

Diet supplemented with nopal (*Opuntia ficus-indica* L.) modifies productive behavior and blood profile in pigs

Dieta suplementada con nopal (*Opuntia ficus-indica* L.) modifica el comportamiento productivo y perfil sanguíneo en cerdos

Sandra B. Gaitán-Lemus¹; Gerardo Ordaz-Ochoa²; Daniel Val-Arreola²; Héctor E. Martínez-Flores³; Rosa E. Pérez-Sánchez^{4*}; Ruy Ortiz-Rodríguez⁴

¹Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Facultad de Agrobiología "Presidente Juárez", Maestría PIMCB, Morelia, Michoacán. México. C.P. 60170.

²Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, km 95 carretera Morelia-Zinapécuaro, México. C.P. 58030.

³Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Facultad de Químico-Farmacobiología. Tzintzuntzán número 173, Matamoros. C.P. 58240, Morelia, Michoacán, México.

⁴Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Facultad de Medicina Veterinaria, y Zootecnia, km 95 carretera Morelia-Zinapécuaro, C.P. 58030, Morelia, Michoacán, México.

*Corresponding-author: rosa_elenap@yahoo.com.

Abstract

The effect of supplementing the diet of 20-100 kg live-weight (LW) pigs with nopal (*Opuntia ficus-indica* L.) was evaluated in terms of blood glucose (BG), total cholesterol (TC), high-density lipoproteins (HDL), low-density lipoproteins (LDL), triglycerides (TG), feed intake and growth. Twenty pigs of 22.4 ± 0.9 kg LW were arranged in two groups (G): G1 or control and G2 or experimental. Both groups received a base diet[®] (BD) *ad libitum*, but the G2 diet was supplemented with 1 % nopal based on weekly LW. BG, TC, HDL, LDL, TG, BD intake and LW in each pig were evaluated weekly. G2 showed lower values ($P < 0.05$) of BG (78.8 mg·dL⁻¹), TC (109.2 mg·dL⁻¹) and LDL (49.9 mg·dL⁻¹) and higher values of HDL (57.9 mg·dL⁻¹) and TG (35.6 mg·dL⁻¹) than G1. Daily BD intake per pig was lower ($P < 0.05$) in G2 than in G1. The time (114.9 days) to reach market weight (101.7 kg) was the same in both groups. The addition of 1 % nopal to the diet of pigs for market (20-100 kg) changes the energy metabolism (glucose, cholesterol, triglycerides, high- and low-density lipoproteins) and decreases BD intake without affecting pig growth.

Keywords: Feeding, growth, HDL, LDL.

Resumen

El efecto de la adición de nopal (*Opuntia ficus-indica*) en dieta de cerdos de 20-100 kg de peso vivo (PV) sobre glucosa sanguínea (GS), colesterol total (CT), lipoproteínas de alta (LAD) y baja densidad (LBD) y triglicéridos (TG) y su relación con el consumo de alimento y crecimiento (kg) fue determinado. Veinte cerdos (PV 22.4 ± 0.9 kg) fueron distribuidos en dos grupos (G): G1 (testigo) y G2 (experimental). Ambos grupos recibieron una dieta base[®] (DB) *ad libitum*, pero la dieta del G2 fue suplementada con nopal (1 % PV cerdo-semana⁻¹). Se evaluó GS, CT, LAD, LBD, TG, consumo de la DB y PV. El G2 presentó valores menores ($P < 0.05$) de GS (78.8 mg·dL⁻¹), CT (109.2 mg·dL⁻¹) y LBD (49.9 mg·dL⁻¹). El G1 tuvo valores menores ($P < 0.05$) de LAD (57.9 mg·dL⁻¹) y TG (35.6 mg·dL⁻¹). El consumo de la DB fue menor ($P < 0.05$) en el G2. El tiempo (114.9 días) del peso al mercado (101.7 kg) fue igual en ambos grupos. La adición del 1 % de nopal en la dieta de cerdos para abasto modifica el metabolismo energético y disminuye el consumo de la DB sin afectar su crecimiento.

Palabras clave: Alimentación, crecimiento, LAD, LBD.



Introduction

Nutrition plays an important role in the efficiency and quality of the finished product (meat) in swine production systems. For this reason, interest in new supplements for pig diets has increased (Hernández, Rodríguez, Lemus, Grageola, & Estévez, 2016) to reduce production costs. However, an unfounded nutritional strategy can have an impact on the productive indicators of pigs (Herrera, Pérez, Arece, Hernández, & Iglesias, 2013) and affect carcass quality and increase production costs (Hernández et al., 2016). Therefore, the safety of the new supplement is an important aspect for the animals and the final consumer (Lefaucheur et al., 2011; Pierozan et al., 2016).

Autochthonous plants can serve as a supplement in pig diets. For example, *O. ficus-indica* has been used in ruminant feeding (Ortiz, Valdez, García, & Pérez, 2013). In this sense, the use of this cactus as a dietary supplement can improve the productivity and quality of products obtained from animals (Ortiz et al., 2013; Aguilar et al., 2016). However, research involving nopal as an ingredient or supplement in the diet of pigs is still scarce (Ortiz, Ordaz, Juárez, & Pérez, 2015).

In lactating sows, nopal intake reduced blood glucose levels, increased feed intake and reduced body weight loss when subjected to a diet supplemented with *O. ficus-indica* (Ortiz et al., 2015; Ortiz, Orozco, Val, Portillo, & Pérez, 2017; Ordaz, Juárez, Pérez, Román, & Ortiz, 2017). However, the use of nopal as a dietary supplement in pigs for market has not been investigated. The aim of this study was to determine the effect of a diet supplemented with nopal (*O. ficus-indica*) on blood glucose, cholesterol, triglycerides and productive behavior of pigs for market (20-100 kg).

Materials and methods

The research was conducted in the porcine section of the Animal Science Center of the Faculty of Veterinary Medicine and Animal Science at the Michoacán University of San Nicolás de Hidalgo. The experimental site is in the municipality of Tarímbaro, Michoacán, at km 9.5 of the Morelia-Zinapécuaro highway. The region's climate is temperate with dry winters (Cw) and summer rains (García, 2004). Average annual rainfall is 609.0 mm and temperatures range from 2.5 to 25.1 °C.

Pigs and diets

Twenty randomly-selected pigs of the hybrid (Yorkshire x Landrace x Pietrain) genotype averaging 22.4 ± 0.9 kg live weight (LW) at the start of the experimental phase were housed in individual pens (2.0 x 1.2 m). Two groups of pigs (G) were formed: G1 or control (n = 10 pigs) and G2 or experimental (n = 10 pigs). Both groups were fed a

Introducción

La nutrición tiene un papel importante en la eficiencia y calidad de producto terminado (carne) de los sistemas de producción porcina. Por ello, en la actualidad se ha incrementado el interés por suplementos nuevos (Hernández, Rodríguez, Lemus, Grageola, & Estévez, 2016) en las dietas de cerdos con el fin de reducir costos de producción. Sin embargo, una estrategia nutricional sin fundamento puede influir sobre los indicadores productivos de los cerdos (Herrera, Pérez, Arece, Hernández, & Iglesias, 2013) y afectar la calidad de la canal e incrementar los costos de producción (Hernández et al., 2016). Por lo tanto, la inocuidad del suplemento nuevo es un aspecto importante para los animales y el consumidor final (Lefaucheur et al., 2011; Pierozan et al., 2016).

Las plantas autóctonas pueden fungir como suplemento en la alimentación de los cerdos. Por ejemplo, *O. ficus-indica* se ha usado en la alimentación de rumiantes (Ortiz, Valdez, García, & Pérez, 2013). En este sentido, dicha cactácea como suplemento en la dieta puede mejorar la productividad y calidad de los productos obtenidos de los animales (Ortiz et al., 2013; Aguilar et al., 2016). Sin embargo, las investigaciones que involucran al nopal como ingrediente o suplemento en la dieta de cerdos aún son escasas (Ortiz, Ordaz, Juárez, & Pérez, 2015).

En cerdas en fase de lactación, la ingesta de nopal redujo el nivel de glucosa sanguínea, incrementó el consumo de alimento y redujo la pérdida de peso corporal al someterlas a una dieta complementada con *O. ficus-indica* (Ortiz et al., 2015; Ortiz, Orozco, Val, Portillo, & Pérez, 2017; Ordaz, Juárez, Pérez, Román, & Ortiz, 2017). No obstante, el uso del nopal como suplemento de la dieta en cerdos para abasto no ha sido investigado. El objetivo fue determinar el efecto de la dieta suplementada con nopal (*O. ficus-indica*) sobre la glucosa sanguínea, colesterol, triglicéridos y comportamiento productivo de cerdos para abasto (20 a 100 kg).

Materiales y métodos

La investigación se desarrolló en el sector porcino de la Posta Zootécnica de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. El sitio experimental está ubicado en el municipio de Tarímbaro, Michoacán a 9.5 km de la carretera Morelia - Zinapécuaro. El clima en la región es templado con invierno seco (Cw) y lluvias en verano (García, 2004). La precipitación media anual es de 609.0 mm y temperaturas que oscilan de 2.5 a 25.1 °C.

Cerdos y dietas

Veinte cerdos del genotipo híbrido (Yorkshire x Landrace x Pietrain) seleccionados al azar con peso

base diet® according to the requirements of the growth (Phase 1, 20 to 50 kg LW) and development phases (Phase 2, 50 to 100 kg LW). These phases were established by the production system where the research was carried out: initiation (6.0 to 20.0 kg), development (20.0 to 50.0 kg) and finishing (50.0 to 100.0 kg).

The G2 base diet was supplemented with 1 % nopal (*O. ficus-indica*) biomass based on fresh weight (FW). The nopal mass was established based on LW (pig·week⁻¹·Phase⁻¹). The nopal was harvested (2.0 to 3 kg·day⁻¹ for pigs in Phase 1 and 5.0 to 6 kg·day⁻¹ for pigs in Phase 2) in an age range between 60 and 90 days. The source garden for the nopal biomass belongs to the Faculty of Veterinary Medicine and Animal Science-Michoacán University of San Nicolás of Hidalgo. To facilitate intake, *O. ficus-indica* cladodes were fragmented into pieces of approximately 2 x 2 cm.

The diets were offered *ad libitum* (pig·Phase⁻¹) at 8:00 h (pig·day⁻¹·Phase⁻¹), after withdrawal of the food left over from the previous day. The results of the bromatological analysis of the feed and nopal are shown in Table 1.

Blood profile evaluation

Blood glucose (BG), total cholesterol (TC), high-density lipoprotein (HDL), low-density lipoprotein (LDL) and triglyceride (TG) levels were determined in blood samples (10 mL·pig⁻¹) at the start of the experimental phase, and subsequently at 35, 50, 75 and 100 kg LW. Samples were obtained from the jugular vein prior to fasting (8:00 h) and placed in vacutainer® tubes with coagulation-activating serum. Samples were stored at 4 °C until centrifuged (100 x g for 10 min). The plasma obtained by centrifugation was stored and frozen at -20 °C until analysis.

The plasma analysis involved determining the concentrations of TC, TG, HDL, LDL and BG. The determinations were made through enzymatic methods adapted on a Cobas c 111Mira analyzer (Roche, Basel, Switzerland). The reagents used were: CHOL2 for TC (ref. 04 718 917 190, USA); TRIGL for TG (ref. 04 657 594 190, USA); HDLC3 for HDL (ref. 05 401 488 190, USA); LDL3 for LDL (ref. 07 005 806 190, USA) and GLUH2 for glucose (ref. 04 657 527 190, USA).

Productive behavior evaluation

Feed intake (kg) (day·pig⁻¹) was determined by the difference between the feed offered and rejected.

The pigs were weighed at the beginning of each week during the Phases involved until reaching market weight (100 kg average LW). With this information, pig weight gain·week⁻¹·Phase⁻¹ (WWG) was calculated. The

promedio al inicio de la fase experimental de 22.4 ± 0.9 kg peso vivo (PV) fueron alojados en corrales individuales (2.0 x 1.2 m). Dos grupos de cerdos (G) fueron formados: G1 o control (n= 10 cerdos) y G2 o experimental (n = 10 cerdos). Ambos grupos fueron alimentados con una dieta base® de acuerdo con los requerimientos de las fases crecimiento (Fase 1, 20 a 50 kg PV) y desarrollo (Fase 2, 50 a 100 kg PV). Dichas fases fueron establecidas por el sistema de producción donde se llevó a cabo la investigación: iniciación (6.0 a 20.0 kg), desarrollo (20.0 a 50.0 kg) y finalización (50.0 a 100.0 kg).

La dieta base del G2 se suplementó con 1 % de biomasa de nopal (*O. ficus-indica*) con base en peso fresco (BF). La masa de nopal se estableció con base en el PV (cerdo·semana⁻¹·Fase⁻¹). El nopal fue recolectado (2.0 a 3 kg·día⁻¹ para cerdos en Fase 1 y 5.0 a 6 kg·día⁻¹ para cerdos en Fase 2) en un rango de edad entre 60 y 90 días. La huerta fuente de biomasa de nopal pertenece a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia-Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Para facilitar el consumo, los cladodios de *O. ficus-indica* fueron fragmentados en trozos de 2 x 2 cm, aproximadamente.

Las dietas se ofrecieron *ad libitum* (cerdo·Fase⁻¹) a las 8:00 h (cerdo·día⁻¹·Fase⁻¹), previo retiro del alimento sobrante del día anterior. Los resultados del análisis bromatológico del alimento y nopal se muestran en el Cuadro 1.

Evaluación del perfil sanguíneo

Los niveles de glucosa sanguínea (GS), colesterol total (CT), lipoproteína de alta densidad (LAD), lipoproteína de baja densidad (LBD) y triglicéridos (TG) se determinaron en muestras sanguíneas (10 mL·cerdo⁻¹) al iniciar la fase experimental, y posteriormente a los 35, 50, 75 y 100 kg de PV. Las muestras se obtuvieron de la vena yugular previo ayuno (8:00 h) y se depositaron en tubos vacutainer® con suero activador de coagulación. Las muestras fueron almacenadas a 4 °C hasta ser centrifugadas (100 x g durante 10 min). El plasma obtenido mediante la centrifugación fue almacenado y congelado a -20 °C hasta su análisis.

El análisis del plasma consistió en la determinación de las concentraciones de CT, TG, LAD, LBD y GS. Las determinaciones se realizaron a través de métodos enzimáticos adaptados en un Cobas c 111Mira (Roche, Basilea, Suiza). Los reactivos utilizados fueron CHOL2, para CT (ref. 04 718 917 190, USA); TRIGL para TG (ref. 04 657 594 190, USA); HDLC3, para LAD (ref. 05 401 488 190, USA); LDL3, para LBD (ref. 07 005 806 190, USA) y GLUH2, para glucosa (ref. 04 657 527 190, USA).

Table 1. Bromatological analysis of the diets (base diet and base diet + nopal) and nopal biomass included in the diets of pigs in two production phases.**Cuadro 1. Análisis bromatológico de las dietas (dieta base y dieta base + nopal) y de la biomasa de nopal involucrada en las dietas de cerdos en dos fases de producción.**

Ingredients, g·kg ⁻¹ BD / Ingredientes, g·kg ⁻¹ de DB	Phase / Fase			
	20-50 kg	50-100 kg		
Sorghum / Sorgo	713.6	778.7		
Soybean paste / Pasta de soya	181.3	104.0		
Canola paste / Pasta de canola	80.9	99.1		
Calcium carbonate / Carbonato de calcio	12.2	10.0		
Calcium phosphate / Fosfato de calcio	3.7	0.5		
Lysine / Lisina	3.8	2.2		
Salt / Sal	3.0	3.0		
Vitamins + minerals, premix ^a / Vitaminas + minerales, premezcla ^a	2.5	2.5		
Nutritional composition of nopal (<i>O. ficus-indica</i>)^b / Composición nutrimental del nopal (<i>O. ficus-indica</i>)^b				
Crude protein, % / Proteína cruda, %	5.6			
Crude fat, % / Grasa cruda, %	0.2			
Fiber, % / Fibra, %	28.8			
Moisture, % / Humedad, %	88.6			
Ash, % / Cenizas, %	24.5			
Nitrogen-free elements, % / Elementos libres de nitrógeno, %	40.8			
Mucilage, g 300·g ⁻¹ dry basis / Mucílago, g 300·g ⁻¹ base seca	2.6			
Nutritional composition of the diets^c / Composición nutrimental de las dietas^c				
	Phase / Fase			
	20-50 kg		50-100 kg	
	BD/DB	BD/DB + nopal	BD/DB	BD/DB + nopal
Metabolizable energy, Mcal·kg ^{-1d} / Energía metabolizable, Mcal·kg ^{-1d}	3.1	3.1	3.1	3.1
Crude protein, % / Proteína cruda, %	19.3	15.8	17.7	14.2
Crude fat, % / Grasa cruda, %	2.0	2.0	2.3	1.9
Fiber, % / Fibra, %	0.4	3.0	3.7	6.3
Moisture, % / Humedad, %	11.0	20.2	11.0	20.7
Ash, % / Cenizas, %	3.6	7.2	3.3	8.1
Calcium, % ^d / Calcio, % ^d	0.6		0.5	
Phosphorus, % ^d / Fósforo, % ^d	0.5		0.45	
Lysine, % ^d / Lisina, % ^d	1.3		0.75	
Methionine-Cysteine, % ^d / Met-Cist, % ^d	0.64		0.54	

BD= Base diet

^a Portion per kg: Cu 30 mg; Fe 160 mg; Zn 160 mg; Mn 55 mg; Se 0.5; Cr 0.2 mg; Vitamin A 14,200 IU; Vitamin D3 2800 IU; Vitamin E 125 mg; Vitamin K3 5 mg; vitamina B1 2.4 mg; vitamina B2 8.7 mg; vitamina B6 4.5 mg; vitamina B12 0.05 mg; Pantothenic acid 35 mg; Folic acid 6 mg.^b Nopal supply was on a fresh basis: 1 %·day¹ according to individual pig live weight, adjusted weekly during the evaluation phase (20 to 100 kg).^c To determine the nutritional composition of the nopal-supplemented diet, 1 % nopal (*O. ficus-indica*) biomass, based on fresh weight (FW), was added on a dry basis to the balanced feed sample, prior to the bromatological analysis. The nopal mass was established based on LW (pig·week⁻¹·Phase¹).^d Chemical concentrations calculated using feed ingredient values according to the NRC (2012).^a Porción por kg: Cu 30 mg; Fe 160 mg; Zn 160 mg; Mn 55 mg; Se 0.5; Cr 0.2 mg; vitamina A 14,200 UI; vitamina D3 2800 UI; vitamina E 125 mg; vitamina K3 5 mg; vitamina B1 2.4 mg; vitamina B2 8.7 mg; vitamina B6 4.5 mg; vitamina B12 0.05 mg; ácido pantoténico 35 mg; ácido fólico 6 mg.^b Suministro de nopal fue en base fresca: 1 %·día¹ de acuerdo con el peso vivo cerdo, peso ajustado semanalmente durante la fase de evaluación (20 a 100 kg).^c Para determinar la composición nutricional de la dieta suplementada con nopal, se agregó en base seca a la muestra de alimento balanceado, previo del análisis bromatológico, la cantidad correspondiente al 1 % de biomasa de nopal (*O. ficus-indica*) con base en peso fresco (BF). La masa de nopal se estableció con base en el PV (cerdo·semana⁻¹·Fase¹).^d Concentraciones químicas calculadas usando los valores de los ingredientes del alimento de acuerdo con la NRC (2012).

pigs were weighed on a 300-kg-capacity scale® (Rhino, sale) with accuracy of ± 100 g.

Statistical analysis

The information recorded on the TC, HDL, LDL, BG and TG variables was analyzed using the repeated measures method (Littell, Henry, & Ammerman, 1998) and the following statistical model:

$$Y_{ijkl} = \mu + G_i + C(G)_{ij} + PV_k + PV(G)_{ik} + \epsilon_{ijkl}$$

where Y_{ijkl} is the response variable (TC, HDL, LDH, BG or TG) in time l with live weight k in pig j in group i ; μ = overall mean; G_i = fixed effect of the i -th group with $i = 1, 2$; $C(G)_{ij}$ = random effect of the j -th pig in the i -th group; PV_k = fixed effect of the k -th live weight with $k = 25, 35, 50, 75$ and 100 kg; $PV(G)_{ik}$ = fixed effect of the k -th live weight with the i -th group; ϵ_{ijkl} = random error associated with each observation.

The LW, feed intake (FI) and WWG data of the pigs were also analyzed by the repeated measures procedure (Littell et al., 1998). The model used was:

$$Y_{ijkl} = \mu + G_i + C(G)_{j(i)} + FP_k + FP(G)_{ik} + \epsilon_{ijkl}$$

where Y_{ijkl} is the response variable (LW, FI and WWG); μ = overall mean; G_i = fixed effect of the i -th group with $i = 1, 2$; $C(G)_{j(i)}$ = random effect of the j -th pig in the i -th group; FP_k = fixed effect of the k -th production phase $k = 1, 2$; $FP(G)_{ik}$ = fixed effect of the k -th production phase in the i -th group; ϵ_{ijkl} = random error associated with each observation.

On the other hand, a Pearson correlation matrix (r) was estimated when considering metabolites and feed intake and growth variables in the development stage.

Results

The group and LW (Group) nesting factors had significant effects ($P < 0.05$) on TC, LDL and BG during the 20-100 kg LW stage of the pigs ($G1 > G2$, Table 2), while HDL and TG were greater ($P < 0.05$) in $G2$ than in $G1$.

BG correlated with the week ($r = -0.32$, $P < 0.001$), daily base diet® intake ($r = -0.27$, $P < 0.001$) and LW ($r = -0.15$, $P < 0.05$). TC correlated with the week ($r = -0.22$; $P < 0.001$) and LW ($r = -0.24$; $P < 0.001$). HDL correlated with LW ($r = -0.18$; $P < 0.05$) and WWG ($r = -0.21$; $P < 0.05$), while LDL only correlated with WWG ($r = -0.30$; $P < 0.001$) (Table 3).

BG decreased to 69.7 mg·dL⁻¹ at 70 kg LW in $G2$ (Figure 1). In $G1$, BG levels remained within a range of 87.6 to 95 mg·dL⁻¹ during the monitoring of the experimental phase (20-100 kg LW) (Figure 1).

Evaluación del comportamiento productivo

El consumo de alimento (kg) (día-cerdo⁻¹) se determinó por diferencia entre el consumo ofrecido y rechazado.

Los cerdos fueron pesados al inicio de cada semana, durante las Fases involucradas hasta que llegaron al peso para abasto (100 kg PV promedio). Con esa información se calculó la ganancia de peso cerdo·semana⁻¹·Fase⁻¹ (GPS). El peso de los cerdos se realizó en una báscula® (Rhino, venta) con capacidad de 300 kg y precisión de ± 100 g.

Análisis estadístico

La información registrada de las variables CT, LAD, LBD, GS y TG se analizó mediante el método de medidas repetidas (Littell, Henry, & Ammerman, 1998) y el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ijkl} = \mu + G_i + C(G)_{ij} + PV_k + PV(G)_{ik} + \epsilon_{ijkl}$$

donde Y_{ijkl} es la variable respuesta (CT, LAD, LBD, GS o TG) en el tiempo l con el peso vivo k en el cerdo j en el grupo i ; μ = media general; G_i = efecto fijo del i -ésimo grupo con $i = 1, 2$; $C(G)_{ij}$ = efecto aleatorio del j -ésimo cerdo en el i -ésimo grupo; PV_k = efecto fijo del k -ésimo peso vivo con $k = 25, 35, 50, 75$ y 100 kg; $PV(G)_{ik}$ = efecto fijo del k -ésimo peso vivo en el i -ésimo grupo; ϵ_{ijkl} = error aleatorio asociado a cada observación.

Los datos de PV, consumo de alimento (CA) y GPS de los cerdos también se analizaron mediante el procedimiento de medidas repetidas (Littell et al., 1998). El modelo utilizado fue:

$$Y_{ijkl} = \mu + G_i + C(G)_{j(i)} + FP_k + FP(G)_{ik} + \epsilon_{ijkl}$$

donde Y_{ijkl} es la variable respuesta (PV, CA y GPS); μ = media general; G_i = efecto fijo del i -ésimo grupo con $i = 1, 2$; $C(G)_{j(i)}$ = efecto aleatorio del j -ésimo cerdo en el i -ésimo grupo; FP_k = efecto fijo de la k -ésimo fase de producción $k = 1, 2$; $FP(G)_{ik}$ = efecto fijo de la k -ésimo fase de producción en el i -ésimo grupo; ϵ_{ijkl} = error aleatorio asociado a cada observación.

Por otra parte, una matriz de correlaciones de Pearson (r) fue estimada al considerar metabolitos y variables de consumo de alimento y crecimiento en la etapa de desarrollo.

Resultados

Los factores grupo y anidación PV(Grupo) tuvieron efectos significativos ($P < 0.05$) sobre CT, LBD y GS durante la etapa de 20 a 100 kg de PV de los cerdos ($G1 > G2$; Cuadro 2). Mientras que LAD y TG fueron mayores ($P < 0.05$) en $G2$ que en $G1$.

Table 2. Least-squares means of blood metabolite levels of pigs in the development stage that consumed the base diet (BD) (Group 1, G1) and BD supplemented with nopal (Group 2, G2).

Cuadro 2. Medias de mínimos cuadrados de los niveles de metabolitos en sangre de cerdos en la etapa de desarrollo que consumieron la dieta base (DB) (Grupo 1, G1) y DB suplementado con nopal (Grupo 2, G2).

Metabolite (mg dL ⁻¹)/Metabolito (mg dL ⁻¹)	G1	G2
	$\bar{X} \pm SE / \bar{X} \pm EE$	$\bar{X} \pm SE / \bar{X} \pm EE$
Total cholesterol (TC)/Colesterol total (CT)	113.5 ^a ± 1.3	109.2 ^b ± 1.3
High-density lipoprotein (HDL)/Lipoproteína de alta densidad (LAD)	39.1 ^a ± 4.1	57.9 ^b ± 4.1
Low-density lipoprotein (LDL)/Lipoproteína de baja densidad (LBD)	66.1 ^a ± 3.0	49.9 ^b ± 3.0
Blood glucose (BG)/Glucosa sanguínea (GS)	95.0 ^a ± 4.6	78.8 ^b ± 4.6
Triglycerides (TG)/Triglicéridos (TG)	29.8 ^a ± 2.0	35.6 ^b ± 2.0

SE=Standard error

Different letters in rows indicate significant differences ($P < 0.05$) between groups.

EE=Error estándar

Letras diferentes en renglones indican diferencias significativas ($P < 0.05$) entre grupos.

Table 3. Pearson correlation matrix (r) between blood metabolites and feed intake and growth variables of pigs in the development stage.

Cuadro 3. Matriz de correlaciones de Pearson (r) entre metabolitos sanguíneos y variables de consumo de alimento y crecimiento de cerdos en la etapa de desarrollo.

	Blood metabolites / Metabolitos sanguíneos				Feed intake and growth / Consumo de alimento y crecimiento			
	HDL/LAD	LDL/LBD	BG/GS	TG	Week/ Semana	LW/PV	BDI/CDB	WG/GP
TC/CT	0.09 ^{NS}	0.37 ^{**}	-0.19 [*]	-0.30 ^{**}	-0.22 ^{**}	-0.24 ^{**}	-0.13 ^{NS}	-0.10 ^{NS}
HDL/LAD		-0.63 ^{**}	-0.12 ^{NS}	0.04 ^{NS}	-0.14 ^{NS}	-0.12 ^{NS}	-0.18 [*]	-0.21 [*]
LDL/LBD			-0.19 [*]	0.17 [*]	0.05 ^{NS}	0.01 ^{NS}	0.10 ^{NS}	-0.30 ^{**}
BG/GS				0.04 ^{NS}	-0.32 ^{**}	-0.27 ^{**}	-0.15 [*]	-0.01 ^{NS}
TG					-0.21 [*]	-0.22 ^{**}	-0.24 ^{**}	-0.02 ^{NS}

TC = Total cholesterol; HDL = High-density lipoproteins; LDL = Low-density lipoproteins; BG = Blood glucose; TG = triglycerides; LW = Live Weight; BDI = Daily base diet intake; WG = Total weight gain; * = Significant Correlation ($P < 0.05$); ** = Very significant correlation ($P < 0.001$); NS = Not significant correlation ($P > 0.05$).

CT=Colesterol total; LAD = Lipoproteínas de alta densidad; LBD = Lipoproteínas de baja densidad GS = Glucosa sanguínea; TG = triglicéridos; PV = Peso Vivo; CDB = Consumo diario de la dieta base; GP = Ganancia de peso total; * = Correlación Significativa ($P < 0.05$); ** = Correlación muy significativa ($P < 0.001$); NS = Correlación no significativa ($P > 0.05$).

The TC, TG, LDL and HDL metabolites showed different behaviors. TC decreased as the pig's LW increased, both in G1 and in G2; however, TC was different ($P < 0.05$) in 100 kg LW pigs between G1 and G2 (109.3 and 84.1 mg·dL⁻¹) (Figure 2). The G2 pigs presented a higher TG level than the G1 pigs; the significant difference ($P < 0.05$) between groups corresponds to 100 kg LW (32.5 mg·dL⁻¹ in G1 vs 39.1 mg·dL⁻¹ in G2), and TG increased when the pigs had greater than 75 kg LW in both groups (Figure 2).

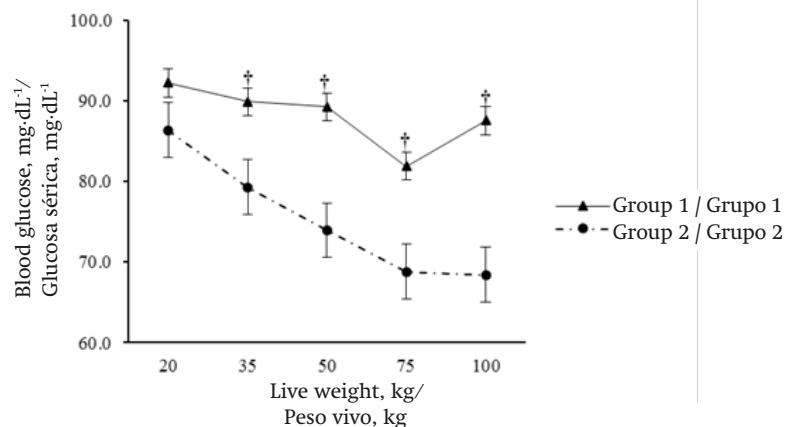
The LDL values were different ($P < 0.05$) in the 35 kg LW pigs (Figure 2). The LDL levels in G2 were lower ($P < 0.05$) than in G1. In G2, LDL increased when the pigs went from 75 to 100 kg LW (38.5 and 54.4 mg·dL⁻¹).

The HDL levels were higher ($P < 0.05$) in the G2 pigs (fed with the nopal-supplemented diet) than in those of

GS se correlacionó con la semana ($r = -0.32$, $P < 0.001$), consumo diario de la dieta base[®] ($r = -0.27$, $P < 0.001$) y PV ($r = -0.15$, $P < 0.05$). CT se correlacionó con la semana ($r = -0.22$; $P < 0.001$) y PV ($r = -0.24$; $P < 0.001$). LAD se correlacionó con PV ($r = -0.18$; $P < 0.05$) y GPS ($r = -0.21$; $P < 0.05$), mientras que LBD solo se correlacionó con GPS ($r = -0.30$; $P < 0.001$) (Cuadro 3).

GS disminuyó hasta 69.7 mg·dL⁻¹ GS a 70 kg de PV en G2 (Figura 1). En G1, los niveles de GS permanecieron dentro de un rango de 87.6 a 95 mg·dL⁻¹ durante el monitoreo de la fase experimental (20-100 kg de PV) (Figura 1).

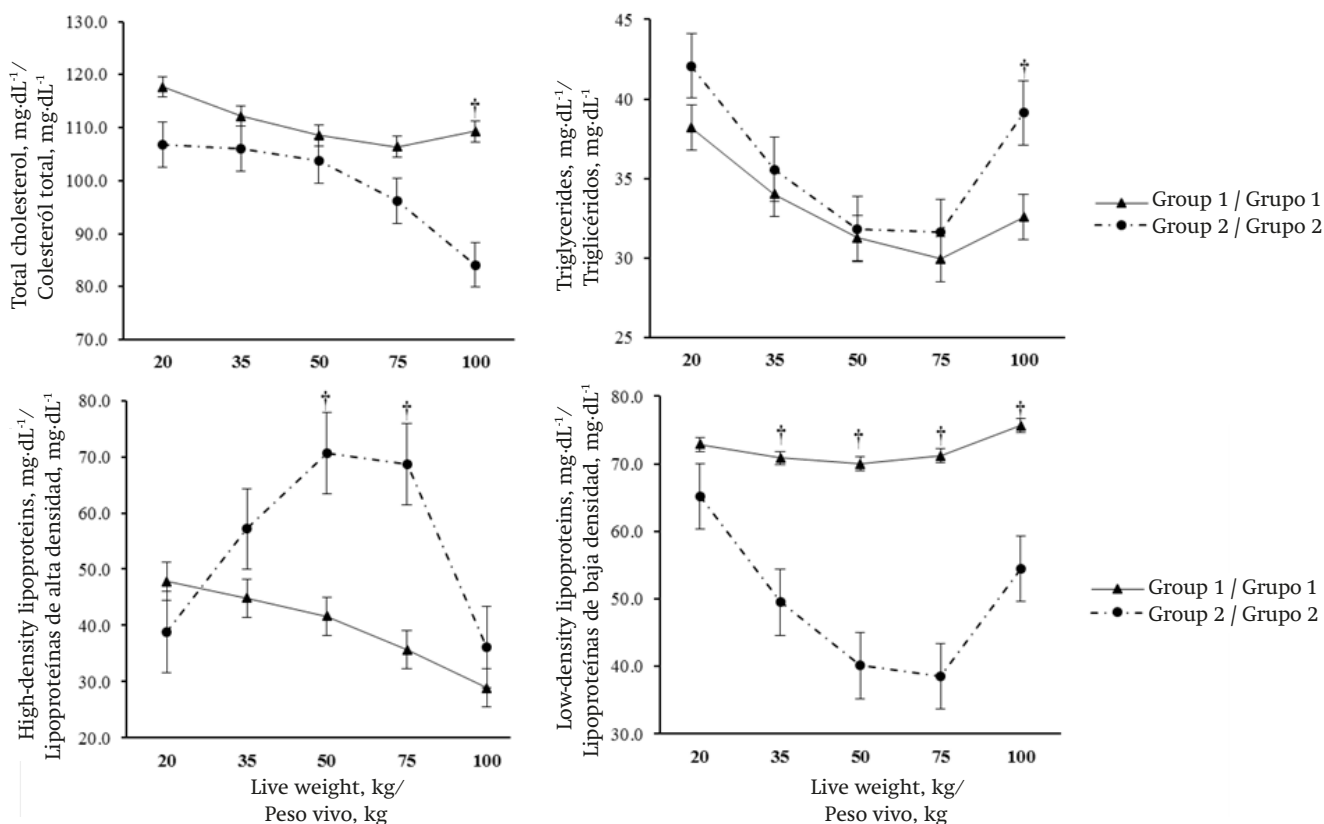
Los metabolitos CT, TG, LBD y LAD mostraron comportamientos diferentes. CT disminuyó conforme el PV de los cerdos, se incrementó tanto en G1 como en G2; pero CT fue diferente ($P < 0.05$) en cerdos de 100



†Indicates statistical difference ($P < 0.05$) between groups / †Indica diferencia estadística ($P < 0.05$) entre grupos.

Figure 1. Least-squares means for glucose levels according to the live weight of the pigs in the development phase. Group 1, (Base diet, BD) and Group 2 (BD supplemented with nopal).

Figura 1. Medias de mínimos cuadrados para los niveles de glucosa de acuerdo con el peso vivo de los cerdos en fase de desarrollo. Grupo 1, (Dieta base, DB) y Grupo 2 (DB suplementado con nopal).



†Indicates statistical difference ($P < 0.05$) between groups / †Indica diferencia estadística ($P < 0.05$) entre grupos.

Figure 2. Least-squares means of cholesterol, high- and low-density lipoprotein and triglyceride levels according to the weight (group) nesting. Group 1, (Base diet, BD) and Group 2 (BD supplemented with nopal).

Figura 2. Medias de mínimos cuadrados de niveles de colesterol, lipoproteínas de alta y baja densidad y triglicéridos de acuerdo con la anidación peso (grupo). Grupo 1, (Dieta base, DB) y Grupo 2 (DB suplementado con nopal).

G1 (Figure 2). The differences were important in 50 kg pigs (70.6 mg·dL⁻¹ in G2 vs 41.6 mg·dL⁻¹ in G1) and 75 kg ones (68.6 mg·dL⁻¹ in G2 vs 35.6 mg·dL⁻¹ in G1).

Productive behavior

Daily base diet[®] (BD) intake per pig was higher in G1 than in G2 in both phases ($P < 0.05$) (Table 4). BD intake (pig·Phase⁻¹) in G1 was 303.7 kg between 20 and 100 kg LW, while in G2 it was 257.4 kg; that is, BD intake was 46.3 kg (15.2 %) less in G2 than in G1, even though total nopal intake (pig) during this period (20-100 kg LW) was 5.1 kg on dry basis (DB) (48.2 kg in FB) pig (Table 4). This resulted in a total feed intake (BD + nopal in DB) of 262.5 kg·pig⁻¹.

The difference in productive efficiency was not significant ($P > 0.05$) between G1 and G2. However, feed conversion (Table 4) was significant ($P < 0.05$) between groups; that of G1 was greater than that of G2 in the phases considered. In other words, nopal-supplemented diet intake induced greater feed conversion without affecting final weight, weight gain, phase duration and duration to reach a weight of 100 kg (Table 4).

Discussion

Feed is one of the main factors that can affect the general health condition and nutritional value of pig meat (protein and fat, mainly) (Hernández et al., 2016). Therefore, the evaluation of the nopal-supplemented diet for 20-100 kg LW pigs is important, especially when it is known that nopal (*O. ficus-indica*) has hypoglycemic and hypocholesterolemic effects in the individuals who consume it (Ordaz et al., 2017). In addition, diets rich in fermentable fiber have been proven to increase satiety in the long term after a meal (Souza da Silva, Bolhuis, Gerrits, Kemp, & van den Borne, 2013). Van Hees (2012) questions diets rich in fermentable fiber and suggests that it should be established whether long-term satiety does not, in fact, reduce the productivity of pigs during the development and finishing phase (20-100 kg LW).

In the case presented here, the nopal-supplemented diet (G2) induced less commercial feed (BD) intake without affecting pig growth, possibly because the nopal generated greater efficiency in the digestion process (Corte, Martínez, & Ortiz, 2011; Ordaz et al., 2017) since nopal intake causes increased insulin release (Cut et al., 2011) at the pancreatic level (Pari & Latha, 2005) due to its high calcium content (2,836.00 ± 157.71 mg·100 g⁻¹, DM) (Villela, Giovana, Damiao, & Andrade, 2014). The presence of insulin decreases BG (Ordaz et al., 2017) and stimulates the production of the growth hormone (Etherton, 2009); this hormone increases the absorption of amino acids and protein anabolism in muscles (Barretero-Hernandez, Galyean,

kg PV entre G1 y G2 (109.3 y 84.1 mg·dL⁻¹) (Figura 2). Los cerdos de G2 presentaron mayor nivel de TG que los cerdos de G1; la diferencia significativa ($P < 0.05$) entre grupos corresponde a 100 kg PV (32.5 mg·dL⁻¹ en G1 versus 39.1 mg·dL⁻¹ en G2), y TG incrementó cuando los cerdos tuvieron PV mayor a 75 kg en ambos grupos (Figura 2).

Los valores de LBD fueron diferentes ($P < 0.05$) en los cerdos 35 kg PV (Figura 2). Los niveles de LBD en G2 fueron menores ($P < 0.05$) que en G1. En G2, LBD se incrementó cuando los cerdos pasaron de 75 a 100 kg de PV (38.5 y 54.4 mg·dL⁻¹).

Los niveles de LAD fueron mayores ($P < 0.05$) en los cerdos del G2 (alimentados con la dieta suplementada con nopal) que en los del G1 (Figura 2). Las diferencias fueron importantes en cerdos de 50 kg (70.6 mg·dL⁻¹ en G2 versus 41.6 mg·dL⁻¹ en G1) y 75 kg (68.6 mg·dL⁻¹ en G2 versus 35.6 mg·dL⁻¹ en G1).

Comportamiento productivo

El consumo de la dieta base[®] (DB) cerdo·día⁻¹ fue mayor en G1 que en G2 en ambas fases ($P < 0.05$) (Cuadro 4). El consumo de la DB (cerdo·Fase⁻¹) en G1 fue 303.7 kg entre los 20 y 100 kg PV, mientras que en G2 fue de 257.4 kg; es decir, el consumo de la DB fue 46.3 kg (15.2 %) menor en G2 que en G1, aun y cuando el consumo total de nopal (cerdo) durante este periodo (20 a 100 kg de PV) fue de 5.1 kg en base seca (BS) (48.2 kg en BF) cerdo (Cuadro 4). Esto resultó en un consumo total de alimento (DB + nopal en BS) de 262.5 kg·cerdo⁻¹.

La diferencia de eficiencia productiva fue no significativa ($P > 0.05$) entre G1 y G2. Sin embargo, la conversión alimenticia (Cuadro 4) fue significativa ($P < 0.05$) entre grupos; la de G1 fue mayor que la de G2 en las fases consideradas. En otras palabras, el consumo de la dieta suplementada con nopal indujo mayor conversión alimenticia sin que se hayan afectado el peso final, ganancia de peso, duración de la fase y duración para alcanzar peso de 100 kg (Cuadro 4).

Discusión

La alimentación es uno de los principales factores que puede repercutir sobre el estado general de salud y el valor nutrimental de la carne (proteína y grasa, principalmente) de los cerdos (Hernández et al., 2016). Por consiguiente, la evaluación de la dieta suplementada con nopal para cerdos de 20 a 100 kg de PV es importante, sobre todo, cuando se sabe que el nopal (*O. ficus-indica*) posee efectos hipoglucémicos e hipocolesterolémicos en los individuos que lo consumen (Ordaz et al., 2017). Además, las dietas ricas en fibra fermentable han probado incrementar la

Table 4. Least-squares means of voluntary feed intake-pig¹ during the production phases in two groups of individuals: Group 1, G1 (base diet, BD) and Group 2, G2 (BD supplemented with nopal).
Cuadro 4. Medias de mínimos cuadrados de consumo voluntario de alimento-cerdo¹ durante las fases de producción en dos grupos de individuos: Grupo 1, G1 (dieta base, DB) y Grupo 2, G2 (DB suplementado con nopal).

Indicator/Indicador	G1		G2	
	Phases/Fases		Phases/Fases	
	20-50 kg	50-100 kg	20-50 kg	50-100 kg
Intake/Consumo				
BD·day ¹ (kg)/ DB·día ¹ (kg)	1.8 ^a ± 0.06	3.4 ¹ ± 0.06	1.6 ^b ± 0.06	2.9 ² ± 0.06
BD-week ¹ (kg)/ DB-semana ¹ (kg)	12.8 ^a ± 0.4	23.3 ¹ ± 0.4	11.0 ^b ± 0.4	19.3 ² ± 0.4
Nopal-day ¹ (FB) (kg)/ Nopal-día ¹ (BF) (kg)	NC	NC	0.3 ± 0.02	0.6 ± 0.02
Nopal-week ¹ (FB) (kg)/ Nopal-semana ¹ (BF) (kg)	NC	NC	1.7 ± 0.2	3.8 ± 0.2
Total BD Phase (kg)/ DB Total Fase (kg)	95.8 ^a ± 3.3	207.2 ¹ ± 3.3	84.4 ^a ± 3.3	174.3 ² ± 3.3
Total BD both Phases (kg)/ DB total ambas Fases (kg)	303.7 ^a ± 1.6		257.4 ^b ± 1.6	
Total Nopal (FB) (kg)/ Nopal Total (BF) (kg)	NC	NC	13.5 ± 1.3	34.4 ± 1.3
Total Nopal both Phases (FB) (kg)/ Nopal Total ambas Fases (BF) (kg)	NC	NC	48.2 ± 0.6	
BD + Nopal (DB) (kg)/ DB + Nopal (BS) (kg)	NC	NC	85.5 ± 3.4	178.4 ± 3.3
BD + Nopal (DB) Total (kg)/ DB + Nopal (BS) Total (kg)	NC	NC	262.5 ± 1.6	
Productivity/Productividad				
Initial weight (kg)/ Peso inicial (kg)	22.8 ^a ± 0.4	53.2 ¹ ± 0.4	21.9 ^a ± 0.4	53.4 ¹ ± 0.4
Final weight (kg)/ Peso final (kg)	48.0 ^a ± 0.4	100.8 ¹ ± 0.4	48.3 ^a ± 0.4	101.7 ¹ ± 0.4
Weight gain-day ¹ (kg)/ Ganancia de peso-día ¹ (kg)	0.559 ^a ± 0.02	0.866 ¹ ± 0.01	0.572 ^a ± 0.02	0.882 ¹ ± 0.01
Feed conversion (kg)/ Conversión alimenticia (kg)	3.3 ^a ± 0.1	3.9 ¹ ± 0.1	2.7 ^b ± 0.1	3.4 ² ± 0.1
Phase duration (days)/ Duración de la Fase (días)	52.4 ^a ± 0.8	61.6 ¹ ± 0.8	53.5 ^a ± 0.8	61.4 ¹ ± 0.8
Duration for 100 kg (days)/ Duración para 100 kg (días)	114.0 ^a ± 0.6		114.9 ^a ± 0.6	

BD= Base diet; _{FB}= Fresh basis; _{DB}=Dry basis; ^{NC}= Did not consume

Letters ^{a, b} indicate differences ($P < 0.05$) between groups within the 20-50 kg Phase.

Numerals 1, 2 indicate differences ($P < 0.05$) between groups within the 50-100 kg Phase.

DB= Dieta base; _{FB}= Base fresca; _{BS}=Base seca; ^{NC}= No consumo

Literales ^{a, b} indican diferencias ($P < 0.05$) entre grupos dentro de la Fase 20-50 kg.

Numerales ^{1, 2} indican diferencias ($P < 0.05$) entre grupos dentro de la Fase 50-100 kg.

& Vizcarra, 2010). In addition, the soluble fiber (35 %) (Tang et al., 2005) present in nopal (Torres, 2011) may be able to inhibit the production of BG and TC through the formation of a gel layer (pecti-gel) that covers the lipid substances of the feed, thereby preventing its absorption (Liu et al., 2016). Thus, the pecti-gel increases the production of bile acids and decreases the

saciedad a largo plazo después de una comida (Souza da Silva, Bolhuis, Gerrits, Kemp, & van den Borne, 2013). Van Hees (2012), cuestiona las dietas ricas en fibra fermentable y sugiere que se debe establecer si la saciedad a largo plazo no reduce la productividad de los cerdos durante la fase de desarrollo y finalización (20 a 100 kg de peso vivo).

transit speed of feed through the digestive tract, in an attempt to degrade the lipids contained in the diet (Liu et al., 2016). This action also promotes: a) the digestion of other nutrients in the feed (Barretero-Hernandez et al., 2010) and b) the early satiety signal (Heimendahl, Breves, & Abel, 2009). These aspects may explain why the G2 pigs consumed less feed compared to the G1 pigs, despite having a decrease in BG.

Mortaz, Fewtrell, Cole, and Lucas (2001), and Frazer et al. (2001) have established that as pigs get older their TC level decreases. In this sense, the results showed a negative correlation (r) between the age of the pig (week or LW) and the TC level. This trend was more evident in the group of pigs that consumed nopal (G2) than in the pigs with the conventional diet (G1). In addition, lipoproteins (LDL and HDL) play a key role in transporting cholesterol esters to extrahepatic tissues and the bloodstream (Muñoz, Díaz, González, Medina, & Cardona, 2014); therefore, maintaining an equilibrium in the production of both lipoproteins (1:1) through the composition of the diet is an important aspect. In this regard, the general LDL:HDL ratio in the G2 pigs was 0.86:1, while in the G1 ones it was 1.69:1. These ratios suggest that the consumption of the base diet increases the LDL level, while the consumption of the base diet supplemented with nopal induces an LDL:HDL ratio closer to equilibrium.

The evidence that the pigs for market fed the nopal-supplemented base diet consumed less feed without affecting their growth (LW) was an interesting finding, especially since the animal nutrition area is currently focused on reducing feed costs (Herrera et al., 2013). Apparently, regardless of the nutritional contribution it contains, nopal intake may be able to increase the effect of using feed and convert it into kilograms of meat.

Conclusions

The diet supplemented with 1 % nopal (based on the live weight of the pig-week¹) modified the energy metabolism (glucose, cholesterol, triglycerides, high- and low-density lipoproteins) in pigs during the production phases (20-50 and 50-100 kg live weight). In addition, nopal supplementation induced lower daily base diet[®] intake in pigs without affecting their growth (kg) or the time to reach commercial weight.

En el caso aquí presentado, la dieta complementada con nopal (G2) indujo menos consumo de DB sin afectar el crecimiento de los cerdos. Esto puede ser explicado porque el nopal pudo haber generado mayor eficiencia del proceso de digestión (Corte, Martínez, & Ortiz, 2011; Ordaz et al., 2017), debido a que la ingesta de nopal provoca incremento de la liberación de insulina (Corte et al., 2011), a nivel pancreático (Pari & Latha, 2005) por su gran contenido de calcio ($2,836.00 \pm 157.71$ mg·100 g⁻¹, MS) (Vilella, Giovana, Damiao, & Andrade, 2014). La presencia de insulina disminuye la GS (Ordaz et al., 2017) y estimula la producción de la hormona del crecimiento (Etherton, 2009); esta hormona aumenta la absorción de aminoácidos y el anabolismo de proteínas en músculos (Barretero-Hernandez, Galyean, & Vizcarra, 2010). Además, la fibra soluble (35 %) (Tang et al., 2005) presente en el nopal (Torres, 2011) puede ser capaz de inhibir la producción de GS y CT a través de la formación de una capa de gel (pecti-gel) que cubre las sustancias lipídicas del alimento impidiendo su absorción (Liu et al., 2016). Así, el pecti-gel incrementa la producción de ácidos biliares y disminuye la velocidad de tránsito del alimento por el tracto digestivo, en un intento por degradar los lípidos contenidos en la dieta (Liu et al., 2016); esta acción también promueve: a) la digestión de otros nutrientes presentes en el alimento (Barretero-Hernandez et al., 2010) y b) la señal temprana de saciedad (Heimendahl, Breves, & Abel, 2009). Dichos aspectos pueden explicar por qué los cerdos del G2 consumieron menos alimento en comparación con los cerdos del G1, a pesar de presentar disminución de GS.

Mortaz, Fewtrell, Cole, y Lucas (2001), y Frazer et al. (2001) han establecido que conforme el cerdo tiene mayor edad, el nivel de CT disminuye. En este sentido, los resultados mostraron una correlación (r) negativa entre la edad del cerdo (semana o PV) y el nivel de CT. Esta tendencia fue más evidente en el grupo de cerdos que consumieron nopal (G2) que en los cerdos con la dieta convencional (G1). Además, las lipoproteínas (LBD y LAD) juegan un papel fundamental en la transportación de los esterios de colesterol a tejidos extrahepáticos y torrente sanguíneo (Muñoz, Díaz, González, Medina, & Cardona, 2014); por ello, mantener un equilibrio en la producción de ambas lipoproteínas (1:1) a través de la composición de la dieta es un aspecto importante. Al respecto, la proporción general LBD:LAD en los cerdos del G2 fue 0.86:1, mientras que en los del G1 fue 1.69:1. Esas proporciones sugieren que el consumo de la dieta base incrementa el nivel de LBD, mientras que el consumo de la dieta base suplementada con nopal induce una proporción LBD:LAD más cercana al equilibrio.

La evidencia de que los cerdos para abasto alimentados con la dieta base suplementada con nopal consumieran menos alimento sin afectar su crecimiento (PV) fue un hallazgo interesante. Así se considera porque en la

End of English version

References / Referencias

- Aguilar, B. J. L., Valdez, A. J. J., Val, A. D., Martínez, F. H. E., Pérez, S. R. E., & Ortiz, R. R. (2016). Efecto de la adición de mucilago de dos variedades (*Opuntia ficus-indica* y *Opuntia atropes*) en leche cruda sobre el contenido de mesófilas aerobias y coliformes totales. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1: 573-578. <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume1/1/5/99.pdf>
- Barretero-Hernandez, R., Galyean, M. L., & Vizcarra, J. A. (2010). The effect of feed restriction on plasma ghrelin, growth hormone, insulin, and glucose tolerance in pigs. *The Professional Animal Scientist*, 26(1), 26-34. Doi: 10.15232/S1080-7446(15)30555-6
- Corte, O. L. Y., Martínez, F. H. E., & Ortiz, A. R. (2011). Efecto del consumo de la fibra dietética en la expresión cuantitativa del receptor de butirato GPR43 en colon de ratas. *Nutrición Hospitalaria*, 26(5): 1052-1058. http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-16112011000500020.
- Etherton, T. D. (2009). ASAS Centennial Paper: Animal growth and development research: Historical perspectives. *Journal of animal science*, 87(9), 3060-3064. doi:10.2527/jas.2009-1805
- Frazer J. A., Thompson, K. G., James, K. A. C., Manktelow, B. W., Koolaard, J. P., Johnson, R. N.,... & McNutt, P. V. (2001). Serum lipoprotein cholesterol and triglyceride concentrations in pigs fed diets containing fish oil, milkfat, olive oil and coconut oil. *Nutrition Research* 21: 785-795. doi: 10.1016/S0271-5317(01)00267-6.
- García, E. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación Köppen: Para adaptarlo a las condiciones de la república mexicana. Instituto de geografía UNAM, 5 (6): 18-21. http://www.igeograf.unam.mx/sigg/utilidades/docs/pdfs/publicaciones/geo_siglo21/serie_lib/modific_al_sis.pdf.
- Heimendahl, E. V., Breves, G., & Abel, H. J. (2009). Fiber-related digestive processes in three different breeds of pigs. *Journal of animal science*, 88(3): 972-981. doi: 10.2527/jas.2009-2370
- Hernández, L. S. H., Rodríguez, C. J. G., Lemus, F. C., Grageola, N. F., & Estévez, M. (2016). Avocado waste for finishing pigs: Impact on muscle composition and oxidative stability during chilled storage. *Meat Science*, 116: 186-192. doi: 10.1016/j.meatsci.2016.02.018.
- Herrera, R., Pérez, A., Arece, J., Hernández, A., & Iglesias, J. M. (2013). Utilización de grano de sorgo y forraje de leñosas en la ceba porcina. *Pastos y Forrajes*, 36(1), 56-63. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&id=S0864-03942013000100005.
- Lefaucheur, L., Lebret, B., Ecolan, P., Louveau, I., Damon, M., Prunier, A., Billon, Y., Sellier, P.,... & Gilbert, H. (2011). Muscle characteristics and meat quality traits are affected by divergent selection on residual feed intake in pigs. *Journal of animal science*, 89(4), 996-1010. doi: 10.2527/jas.2010-3493.
- Littell, R. C., Henry, P. R., & Ammerman, C. B. (1998). Statistical analysis of repeated measures data using actualidad el área de nutrición animal está enfocada en reducir los costos de alimentación (Herrera et al., 2013). Al parecer, independientemente del aporte nutricional que contenga, la ingesta de nopal puede ser capaz de potencializar el aprovechamiento del alimento y convertirlo en kilogramos de carne.

Conclusiones

La dieta suplementada con 1 % de nopal (con base en el peso vivo del cerdo-semana⁻¹) modificó el metabolismo energético de los cerdos (glucosa, colesterol, triglicéridos, lipoproteínas de alta y baja densidad) en cerdos durante las fases de producción (20 a 50 y 50 a 100 kg de peso vivo). Además, la suplementación del nopal indujo menor consumo de la dieta base[®] (cerdo-día⁻¹) sin afectar el crecimiento (kg) de los cerdos ni el tiempo para que alcanzaran el peso comercial (100 kg).

Fin de la versión en español

SAS procedures. *Journal of animal science*, 76(4), 1216-1231. <https://pdfs.semanticscholar.org/7fd4/773cd2d11a0b4c842c1d1bf83b949697a9fa.pdf>.

Liu, Q., Zhang, Q. M., Zhang, Z. J., Zhang, Y. J., Zhang, Y. W., Chen, L.,... & Zhuang, S. (2016). Effect of fiber source and enzyme addition on the apparent digestibility of nutrients and physicochemical properties of digest in cannulated growing pigs. *Animal Feed Science and Technology* 216: 262-272. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2016.04.002.

Mortaz, M., Fewtrell, M. S., Cole, T. J., & Lucas, A. (2001). Birth weight, subsequent growth, and cholesterol metabolism in children 8-12 years old born preterm. *Archives of Disease in Childhood*, 84(3), 212-217. doi: 10.1136/adc.84.3.212.

Muñoz, L., Díaz, Y., González, C., Medina, E., & Cardona, E. (2014). Efecto de la administración oral de nopal deshidratado sobre el perfil de lípidos en individuos con dislipidemia y sobrepeso/obesidad. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 1(1), 149-160. <http://www.reibci.org/publicados/2014/mayo/4569513-a.html>.

Ordaz, O. G., Juárez, C. A., Pérez, S. R. E., Román, B. R. M., & Ortiz, R. R. (2017). Effect of spineless cactus intake (*Opuntia ficus-indica*) on blood glucose levels in lactating sows and its impact on feed intake, body weight loss, and weaning-estrus Interval. *Tropical Animal Health Production*, 49(5), 1025-1033. doi: 10.1007/s11250-017-1295-7

Ortiz, R. R., Ordaz, O. G., Juárez, C. A., & Pérez, R. E. (2015). Efecto de nopal (*Opuntia ficus-indica*) sobre los niveles de glucosa sanguínea en cerdas lactantes y su repercusión en el consumo voluntario de alimento. Memorias del

- XXIV Congreso de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal y XL Congreso de la Sociedad Chilena de Producción Animal. (pp. 825). Puerto Varas, Chile.
- Ortiz, R. R., Orozco, G. A., Val, A. D., Portillo, M. L., & Perez, S. R. E. (2017). Efecto de la adición de nopal (*Opuntia ficus-indica*) a la dieta de cerdas lactantes sobre la producción y calidad de la leche. *Nova Scientia*, 9(8): 290-312. doi: 10.21640/ns.v9i18.765.
- Ortiz, R. R., Valdez, A. J. J., García, S. P. A., & Pérez, S. R. E. (2013). Evaluación de la producción de leche en vacas con una dieta complementada con nopal (*Opuntia ficus-indica*) en época de estiaje. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 21(2): 79-82. http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/Tuna/14-produccion_leche.pdf.
- Pari, L. & Latha, M. (2005). Antidiabetic effect of *Scoporia dulcis*: Effect on lipid peroxidation in streptozocin diabetes. *General Physiology and Biophysics*, 24: 13-26. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15900084>.
- Pierozan, C. R., Agostini, P. S., Gasa, J., Novais, A. K., Dias, C. P., Santos, R. S. K.,... & Silva, C. A. (2016). Factors affecting the daily feed intake and feed conversion ratio of pigs in grow-finishing units: the case of a Company. *Porcine health management*, 2(1), 7. doi: 10.1186/s40813-016-0023-4.
- Souza, da Silva, C., Bolhuis, J. E., Gerrits, W. J., Kemp, B., & van den Borne J. J (2013). Effects of dietary fibers with different fermentation characteristics on feeding motivation in adult female pigs. *Physiol. Behav.*, 17: 110-111: 148-157. doi: 10.1016/j.physbeh.2013.01.006
- Tang, Z. R., Yin, Y. L., Nyachoti, C. M., Huanga, R. L., Li, T. G., Yang, C., Yang, X. J., Gongge, J., Peng, J., Qi, D. S., Xing, J. J., Suna, Z. H.,... & Fan, M.Z. (2005). Effect of dietary supplementation of chitosan and galacto-mannan-oligosaccharide on serum parameters and the insulin-like growth factor-I mRNA expression in early-weaned piglets. *Domestic Animal Endocrinology*, 28(4), 430-441. doi: 10.1016/j.domaniend.2005.02.003.
- Torres, A. (2011). Composición química del nopal y sus implicaciones en la nutrición de rumiantes. *Revista salud pública y nutrición*, 5, 143-151.
- Van Hees, H. (2012). Avances recientes en nutrición de cerdos en crecimiento: Efectos nutricionales y funcionales de ingredientes alimenticios y nutrientes. *XXVII Curso de Especialización FEDNA*. Madrid 7 y 8 de Noviembre de 2012. pp 240-267. http://fundacionfedna.org/sites/default/files/12Cap_X.pdf.
- Villela, D. G., Giovana, B. A., Damiao, B. C., & Andrade, V. N. (2014). Composicao bromatológica, mineral e fatores antinutricionais da palma forrageira. *Tecnologia & Ciencia Agropecuaria*. 8(3): 51-55. <http://revistatca.pb.gov.br/edicoes/volume-08-2014/volume-8-numero-3-setembro-2014/tca8311.pdf>.