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10766>.
- Ordaz-Ochoa, G., Juárez-Caratachea, A., García-Valladares, A., Pérez-Sánchez, R.E. & Ortiz-Rodríguez, R. 2013. "Efecto del número de parto sobre los principales indicadores reproductivos de las cerdas". *Revista Científica*, 23(6): 511-519, ISSN: 0798-2259.
- Quiles, A. & Hevia, M.L. 2015. "Requerimientos nutricionales para las actuales líneas genéticas de cerdas: Fase de gestación

- (Parte 1)". *Producción Animal*, 290: 6-12, ISSN: 2224-7920.
- Ritala, A., Häkkinen, S.T., Toivari, M. & Wiebe, M.G. 2017. "Single Cell Protein-State-of-the-Art, Industrial Landscape and Patents 2001-2016". *Frontiers in Microbiology*, 8: 2009, ISSN: 1664-302X. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02009>.
- Robert, S., Bergeron, E., Farmer, C. & Meurnier-Salaün, M.C. 2002. "Does the Number of Daily Meals Affect Feeding Motivation and Behavior of Gilts Feed High-Fibre Diets?" *Applied Animal Behaviour Science*, 76(2): 105-117, ISSN: 0168-1591. [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(02\)00003-5](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(02)00003-5).
- Rodríguez-Medina, G., Rodríguez-Castro, B. & Villasmil, A.K. 2012. "Costos de producción en explotaciones porcinas de ciclo completo en el Municipio Mara, estado Zulia, Venezuela". *Revista Venezolana de Gerencia*, 17(60): 709-729, ISSN: 1315-9984.
- Romero, J.J., Zhao, Y., Balseca-Paredes, M.A., Tiezzi, F., Gutiérrez-Rodríguez, E. & Castillo, M.S. 2017. "Laboratory silo type and inoculation effects on nutritional composition, fermentation, and bacterial and fungal communities of oat silage". *Journal of Dairy Science*, 100(3): 1812-1828, ISSN: 0022-0302. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11642>.
- Rostagno, H.S., Teixeira, L.F., Donzele, L.J., Gomes, P.C., Oliverira, R., Lopes, D.C., Ferreira, A.S., Toledo, S.L. & Euclides, R.F. 2011. *Tablas Brasileñas para aves y cerdos. Composición de Alimentos y Requerimientos Nutricionales*. 3rd Ed. Ed. Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa. Brasil, p. 167.
- Sakomura, N. & Rostagno, H. 2007. *Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos*. 2nd Ed. Ed. Universidade Estadual Paulista-Campus de Jaboticabal, Sao Paulo, Brasil, p. 283.
- Sánchez, J., Caicedo, W., Aragón, E., Andino, M., Bosques, F., Viamonte, M. & Ramírez, J. 2018. "La inclusión de la *Colocasia esculenta* (papa china) en la alimentación de cerdos en ceba". *Revista Electrónica de Veterinaria*, 19(4): 1-5, ISSN: 1695-7504.
- Samtiya, M., Aluko, R.E., Puniya, A.K. & Dhewa, T. 2021. "Enhancing Micronutrients Bioavailability through Fermentation of Plant-Based Foods: A Concise Review". *Fermentation*, 7(2): 63, ISSN: 2311-5637. <https://doi.org/10.3390/fermentation7020063>.
- Santos, M.C., Nussio, L.G., Mourão, G.B., Schmidt, P., Mari, L.J., Ribeiro, J.L., Queiroz, O.C.M., Zopollatto, M., Sousa, D., Sarturi, J.O. & Filho, S. 2009. "Nutritive value of sugarcane silage treated with chemical additives". *Scientia Agricola*, 66(2): 159-163, ISSN: 1678-992X. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162009000200003>.
- Silva, V.P., Pereira, O.G., Leandro, E.S., da Silva, T.C., Ribeiro, K.G., Mantovani, H.C. & Santos, S.A. 2016. "Effects of lactic acid bacteria with bacteriocinogenic potential on the fermentation profile and chemical composition of alfalfa silage in tropical conditions". *Journal of Dairy Science*, 99(3): 1895-1902, ISSN: 0022-0302. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9792>.
- Suksombat, W. & Junpanichcharoen, P. 2005. "Feeding of Sugar Cane Silage to Dairy Cattle during the Dry Season". *Asian-Australasian Journal of Animal Science*, 18(8): 1125-1129, ISSN: 1011-2367. <https://doi.org/10.5713/ajas.2005.1125>.
- Suman, G., Nupur, M., Anuradha, S. & Pradeep, B. 2015. "Single Cell Protein Production: A Review". *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 4(9): 251-262, ISSN: 2319-7706.
- Zverina, L.R., Kane, J., Crenshaw, T.D. & Salak-Johnson, J.L. 2015. "A Pilot Study: Behavior and Productivity of Gestating Sows in Width-Adjustable Stall". *Austin Journal of Veterinary Science & Animal Husbandry*, 2(2): 1012, ISSN: 2472-3371.

Received: April 26, 2021

Accepted: July 29, 2021