



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

**FACULTAD DE AGROBIOLOGÍA
“PRESIDENTE JUÁREZ”**

TESIS:

**“Efecto de la adición de nopal (*Opuntia ficus-indica*)
en la dieta de cerdos para abasto sobre el consumo de
agua alimento, rendimiento de la canal y producción
de gas metano (CH₄) en excretas”**

Que presenta:

MVZ. Sandra Betania Gaytán Lemus

Como requisito parcial para obtener el grado de:

Maestro en Ciencias Biológicas



MORELIA, MICHOACÁN, MÉXICO, AGOSTO DE 2017.



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

**FACULTAD DE AGROBIOLOGÍA
“PRESIDENTE JUÁREZ”**

TESIS:

**“Efecto de la adición de nopal (*Opuntia ficus-indica*)
en la dieta de cerdos para abasto sobre el consumo de
agua, alimento, rendimiento de la canal y producción
de gas metano (CH₄) en excretas”**

Que presenta:

MVZ. Sandra Betania Gaytán Lemus

Director de tesis:

DC. Rosa Elena Pérez Sánchez

Co-director:

DC. Daniel Val Arreola

Comité tutorial:

MC. Ruy Ortiz Rodríguez

DC. Juan José Valdez Alarcón

DC. Liberato Portillo Martínez



MORELIA, MICHOACÁN, MÉXICO, AGOSTO DE 2017

Agradecimientos

A Dios, por permitirme vivir, brindarme salud y sabiduría para culminar esta etapa profesional de mi vida.

A mis padres, Irma Lemus Ramírez y Jas Josué Gaytán Tecillo, por brindarme su amor y apoyo incondicional.

A mis hermanos, por sus comprensión y apoyo en el transcurso de mi formación.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo económico para realizar mis estudios de posgrado.

A la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, por el apoyo brindado al facilitar sus instalaciones para el desarrollo experimental de la investigación; Así como a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia y la Facultad de Agrobiología “Presidente Juárez” por brindarme la oportunidad de seguirme preparando profesionalmente.

Al M.C. Ruy Ortiz Rodríguez, por su preocupación, enseñanza, paciencia y esfuerzo al orientarme en mi aprendizaje.

A la Dra. Rosa Elena Pérez Sánchez, por aceptarme como su alumna, por su empeño, paciencia y amabilidad para mejorar mi preparación académica.

Al Dr. Juan José Valdez Alarcón, por sus enseñanzas, esfuerzo en mi preparación académica.

Al Dr. Daniel Val Arreola, por sus enseñanzas, apoyo y paciencia en mi preparación académica.

Al Dr. Liberato Portillo Martínez, por sus enseñanzas y apoyo en mi preparación académica, además, de que se tomó tiempo para estar en mis evaluaciones.

Al M.C. Gerardo Ordaz Ochoa, por su apoyo, orientación y paciencia en cada trabajo y en la elaboración de ésta tesis.

A la M.V.Z. Alejandro Orozco Gaspar, por su cariño, apoyo y mucha paciencia en el transcurso y elaboración de ésta tesis.

A mis amigos y compañeros, que estuvieron presentes en este tiempo, quienes me brindaron su tiempo y colaboración durante la realización de ésta investigación, a cada uno de ellos, gracias.

Dedicatoria

A mis padres y hermanos que siempre me apoyaron incondicionalmente, quienes me daban unas palabras de aliento cuando más la necesitaba, a mi abuelito Rodolfo, que siempre mostro gran interés es mi crecimiento profesional, a ellos les agradezco su esmero y persistencia en mis estudios, a ellos les dedico este trabajo.

Índice

	Pág
Resumen	1
Abstract	2
Introducción general	3
Hipótesis	5
Objetivo general	6
Objetivos particulares	6
Metodología general	7
Bibliografía	13
Capítulo I. Efecto de la adición de nopal (<i>opuntia ficus-indica</i>) a la dieta de cerdos en crecimiento sobre consumo de alimento, agua y crecimiento	16
Resumen	16
Introducción	16
Materiales y métodos	18
Resultados	20
Discusión	22
Conclusión	26
Bibliografía	26
Capítulo II. Efecto de la adición de nopal (<i>opuntia ficus-indica</i>) a la dieta de cerdos en crecimiento sobre glucosa sanguínea, colesterol y triglicéridos	29
Resumen	29
Introducción	29
Materiales y métodos	30
Resultados	33
Discusión	37

Conclusión	41
Bibliografía	41
Capítulo III. Efecto de la adición de nopal (<i>opuntia ficus-indica</i>) en la dieta de cerdos en crecimiento sobre velocidad de tránsito del alimento, coeficiente de digestión y producción de metano.	44
Resumen	44
Introducción	44
Materiales y métodos	47
Resultados	52
Discusión	57
Conclusión	63
Bibliografía	64
Capítulo IV. Efecto de la adición de nopal (<i>opuntia ficus-indica</i>) a la dieta de cerdos en crecimiento sobre la morfometría y largo de las vellosidades intestinales	68
Resumen	68
Introducción	68
Material y métodos	70
Resultados	72
Discusión	74
Conclusión	78
Bibliografía	78
Capítulo V. Efecto de la adición de nopal (<i>opuntia ficus-indica</i>) a la dieta de cerdos en crecimiento sobre el rendimiento y calidad de la canal.	81
Resumen	81
Introducción	81
Material y métodos	83

Resultados	85
Discusión	86
Conclusión	87
Bibliografía	88
Discusión general	90
Bibliografía	95

Índice de tablas y figuras

	Pág
Capítulo 1.	
Tabla 1. Análisis químico proximal del alimento balanceado de acuerdo con la Fase y a la adición del 1% nopal.	19
Tabla 2. Medias de mínimos cuadrados para el consumo voluntario de alimento cerdo ⁻¹ de acuerdo con la fase de producción y al grupo.	21
Tabla 3. Medias de mínimos cuadrados para el consumo voluntario de agua de acuerdo con la fase y grupo ⁻¹ .	22
Capítulo 2.	
Tabla 1. Análisis químico proximal del alimento balanceado de acuerdo con la Fase y a la adición del 1% nopal.	31
Tabla 2. Medias de mínimos cuadrados de los niveles séricos de metabolitos en sangre en cerdos en la etapa de desarrollo.	34
Tabla 3. Correlaciones de Pearson entre metabolitos sanguíneos y variables de consumo alimento y crecimiento de cerdos en la etapa de desarrollo	34
Figura 1. Medias de mínimos cuadrados para los niveles de glucosa de acuerdo al peso vivo de los cerdos en fase de desarrollo.	35
Figura 2. Medias de mínimos cuadrados para los niveles de colesterol, lipoproteínas de alta y baja densidad y triglicéridos de acuerdo a la anidación grupo*peso.	36
Tabla 4. Medias de mínimos cuadrados para el consumo voluntario de alimento cerdo ⁻¹ de acuerdo con la Fase de producción y al grupo.	37
Capítulo 3.	
Tabla 1. Análisis químico proximal del alimento balanceado de acuerdo con la Fase y a la adición del 1% nopal.	47
Imagen 1. Prototipo usado para determinar la producción de gas metano.	50
Tabla 2. Medias de mínimos cuadrados para parámetros de crecimiento y consumo de alimento y agua de acuerdo a la Fase	53
Figura 1. Promedios de la velocidad de transito respecto a las fases evaluadas	54

Figura 2. Comportamiento de la velocidad de tránsito de acuerdo con el crecimiento y consumo de alimento diario	54
Tabla 3. Medias de mínimos cuadrados para el contenido nutricional de las excretas y coeficiente de digestibilidad.	55
Tabla 4. Composición química del afluente y efluente de producción de gas metano.	56
Figura 3. Curva de estimación de la producción de gas metano CH ₄	57
 Capítulo 4	
Tabla 1. Análisis químico proximal del alimento balanceado de acuerdo con la Fase y a la adición del 1% nopal.	70
Tabla 2. Medias de mínimos cuadrados para parámetros de morfometría e histología intestinal cerdo ⁻¹ grupo ⁻¹ .	73
Figura 1. Vellosidades del duodeno en cerdos de 100 kg: A= Grupo control, B= Grupo experimental	74
 Capítulo 5	
Tabla 1. Análisis químico proximal del alimento balanceado de acuerdo con la Fase y a la adición del 1% nopal.	83
Tabla 2. Rendimiento y calidad de la canal de acuerdo al grupo.	86
 Discusión general	
Figura 1 Modelación esquemática de los efector producidos por la ingesta de nopal (<i>O. ficus-indica</i>) en el organismo del cerdo durante la etapa de 20 a 100 kg de peso vivo	91

Resumen

El objetivo general fue evaluar el efecto de la adición de nopal (*O. ficus-indica*) a la dieta de cerdos de 20 a 100 kg de peso vivo (PV) sobre: el consumo de alimento (CA), de agua (CH₂O) crecimiento (Kg), rendimiento (RC) y calidad de la canal (CC) y producción de gas CH₄ en heces. Los objetivos particulares para evaluar esta dieta fueron: 1) determinar el CA, CH₂O y PV semana⁻¹; 2) establecer los niveles séricos de glucosa (GS), colesterol total (CT), lipoproteína de baja densidad (LDL) y alta densidad (HDL); 3) evaluar la velocidad del tránsito gastrointestinal (VT), coeficiente de digestión (CD) y producción de CH₄ en las heces, 4) determinar la morfometría del intestino (MI) y la longitud de las vellosidades intestinales (LVI) y 5) determinación del RC y CC. Para el logro del primer objetivo, se monitorearon 23 cerdos grupo⁻¹; Para el segundo, se tomaron muestras de sangre de 5 cerdos grupo⁻¹ a los 20, 35, 50, 75 y 100 kg de PV; Para el tercer objetivo, se monitorearon 10 cerdos grupo⁻¹ para evaluar VT y establecer el CD (análisis bromatológico de heces y dietas); También para este objetivo, se sometieron a fermentación las heces de 12 cerdos grupo⁻¹ para estimar la curva de CH₄; Para el cuarto objetivo, se midieron y se pesaron los intestinos de 23 cerdos grupo⁻¹ y, para establecer LVI, se evaluaron tres muestras de intestino delgado y grueso de 7 cerdos grupo⁻¹ y en el quinto objetivo, se determinó RC y CC con las canales de 23 cerdos grupo⁻¹. La información recabada se analizó a través de la metodología de modelos lineales generalizados, modelos de efectos fijos, medidas repetidas y modelos no lineales; cada metodología se utilizó de acuerdo a cada objetivo. Las diferencias entre grupos y fases de producción se obtuvieron mediante medias de mínimos cuadrados ($\alpha = 0.05$). Los resultados mostraron que los cerdos del grupo experimental (G2) presentaron CA y CH₂O inferiores a los observados en el grupo testigo (G1): 257.4 kg de alimento cerdo⁻¹ y 660.0 L de agua cerdo⁻¹ durante el periodo de 20 a 100 kg de PV, sin afectar ($P > 0.05$) el tiempo (114.9 días) para alcanzar los 100 kg de PV. Además, en el G2, se redujeron los niveles de CT (4.3 mg dL⁻¹) y GS (16.2 mg dL⁻¹), así como VT (23.2 h) y el CD (85.2%) de materia seca. Además, se observó que CH₄ disminuyó de 66000 a 40000 ml cerdo⁻¹ día⁻¹. La MI, de los cerdos del G2, presentó mayor peso en ambos segmentos de intestinos y el LVI fue mayor ($P < 0.05$) en duodeno (2549.7 μ m) y ciego (3505.1 μ m). El RC fue igual ($P > 0.05$) en ambos grupos. Sin embargo, el G2 presentó ($P < 0.05$) mayor magrez (52.8%) y proteína (20.6%) en la canal. La adición de 1% de nopal a la dieta de cerdos para abasto reduce el CA sin afectar el crecimiento de los cerdos, aspecto que se relaciona con los cambios metabólicos (energía), cambios en velocidad de tránsito y en la morfometría intestinal, mismos que producen una mejor utilización de nutrientes de la dieta sin afectar la calidad de la canal. Además, dicha dieta, también reduce la producción de CH₄.

Palabras clave: alimentación, calidad de la canal, digestión, metabolismo, vellosidades

Abstract

The general objective was to evaluate the effect of the addition of nopal (*O. ficus-indica*) to the diet of pigs from 20 to 100 kg of live weight (LW) on feed intake (FI), ingestion of water (CH₂O), growth (Kg), carcass yield (CY) and potential of gas CH₄ in feces. The particular objectives to evaluate this diet were: 1) determine the FI, CH₂O and LW week⁻¹; 2) establish serum glucose levels (SG), total cholesterol (TC), lower-density (LDL) and high-density (HDL) lipoprotein; 3) evaluate speed of gastrointestinal transit (ST), digestion coefficient (DC) and production of CH₄ in feces, 4) determine the morphometry of the intestine (MI) and the length of villi intestinal (VIL) and 5) establish performance (PC) and quality of the carcass (QC). For the achievement of the first objective, were monitored twenty three pigs group⁻¹; for the second, were taken blood samples from five pigs group⁻¹ at 20, 35, 50, 75 and 100 kg; for the third objective, were monitored ten pigs group⁻¹ to evaluate ST and establish the DC (bromatological analysis of feces and feed); also for this objective, were subjected to fermentation the feces of twelve pigs group⁻¹ to estimate the curve of CH₄; for the fourth objective, were measured and weighed forty six intestines of pigs and, to establish VIL, were evaluated three samples of small and large intestine of seven pigs group⁻¹ and for the fifth objective, PC and QC was determined with the carcasses of twenty three pigs group⁻¹. Data were analyzed using the methodology of the generalized linear models, models of fixed effects, repeated measurements and non-linear models, each methodology was used according to each objective. The differences between groups and phases of production were obtained using least square means ($\alpha=0.05$). The results determined that the pigs of the experimental group (G2) had lower FI and CH₂O during the experimental phase (257.4 kg of feed pig⁻¹ and 660.0 L water pig⁻¹) without affecting ($P>0.05$) time (114.9 days) so pigs reach 100 kg of live weight. In the G2, TC levels were reduced (4.3 mg dL⁻¹) and SG (16.2 mg dL⁻¹), as well as, the ST (23.2 h) and increased dry matter DC (85.2%). In addition, it was observed, CH₄ fell from 6600 to 4000 mg pig⁻¹ day⁻¹. The MI, the G2, it proved higher weight in both intestines segments pesos and VIL was higher ($P<0.05$) in duodenum (2549.7 μ m) and blind (3505.1 μ m). The CY was the same ($P>0.05$) in both groups. But the G2 presented ($P<0.05$) greater leanness (52.8%) and protein (20.6%) in the carcass. The addition of 1% of nopal to the diet of growing pigs reduces FI without affecting the growth of the pigs that related to the change of: energy metabolism, speed of transit, intestinal morphometric, which produced better utilization of nutrients from the diet without damage of the quality of the carcass. In addition, this diet reduced the production of CH₄.

Key words: feeding, quality of the carcass, digestion, metabolism, villi

Introducción general

En México, la porcicultura ocupa el tercer lugar en importancia como productor de carne, después de la cría de bovinos y aves. Aun y cuando su participación con el producto interno bruto es mínima (cercana al 0.3%), su importancia dentro del ámbito pecuario reside en el abastecimiento de un conjunto de productos de alto valor nutricional contenidos en la carne de cerdo, mismos que son esenciales para el ser humano (Camacho, 2013). Sin embargo, el incremento en la demanda actual de la carne de cerdo se debe a que ha mostrado ser de mayor calidad (menor cantidad de grasa y mayor contenido nutrimental). Este cambio es producto de la introducción de nuevas líneas genéticas orientadas, principalmente, a mejorar la conversión alimenticia, magrez, y rendimiento de la canal del cerdo (Foxcroft, 2012). Mejoras que han alentado el incremento de la demanda por este tipo de carne. Pero, la producción del país no logra solventarla (Medina, 2013), por lo cual se recurren a las importaciones (Giner *et al.*, 2011, Medina, 2013). Ello indica una falta de armonía entre los indicadores económicos, sociales y ambientales (Martínez *et al.*, 2003), puesto que, para poder solventar la producción nacional y lograr competir con las empresas transnacionales, los sistemas de producción en México deben lograr reducir los costos de producción (Medina, 2013). Además de implementar estrategias que reduzcan el impacto ambiental que genera la producción de cerdos (Nelson *et al.*, 2009) lo cual infla los costos totales (García *et al.*, 2012). Aunado a ello, el sistema agrícola es continuamente afectado por el cambio climático (a la cual contribuye la producción de cerdos) y ello repercute en los costos de producción de los principales insumos para la dieta de los cerdos (Herrera *et al.*, 2013).

De acuerdo con la problemática citada en los párrafos anteriores, se entiende que para lograr un equilibrio entre animal- alimentación- medio ambiente-producción, es necesario abordar el origen del problema, comprenderlo e intentar encontrar la mejor solución (Colina *et al.*, 2010). En el área de la salud, bioseguridad y confort del animal (cerdos) se han desarrollado una serie de técnicas y tecnologías que garantizan el aprovechamiento máximo de los nutrientes presentes en las dietas para los cerdos (Martinez *et al.*, 2009; Rekiel *et al.*, 2010), sin embargo, aún persisten los altos costos generados por la alimentación en esta industria (Möbeler *et al.*, 2010). Por ello, recientemente se han incrementado las investigaciones de insumos no convencionales que puedan sustituir total o parcialmente la dieta de los cerdos

(Hernandez *et al.*, 2016). Además se debe tomar en cuenta que, el cambio en la composición de la dieta puede generar cambios morfológicos, histológicos y metabólicos en el sistema digestivo de los cerdos (Sundrum *et al.*, 2011) y por lo mismo las dietas deben ser evaluadas meticulosamente; sobre todo, cuando se evalúa un insumo no convencional (Savón *et al.*, 2008). También se deben considerar las nuevas normativas para mitigar el impacto ambiental ocasionado por la producción de cerdos (Bobadilla *et al.*, 2013, Hernández *et al.*, 2016).

El nopal como alternativa nutricional, no convencional, se seleccionó debido a que es una planta nativa de México y de la cual, existen 104 especies en el país (Montemayor *et al.*, 2011) y, dentro de estas, las principales especies que se explotan en México son: *O. ficus-indica*, *O. megacantha*, *O. tomentosa*, *O. leucotricha*, *O. streptacantha*, *O. rastrera*, *O. lindheimeri*, *O. leptocaulis*, *O. cantabrigiensis*, *O. phaeacanta* (Vázquez *et al.*, 2008). Pero, la especie *O. ficus-indica* es la más utilizada como forraje, debido a: i) potencial para producir biomasa (62-226 ton/ha base fresca o 4-6 ton/ha materia seca), ii) adaptabilidad a diversos sistemas agroecológicos (Montemayor *et al.*, 2011) y, iii) por su contenido de agua (95%) (Tegegne *et al.*, 2007). No obstante, su uso en la dieta de los animales se restringe como complemento forrajero, ya que contiene bajos niveles de materia seca (10-14%) y de proteína cruda (4-6%) y altos contenidos de fibra cruda (17.2%); aunque estos valores dependen de la especie y la edad de los cladodios (Costa *et al.*, 2009 y Rekik *et al.*, 2010).

Opuntia spp se ha usado, principalmente, como complemento en la dieta de rumiantes en época de estiaje (Ortiz *et al.*, 2013). Por el contrario, las investigaciones en torno a dietas para cerdos complementadas con nopal son pocas. Ordaz *et al.* (2017) y Ortiz *et al.* (2017) han evaluado dietas para cerdas lactantes complementadas con nopal para determinar su efecto principalmente sobre el consumo de alimento durante la fase de lactancia, la producción y calidad de la leche, el crecimiento de los lechones lactantes y el comportamiento reproductivo de las cerdas después del destete. Sin embargo, los estudios de esta planta como parte de la dieta para cerdos en crecimiento aún son escasos. Por ello, el objetivo de la presente investigación, el cual pretender establecer el efecto de la adición de nopal (*O. ficus-indica*) a la dieta de cerdos para abasto sobre el consumo de alimento y agua, así como, sobre los parámetros productivos de los mismos (peso semanal, peso final, duración de las fases 20-50 y 50-100 kg de peso vivo, rendimiento y magrez de la canal).

Hipótesis

- La adición de nopal a la dieta de cerdos para abasto (20 a 100 kg PV) incrementa el consumo de alimento debido a las propiedades hipoglucémicas e hipocolesterolémicas de *O. ficus-indica*, además, por su pobre aporte de proteína cruda afecta el crecimiento.
- La adición de nopal a la dieta de cerdos para abasto puede disminuir el consumo de agua, por el alto contenido de humedad de *O. ficus-indica*.
- La adición de nopal a la dieta de cerdos para abasto puede disminuir los niveles séricos de glucosa, colesterol total y triglicéridos, por su efecto hipoglucémico e hipocolesterolémico.
- La adición de nopal a la dieta de cerdos para abasto reduce la velocidad de tránsito del alimento por el tracto gastrointestinal, permite mayor degradación de los nutrientes contenidos en la dieta.
- La adición de nopal a la dieta de cerdos para abasto reduce la producción de gas metano debido al aporte de fibra altamente digestible.
- La adición de nopal a la dieta de cerdos para abasto protege la integridad y promueve el crecimiento de la vellosidad intestinal, incrementa la absorción de nutrientes y provoca el crecimiento de los intestinos del cerdo.
- La adición de nopal a la dieta de cerdos para abasto incrementa la magrez de la canal debido al efecto hipocolesterolemico de esta cactácea en los individuos que la consumen.

Objetivo general

Evaluar el efecto de la adición de nopal a la dieta de cerdos para abasto durante las fases 20 a 50 kg y 50 a 100 kg de peso vivo sobre el consumo de alimento, ingestión de agua, crecimiento (kg), rendimiento de la canal y potencial de gas metano en heces.

Objetivos particulares

- Determinar el efecto de la adición de nopal (*Opuntia ficus-indica*) al alimento de cerdos en etapas de 20 a 50 kg y 50 a 100 kg sobre el consumo de alimento, ingestión de agua y crecimiento (peso vivo semana⁻¹ cerdo⁻¹)
- Determinar el efecto de la adición de nopal (*Opuntia ficus-indica*) al alimento de cerdos en etapas de 20 a 50 kg y 50 a 100 kg sobre los niveles séricos de glucosa, colesterol total, lipoproteínas de alta (HLD) y baja (LDL) densidad y triglicéridos.
- Determinar el efecto de la adición de nopal (*Opuntia ficus-indica*) a la dieta de cerdos en etapas de 20 a 50 kg y 50 a 100 kg sobre la velocidad de tránsito, el coeficiente de digestión y el potencial de gas metano generado en las heces.
- Determinar el efecto de la adición de nopal (*Opuntia ficus-indica*) al alimento de cerdos en etapas de 20 a 50 kg y 50 a 100 kg, sobre la morfometría intestinal y el largo de las vellosidades intestinales.
- Determinar el efecto de la adición de nopal (*Opuntia ficus-indica*) al alimento de cerdos en etapas de 20 a 50 kg y 50 a 100 kg sobre el rendimiento y la calidad de la canal.

Metodología general

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. Ubicada en el municipio de Tarímbaro Michoacán a 9.5 km de la carretera Morelia Zinapécuaro. La región corresponde a la clasificación Cw: sub-húmeda y semi-húmeda con clima templado (García 2004).

Metodológicamente esta investigación fue diseñada en cuatro etapas (capítulos) para cubrir los objetivos planteados para la fase experimental, mismas que se presentan a continuación:

Primera etapa: para determinar el efecto del suministro de dietas suplementadas con nopal sobre el consumo de alimento y agua, así como el crecimiento de los cerdos, se seleccionaron al azar un total de 46 cerdos híbridos (Yorkshire x Landrace x Pietrain) con los cuales se formaron dos grupos (G): G1 o testigo (n=23), grupo que recibió una alimentación convencional (alimento® balanceado) de acuerdo con los requerimientos de la etapa productiva (Tabla 1) y G2 (n=23) o experimental, cerdos que recibieron la misma dieta del G1, pero a la cual se le adicionó 1% de nopal en base fresca (BF). El porcentaje de nopal (1%) adicionado a la dieta de los cerdos se estableció con relación al peso vivo cerdo⁻¹ semana⁻¹ Fase⁻¹ (Fase 1: 20-50 kg de peso vivo y Fase 2: 50-100 kg de peso vivo). Dichas fases se establecieron de acuerdo con las dietas elaboradas en el sistema de producción porcina donde se desarrolló la presente investigación. Para el suministro de nopal, los cladodios fueron únicamente fragmentados en trozos de aproximadamente 2x2 cm, puesto que *O. ficus-indica* carece de espinas. Una vez picados los cladodios se pesaron para proporcionar a cada cerdo la ración correspondiente de nopal junto con la cantidad de alimento balanceado requerido por cada cerdo. Esta actividad se realizó diariamente a las 8:00 h.

Los cerdos de ambos grupos fueron alojados en corrales individuales de 1.2 x 2.0 m, con comedero tipo tolva (5.0 kg de capacidad) y bebedero automático tipo chupón. Donde se monitorearon a partir de los 20 kg y hasta que estos alcanzaron los 100 kg de peso vivo. En ambos grupos se evaluó: consumo de alimento (CA) en cada cerdo, cada día por semana, consumo de agua (CH₂O) en cada cerdo, cada día por semana, crecimiento (kg) en cada cerdo por semana. La información recabada sobre CA, CH₂O y crecimiento (kg) se analizó a través de la metodología de mediciones repetidas (SAS 2000) y las diferencias entre grupos se obtuvieron por el método de medias de mínimos cuadrados (LsMeans, siglas en inglés) a un $\alpha = 0.05$ (Littell, *et al.*, 2002)

Segunda etapa: Etapa para establecer los cambios metabólicos y relacionarlos con los resultados obtenidos en las etapas previas. Para ello, seleccionaron al azar a 5 cerdos por grupo a los cuales se les tomaron muestras sanguíneas (10 ml por cerdo) a los 20, 35, 50, 75 y 100 kg de peso vivo, muestras con las cuales se determinó, los niveles séricos de: colesterol total (CT), triglicéridos (TG), lipoproteínas de alta (HDL) y baja densidad (LDL) y glucosa (GS). Las muestras se obtuvieron de la vena yugular previo ayuno de 8 h y depositadas en tubos vacutainer[®] con suero activador de coagulación. Inmediatamente después de obtener las muestras se almacenaron a 4°C, hasta ser centrifugadas (100 xg durante 10 minutos). Después de centrifugar las muestras, el plasma fue almacenado y congelándolo a -20°C hasta ser analizado.

Las determinaciones de CT, TG, HDL, LDL y GS se realizaron a través de métodos enzimáticos adaptados en un aparato Cobas c 111Mira (Roche, Basilea, Suiza). Los reactivos utilizados fueron: CHOL2, para CT (ref. 04 718 917 190, EE.UU.); TRIGL para TG (ref. 04 657 594 190, EE.UU.); HDLC3, para HDL (ref. 05 401 488 190, EE.UU.); LDL3, para LDL (ref. 07 005 806 190, EE.UU.) y GLUH2, para glucosa (ref. 04 657 527 190, EE.UU.), respectivamente. Los datos recabados de GS, CT, HDL, LDL y TG de los cerdos se analizaron a través de la metodología de mediciones repetidas (SAS 2000) y las diferencias entre grupos se obtuvieron por el método de medias de mínimos cuadrados (LsMeans, siglas en inglés) a un $\alpha = 0.05$ (Littell, *et al.*, 2002)

Tercera etapa: para determinar la velocidad de tránsito, el coeficiente de digestión y el potencial de gas metano en los cerdos de ambos grupos, se realizó un análisis químico

proximal de las dietas y excretas en cada grupo, en cada Fase con el objetivo de determinar el coeficiente de digestión. se recolectaron 100 g de heces cerdo⁻¹ grupo⁻¹, 30 días después de iniciada cada Fase y durante tres días seguidos, cuidando que el periodo de la recolección de excreta no coincidiera con los periodos donde no se adicionó colorante a la dieta. Una vez recolectadas las excretas, estas fueron almacenadas en bolsas de plástico (previamente identificadas) y congeladas a -4°C hasta su análisis. Para el análisis químico proximal de las excretas, estas fueron homogenizaron por grupo, por Fase e inmediatamente después se tomó una muestra de 200 g para ser analizada para determinar la excreción de nutrientes.

La velocidad de transito de la ingesta por el sistema digestivo se determinó con un marcador vegetal el cual no es absorbido por el organismo y en consecuencia pigmenta las excretas. Para ello, se utilizaron las excretas de 20 cerdos (n=10 grupo⁻¹). Previamente se mezcló el marcador (colorante vegetal azul = bióxido ferroso) con 200 g de alimento. La cantidad de marcador mezclado con el alimento fue del 1% (con base a la cantidad de alimento consumido cerdo⁻¹ día⁻¹). Una vez obtenida la mezcla (marcado y alimento) para cada cerdo, esta fue suministrada a las 7:45 h a los 20 cerdos (antes de suministrar el total de la ración de alimento a cada cerdo) con el fin de pigmentar sus heces. Para determinar la velocidad de transito se monitorearon las evacuaciones de excretas post-alimentación hasta observar que el colorante fue excretado y registrar la hora de dicho suceso.

El coeficiente de digestión se determinó en cada cerdo, de acuerdo al grupo y en cada Fase, usando el método directo y para cada nutriente, ello en función con la siguiente formula:

$$CD (\%) = \left[\frac{NI-NE}{NI} \right] \times 100$$

Dónde: CD= coeficiente de digestibilidad individual; NI= nutriente ingerido (consumo de alimento diario en g); NE= nutriente en heces (peso de las heces en g)

Finalmente, el potencial de producción de CH₄ se estimó a través de muestras de heces (100 g cerdo⁻¹) de 24 cerdos en total (n=12 por grupo) a las 7:00 h, mismas que se homogenizaron (grupo⁻¹) e introdujeron a los digestores, esto se realizó en la Fase 2. Para el monitoreo del CH₄, se montó un circuito de cuatro elementos volumétricos, tal como se describen a continuación: digestor (Matraz elenmeyer 250 ml), contenedor de dióxido de carbono

(Matraz elenmeyer de 500 ml) desplazador de agua (Matraz elenmeyer 250 ml) y medidor (probeta de 100 ml ± 0.1). Todos los contenedores fueron sellados con tapones de goma y los conductos entre estos fueron mangueras de goma y tubos de cristal. En total se utilizaron 8 circuitos (cuatro por grupo) con tres repeticiones.

En cada circuito, la capacidad del digestor (matraz) fue de 220 ml, de los cuales se usó el 90% (198 ml): agua (148.5 ml) y heces (49.5 ml) en una relación 3:1. Los digestores se mantuvieron en un termo-baño a 37.9°C. Al segundo matraz se le adicionó hidróxido de sodio al 10% (450 ml) como contenedor de dióxido de carbono; el tercer matraz o contenedor de agua, se le adicionó 250 ml de agua y el cuarto contenedor (probeta de 5 ml) se utilizó como medidor de la producción de CH₄. La medición de la producción de gas (ml) se midió cada 10 minutos durante 1 h. Posteriormente, la medición se realizó cada 30 minutos durante 1 h y al final, la medición fue cada hora hasta culminar el proceso de producción de gas CH₄. Las variables evaluadas fueron: contenido de nitrógeno (N), carbono (C), sólidos totales (ST) y sólidos volátiles (SV) en el afluente y efluente del digestor bajo la metodología de la AOAC (2009). Para estimar la producción de CH₄ se determinó la duración de la Fase *lag* (FL), la hora al punto de inflexión (HPI), la producción de CH₄ al punto de inflexión (PCI), la tasa máxima de producción de CH₄ (TMP), la producción acumulada de CH₄ y el potencial de producción de CH₄ de acuerdo con el contenido de SV. Mediante la siguiente ecuación:

$$Y = e^{a-be^{cx}}$$

Donde: Y= a la producción acumulada de gas a un tiempo x (ml); a > 0 es la producción máxima de gas (ml); b > 0 es la diferencia entre el gas inicial y el gas final a un tiempo x (ml); c > 0 describe la tasa específica de acumulación de gas; e= es el número de Euler, equivalente a ≈ 2.718281828459

Para el ajuste de la curva se utilizaron las siguientes fórmulas:

$$\text{HPI} = b/c$$

$$\text{PCI} = a/e$$

$$\text{TMP} = (a*c)/e$$

$$\text{FL} = ((b/c)-(1/c))$$

Los datos de coeficiente de digestión, la producción de metano y velocidad de tránsito de los cerdos se analizaron a través de la metodología de mediciones repetidas (SAS 2000) y las diferencias entre grupos se obtuvieron por el método de medias de mínimos cuadrados (LsMeans, siglas en inglés) a un $\alpha = 0.05$ (Littell, *et al.*, 2002)

Cuarta etapa: Establecimiento de la morfometría intestinal, la cual se determinó post-sacrificio (101.2 kg de peso vivo). Al respecto, los cerdos fueron sacrificados en apego a la norma oficial mexicana (NOM) NOM-033-ZOO-1995 para el sacrificio humanitario de los animales domésticos. Se determinó en todos los cerdos sacrificados (n=46) el peso y el largo del intestino delgado e intestino grueso. Antes de realizar las mediciones, se eliminó el contenido de los intestinos con agua.

Para determinar la calidad de las vellosidades intestinales se tomaron muestra de 14 cerdos (n=7 cerdos grupo⁻¹). Las muestras se tomaron después de limpiar los intestinos con agua. Se consideraron seis secciones, tres del intestino delgado (duodeno, yeyuno e íleon) y tres del intestino grueso (ciego, colon trascendente y descendente). Además, se tomaron tres muestras sección⁻¹ cerdo⁻¹ grupo⁻¹. Las muestras de intestino se sumergieron inmediatamente en formol al 10%; 48 h después de la obtención de las muestras intestino⁻¹, fueron procesadas para los correspondientes estudios histológicos. Para ello, las muestras se prepararon mediante la técnica de inclusión en parafina para posteriormente realizar cortes de 7 μm de espesor, los cuales se fijaron en un portaobjetos, para poder visualizar las vellosidades, estas se tiñeron con hematoxilina y eosina. Para poder realizar la medición longitudinal de las vellosidades se utilizó un microscopio y un software de imágenes Leica LAS V3.5 (Alemania) con un objetivo de 4x. La información recabada se analizó mediante Modelos Lineales Generalizados (Littell, *et al.*, 2002) y las diferencias entre grupos a través de medias de mínimos cuadrados (LsMeans, siglas en inglés) a un $\alpha = 0.05$.

Quinta etapa. Se monitorearon 46 cerdos de genotipo híbrido (Yorkshire x Landrace x Pietrain) En ambos grupos se evaluaron: consumo de alimento (CA) total, rendimiento (RC) y calidad de la canal (CC) por cerdo en cada grupo. El CA se determinó conforme se estableció en la primera etapa. El RC y CC por cerdo en cada grupo, se determinaron post-sacrificio (100.1 \pm 3.7 kg de peso vivo). Al respecto, los cerdos fueron sacrificados en apego a la norma oficial mexicana (NOM) NOM-033-ZOO-1995 para el sacrificio humanitario de

los animales domésticos. En la determinación del peso de la canal caliente se consideraron los pesos de la cabeza, extremidades y riñones. Mientras que, para el cálculo del rendimiento de la canal se realizó mediante la siguiente fórmula:

$$RC = \frac{PCC}{PV} \times 100$$

Dónde: RC= Rendimiento de la canal (kg); PCC= Peso de la canal caliente (kg); PV= Peso vivo del cerdo (kg).

La CC por cerdo en cada grupo, se determinó con base en la grasa dorsal (GD), porcentaje de rendimiento magro (PRM); así como, las cualidades fisicoquímicas de la carne de los cerdos evaluados, mismas que fueron determinadas mediante análisis químico proximal del lomo por cerdo en cada grupo. Para la GD, primero se seccionó longitudinalmente la canal caliente por la mitad, ello se realizó con una cierra eléctrica; de forma que permitiera hacer tres mediciones con un vernier®: la primera, a la altura de la primera costilla; la segunda, a la altura de la décima costilla y, la tercera, a la altura de la quinta vértebra lumbar. Mientras que el PRM se obtuvo de acuerdo con las siguientes fórmulas:

$$RM = 10.7 + (0.459 * PCC) - (2.14 * GD)$$

$$PRM = \frac{RM}{PCC} \times 100$$

Dónde: RM= Rendimiento magro de la canal (kg); PCC= Peso de la canal caliente (kg); GD= Grasa dorsal (cm); PRM= Porcentaje de rendimiento magro (%)

Para el análisis químico proximal, se tomó una muestra de 200 g cerdo⁻¹ grupo⁻¹ de lomo 24 h post-mortem, tiempo que permaneció dentro de una cámara de frío (4°C). El análisis determinó: materia seca (MS), extracto etéreo (EE), proteína cruda (PC) y ceniza (Cz), variables determinadas de acuerdo con la metodología del AOAC (2009).

La información recabada post-sacrificio y los niveles séricos de metabolitos de los cerdos se analizó mediante Modelos Lineales Generalizados y las diferencias entre grupos a través de LsMeans a un $\alpha = 0.05$ (Littell, *et al.*, 2002).

Bibliografía

- AOAC. (2009) Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists. 15th Edition.
- Bobadilla, E. S.; Espinoza, A. O.; Martínez, F. C. (2013). Competitividad y rentabilidad en granjas porcinas productoras de lechón. *Ciencias Pecuarias*. 4(1):87-91
- Colina, J.R., Molina, H.A., Jerez, T.N., Barreto, D.R. (2010). Crecimiento y características de la canal de cerdos en engorde alimentados con harina de pijiguao (*Bactris gasipaes* H.B.K.) y lisina. *Rev. Fac. Agron.*, 27: 251-269
- Costa, R., Beltrão, E., Nubes, A., Naves, P., Ramos, R. and Silva, A. (2009) Effects of increasing levels of cactus pear (*Opuntia ficus-indica* L. Miller) in the diet of dairy goats and its contribution as a source of wáter. *Small Ruminant Research*, 12:62-65
- Foxcroft, G.R. 2012. Reproduction in farm animals in an era of rapid genetic change: will genetic change outpace our knowledge of physiology. *Reprod Dom Anim* 47(4): 313-319
- 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
- García, A; De Loera, Y; Yagüe, A; Guevara, J. y García, C. (2012) Alimentación práctica del cerdo. *Revista Complutense de Ciencias Veterinarias*, 6:21-50.
- Giner, RA.; Fierro, LC. y Negrete, LF. (2011). Análisis de la Problemática de la Sequía 2011-2012 y sus Efectos en la Ganadería y Agricultura de Temporal. México: Comisión Nacional de Zonas Áridas (CONAZA), Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA).
- Hernandez, L.S.H, Rodríguez, C.J.G., Lemus, F.C., Grageola, N.F., Estévez, M. (2016) Avocado waste for finishing pigs: Impacto in muscle composition and oxidative stability during chilled storage. *Meat Science*, 116: 186-192
- 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. *Revista Pastos y Forrajes*. 36: 56-63
- Juárez, M. (2013). Aspectos a considerar en la importancia del agua en la nutrición y alimentación del cerdo., *Revista los porcicultores y su entorno*. 96:95 y 96
- Littell, C.R., Stroup, W.W., Freund, J.R. (2002) SAS® for Linear Models. Cary, NC: SAS Institute Inc. USA, 4:191-194

- Martínez J. Peris, B., Gómez, E.A., Corpa, J.M. (2009) The relationship between infectious and non-infectious herd factors with pneumonia at slaughter and productive parameters in fattening pigs. *The veterinary journal* 179:240-246
- Medina, S. (2013) México en el mercado internacional de cerdo. *Revista comercio exterior*, 63(6), noviembre-diciembre 2013
- Möbeler, A., Köttendorf, S., Große L.V., Kamphues, J. (2010) Impact of diets' physical form (particle size; meal/pelleted) on the stomach content (dry matter content, pH, chloride concentration) of pigs. *Livestock science* 134:146-148
- Montemayor, A.; Cordova, A.; Aguilera, A.; García, T. y Kawas, R. (2011) Caracterización química y degradabilidad ruminal del nopal (*Opuntia ficus-indica*) y de variedades silvestres de *Opuntia* como alternativa en la suplementación de caprinos. *Revista de salud pública y nutrición*, 5:156-165
- Nelson, G.H.; Rosegrand, M.W.; Koo, J.; Robertson, R.; Sulser, T.;Zho, T.; Ringler, C.; Msangi, S.; Palazzo, A.; Batka, M.; Magalhaes,M.; Valmanta-Santos, R.; Ewing, M. y Lee, D. (2009). Cambio Climático. El Impacto en la Agricultura y los Costos de Adaptación. Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias IFPRI, Washington, D.C. pp 30
- NOM-033-ZOO-1995. Norma Oficial Mexicana para el Sacrificio humanitario de los animales domésticos y silvestres. Diario oficial de la federación Mexicana. 1995; http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5376424&fecha=18/12/2014. Last consultation 25 jan 2017
- 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*, 49:1025-1033
- 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. *Arch Latinoam Prod Anim*, 21: 79-82
- 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. *Revista de investigación de la Universidad de la Salle Bajío*, 9: 290-312
- Rekiel, A., Bielecki, W., Więcek, J., Kulisiewicz, J. (2010). Histological changes in the small intestinal epithelium in fattening pigs fed selected feed additives. *Acta vet. brno*, 79:67-71
- Rekik, H.; Ben Salem b, N.; Lassouedb, H.; Chalouatia, I.; Ben Salem a. (2010) Supplementation of Barbarine ewes with spineless cactus (*Opuntia ficus-indica* f. *inermis*) cladodes during late gestation-early suckling: Effects on mammary secretions, blood metabolites, lamb growth and postpartum ovarian activity. *Small Ruminant Research* 90:53-57

SAS. (2000) Statistical Analysis System. Institute Inc. North Caroline. USA

Savón, L., Mora, L.M., Dihigo, L.E., Rodríguez, V., Rodríguez, Y., Scull, I., Hernández, Y., Ruiz, T.E. (2008) Efecto de la harina de follaje de *Tithonia diversifolia* en la morfometría del tracto gastrointestinal de cerdos en crecimiento-ceba. *Zootecnia Trop.*, 26(3): 387-390

Sundrum, A., Aragon, A., Schulze-Langenhorst, C., Bütfering, L., Henningc, M., Stalljohannb, G. (2011) Effects of feeding strategies, genotypes, sex, and birth weight on carcass and meat quality traits under organic pig production conditions. *NJAS – Wagen. J Life Sci*, 58: 163-172

Tegegne, F.; Kijora, C., and Peters, K. (2007). Study on the optimal level of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) supplementation to sheep and its contribution as source of water. *Small Ruminant Research*. 72:2137-2139

Vázquez, R. (2008) Caracterización e identificación de nopal forrajero en el noreste de México. *Revista salud pública y nutrición*, 14:22-26

CAPÍTULO I

EFECTO DE LA ADICIÓN DE NOPAL (*OPUNTIA FICUS-INDICA*) A LA DIETA DE CERDOS EN CRECIMIENTO SOBRE CONSUMO DE ALIMENTO, AGUA Y CRECIMIENTO

Resumen

Se determinó el efecto de la adición de nopal (*O. ficus-indica*) a la dieta de cerdos de 20-50 y 50-100 kg sobre: consumo de alimento (CA), agua (CH₂O) y crecimiento semanal (kg). Se utilizaron 46 cerdos de 22.4 ± 0.9 kg de peso para formar dos grupos (G): n=23 grupo⁻¹. Ambos grupos recibieron alimento balanceado (AC) *ad libitum*, únicamente la dieta del G2 fue adicionada con 1% de nopal (en base fresca) con base al peso vivo (PV) cerdo⁻¹ semana⁻¹. Se evaluó: CA, CH₂O y PV. La información se analizó por mediciones repetidas y modelos lineales generalizados y las diferencias entre grupos se obtuvieron mediante medias de mínimos cuadrados. En G2 se encontró mejor comportamiento, respecto al G1 ($P < 0.05$), para CA (257.4 kg de AC) y CH₂O (660.0 L) total cerdo⁻¹ (20 a 100 kg). No se encontró efecto ($P > 0.05$) de grupo, Fase y de Fase(grupo) sobre PV. La adición de nopal a la dieta de cerdos durante las fases de 20-50 y 50-100 kg reduce CA y CH₂O sin afectar el peso final de los cerdos.

Palabras clave: Alimentación, crecimiento, grasa dorsal, magrez.

Introducción

En la última década, la industria porcina ha experimentado un proceso de expansión en los mercados internacionales debido al incremento en la demanda por este tipo de carne; puesto que, no sólo ofrece cualidades organolépticas deseables sino, además, contiene menor cantidad de grasa (Lefaucheur *et al.*, 2011). Características logradas a partir de la implementación de estrategias innovadoras en cada uno de los procesos productivos que integran a los sistemas de producción porcina, entre los que destacan: técnicas reproductivas, sanitarias, mejoramiento genético y nutrición (Niemi *et al.*, 2010; Pierozan *et al.*, 2016). Siendo esta última de gran importancia para garantizar la productividad y calidad de producto terminado (carne). Puesto que, una estrategia nutricional mal planteada pone en riesgo el desempeño de los indicadores productivos de los cerdos (Herrera *et al.*, 2013), incrementan los costos de producción por concepto de alimentación, así mismo, se vería reflejada en la calidad de la canal (Hernández *et al.*, 2016).

Se considera que, en la implementación de una nueva estrategia nutricional, en los sistemas de producción animal, se deben ponderar tres aspectos esenciales: I) que el nuevo insumo(s), sea inocuo para los animales y para el consumidor final (Lefaucheur *et al.*, 2011; Pierozan *et al.*, 2016), II) que el insumo no sea considerado prioritario para la alimentación del hombre (Hernández *et al.*, 2016) y, III) que el nuevo insumo a utilizar no demande de una fuerte cantidad hídrica que ponga en riesgo su producción; puesto que, el cambio climático y sus efectos negativos sobre la agricultura (disminución de la precipitación pluvial), ha provocado reducción en la producción de insumos para la alimentación humana y animal (Herrera *et al.*, 2013). Motivo por el cual, los retos ante el cambio climático (García *et al.*, 2009) implican estrategias que permitan: primero, la supervivencia de los sistemas agrícolas que abastecen de insumos a la producción porcina y segundo, que los sistemas de producción porcina logren satisfacer la creciente demanda de los consumidores por este tipo de carne (Herrera *et al.*, 2013). Por ello, el creciente interés por insumos alimenticios no convencionales y autóctonos para la alimentación animal (Hernández *et al.*, 2016).

Es un hecho que, en cada región geográfica, existen gran variedad de plantas autóctonas que pueden fungir como forrajes e implementarse en la alimentación animal, incluyendo a los cerdos. Tal es el caso de las regiones áridas y semi-áridas donde existen plantas, como las cactáceas (*Opuntia* spp), que requieren de menor volumen de agua y menor tecnología para su producción (Montemayor *et al.*, 2011) y que han probado ser una estrategia nutricional (como complemento de las dietas) para ciertas especies de animales domésticos, como son los rumiantes (Torres, 2011; García *et al.*, 2013).

El nopal (*O. ficus-indica*) es un forraje que se ha implementado en la alimentación animal con éxito (Ortiz *et al.*, 2013) debido a: disponibilidad, extensa distribución mundial y por su capacidad de producción de biomasa (62-226 ton ha⁻¹ base fresca/4-6 ton ha⁻¹ materia seca) (Montemayor *et al.*, 2011). Aunado a ello, no es un insumo primario en la alimentación humana; entre las características de esta cactácea se encuentran: I) gran capacidad de retención de agua (hasta un 90%); II) alto contenido de carbohidratos (34.69%) y iii) fibra soluble con buena digestibilidad (> 50%). Sin embargo, esta cactácea tiene como desventaja, su bajo contenido de proteína (4-5%) (Torres 2011). Por lo que no es conveniente implementarlo como insumo único en la alimentación animal (Ortiz *et al.*, 2013).

Existen investigación sobre *O. ficus-indica* en las cuales se establecen sus propiedades y efectos en humano (Corte *et al.*, 2011) y animales (Ortiz *et al.*, 2013). No obstante, como parte de la dieta de cerdos, hay pocas investigaciones y éstas son de orden local (Ortiz *et al.*, 2015; Ortiz *et al.*, 2017). En México, se ha investigado el efecto hipoglucémico del nopal en cerdos, específicamente en cerdas lactantes (Ortiz *et al.*, 2015; Ortiz *et al.*, 2017; Ordaz *et al.*, 2017) en donde se observó: reducción del nivel de glucosa sanguínea, mayor consumo de alimento y menor pérdida de peso corporal de las cerdas. Sin embargo, en cuanto al uso del nopal como complemento de la dieta en cerdos en crecimiento, no se cuenta con evidencias sobre su posible repercusión sobre la productividad. Por ello, el objetivo fue determinar el efecto de la adición de nopal (*O. ficus-indica*) a la dieta de cerdos en las fases 20-50 y 50-100 kg sobre el consumo de alimento y agua.

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. Ubicada en el municipio de Tarímbaro Michoacán a 9.5 km de la carretera Morelia Zinapécuaro. La región corresponde a la clasificación Cw: sub-húmeda y semi-húmeda con clima templado (García, 2004).

Recurso animal y elaboración de dietas:

Se monitorearon 46 cerdos de genotipo híbrido (Yorkshire x Landrace x Pietrain) seleccionados al azar con peso promedio al inicio de 22.4 ± 0.9 kg. El monitoreo se realizó durante las fases 20 a 50 kg y 50 a 100 kg. Con el total de cerdos se formaron dos grupos (G): G1 o control (n=23) y G2 o experimental (n=23). Los 46 cerdos fueron alojados individualmente en corrales de 2 m de largo por 1.2 m de ancho. Ambos grupos fueron alimentados con una dieta balanceada de acuerdo con los requerimientos de cada fase de producción evaluada (20 a 50 kg y 50 a 100 kg). Fases que fueron determinadas de acuerdo con las dietas elaboradas en el sistema de producción donde se desarrollo la presente investigación. Con respecto a las dietas de ambos grupos, la única variante fue la adición de nopal (*O. ficus-indica*) a la dieta del G2 (Tabla 1). El alimento balanceado y elaborado en el sistema (AC) se ofreció *ad libitum* a cerdos de ambos grupos. Mientras que en G2 se adicionó

1% de nopal en base fresca (Tabla 1); dicho porcentaje se estableció con base en el peso vivo en cada cerdo, de forma semanal, en ambas Fases evaluadas.

Tabla 1. Análisis químico proximal del alimento balanceado de acuerdo a la Fase y a la adición del 1% nopal.

Contenido	Fase de producción				
	20-50 kg		50-100 kg		Nopal
	AC	AC+1% nopal	AC	AC+1% nopal	
Materia seca (MS) %	89	79.8	89	79.3	14
Cenizas (CZ) %	3.6	7.2	3.3	8.1	13
Extracto Etéreo (EE) %	2.0	2.0	2.3	1.9	2
Fibra Cruda (FC) %	0.4	3	0.4	3.7	6.3
Proteína Cruda (PC) %	19.3	15.8	17.7	14.2	3.3

AC= Alimento elaborado en el sistema de producción

Antes de ofrecer el nopal (cladodios) a los cerdos, los cladodios se recolectaron de la parcela perteneciente a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia-UMSNH, los cuales no recibieron ningún tratamiento especial (*O. ficus-indica* carece de espinas), solamente fueron fragmentados en trozos de aproximadamente 2 cm de largo x 2 cm de ancho para facilitar su consumo. Posteriormente se pesaron para suministrar la cantidad correspondiente a cada cerdo del G2. El suministro de nopal se realizó a las 8:00 h en conjunto con la ración de alimento (AC) correspondiente a cada cerdo diariamente en cada Fase; previo retiro del alimento sobrante del día anterior.

Procedimiento experimental

En ambos grupos se evaluaron: consumo de alimento (CA) y consumo de nopal cerdo⁻¹ día⁻¹ semana⁻¹, consumo de agua (CH₂O) cerdo⁻¹ día⁻¹ semana⁻¹ y crecimiento (kg) del cerdo semana⁻¹.

Consumo de alimento (CA) y agua (CH₂O)

Tanto el CA como el consumo de nopal, se determinó mediante la resta entre la cantidad de CA y de nopal diario en cada cerdo suministrado por la mañana menos la cantidad sobrante de CA y de nopal diario en cada cerdo del siguiente día. Las cantidades de alimento suministrado (kg) y de alimento sobrante (kg) se pesaron con una báscula (Dibatec[®], venta) con capacidad para 40 kg y con una precisión de ± 5.0 g.

Para la determinación del CH₂O se utilizaron garrafones con capacidad de 20 L, los cuales fueron graduados cada 500 ml. El CH₂O por cerdo, cada día y semana se estimó considerando el volumen de agua total en el garrafón menos el volumen de agua en el garrafón al finalizar el día.

Desarrollo del cerdo

Con el fin de determinar el crecimiento en cada cerdo semanalmente y en cada Fase, los cerdos fueron pesados al inicio de cada semana, desde los 22.4 kg hasta que éstos llegaron a los 100 kg de peso vivo. Con esta información se calculó la ganancia de peso en cada cerdo semanalmente. Para realizar el pesaje se utilizó una báscula[®] (Rhino, venta) con capacidad de 300 kg y una precisión de ± 100 g.

Análisis estadístico

Los datos de peso vivo, consumo de alimento, ganancia de peso, conversión alimenticia y consumo de agua de los cerdos se analizaron usando ANOVA para medidas repetidas, fijando al cerdo como objeto del efecto aleatorio de tiempo (días en fase de producción) y, como efectos fijos: grupo, día de en Fase de producción, y la anidación Fase(grupo). El modelo utilizado fue:

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

Donde: Y_{ijkl} = Variable respuesta: peso vivo, consumo de alimento, ganancia de peso, conversión alimenticia y consumo de agua; μ = Promedio general; G_i = Efecto fijo del i -ésimo grupo con $i= 1, 2$; $C(G)_{j(i)}$ = Efecto aleatorio del j -ésimo cerdo, anidado con el i -ésimo grupo con $i= 1, 2$; FP_k = Efecto fijo de la k -ésimo fase de producción $k= 1, 2$; $FP(G)_{ik}$ = Efecto fijo de la anidación de la k -ésimo fase de producción dentro del i -ésimo grupo con; ε_{ijkl} = Error aleatorio asociado a cada observación ($\sim NID=0, \sigma^2_e$).

Resultados

*Efecto del consumo *O. ficus-indica* sobre el consumo de alimento (CA):*

El CA fue afectado por el Grupo ($P < 0.001$) y por la anidación Fase(Grupo). Al respecto, el CA diario por cerdo fue mayor en el G1, en ambas fases analizadas ($P < 0.05$), en

comparación con los resultados observados en el G2 (Tabla 2). En la Fase 1 (20-50 kg) el CA fue de 1.8 kg día⁻¹ en el G1 vs 1.6 kg día⁻¹ en el G2, mientras que en la Fase 2 (50-100 kg) el consumo fue de 3.4 y 2.9 kg día⁻¹, en el G1 y G2, respectivamente (Tabla 2). El mayor CA en el G1 ($P < 0.05$), en ambas Fases evaluadas, propicio un CA total (303.7 kg), mayor ($P < 0.05$) al de los cerdos del G2 (257.4 kg) (Tabla 2). El menor CA del G2 reflejó una disminución de CA (406 g) por día por cerdo durante el desarrollo de éste (20-100 kg). No obstante, el consumo total de nopal, durante la etapa de desarrollo del cerdo, fue de 48.2 kg en BF ó 5.1 kg en BS cerdo⁻¹ (Tabla 2). Lo que generó un consumo total de alimento (CA + nopal en BS) de 262.5 kg de alimento cerdo⁻¹ durante las dos fases evaluadas (20-100 kg de PV)

Tabla 2. Medias de mínimos cuadrados para el consumo voluntario de alimento cerdo⁻¹ de acuerdo con la Fase de producción y al grupo.

Indicador	Fase			
	Grupo 1 (0% de nopal)		Grupo 2 (1% de nopal)	
	20-50 kg	50-100 kg	20-50 kg	50-100 kg
	$\bar{X} \pm E.E.$	$\bar{X} \pm E.E.$	$\bar{X} \pm E.E.$	$\bar{X} \pm E.E.$
Peso inicial (kg)	22.8 ^a ± 0.4	53.2 ¹ ± 0.4	21.9 ^a ± 0.4	53.4 ¹ ± 0.4
Consumo alimento día ⁻¹ (kg)	1.8 ^a ± 0.06	3.4 ¹ ± 0.06	1.6 ^b ± 0.06	2.9 ² ± 0.06
Consumo alimento semana ⁻¹ (kg)	12.8 ^a ± 0.4	23.3 ¹ ± 0.4	11.0 ^b ± 0.4	19.3 ² ± 0.4
Consumo nopal día ⁻¹ _{BF} (kg)	NC	NC	0.3 ± 0.02	0.6 ± 0.02
Consumo nopal semana ⁻¹ _{BF} (kg)	NC	NC	1.7 ± 0.2	3.8 ± 0.2
Consumo total de alimento (kg)	95.8 ^a ± 3.3	207.2 ¹ ± 3.3	84.4 ^a ± 3.3	174.3 ² ± 3.3
Consumo de alimento total	303.7 ^a ± 1.6		257.4 ^b ± 1.6	
Consumo total de nopal _{BF} (kg)	NC	NC	13.5 ± 1.3	34.4 ± 1.3
Consumo total de nopal	NC	NC	48.2 ± 0.6	
Consumo Alimento + Nopal _{BS} (kg)	NC	NC	85.5 ± 3.4	178.4 ± 3.3
Consumo Total (alimento+nopal _{BS})	NC	NC	262.5 ± 1.6	
Peso final (kg)	48.0 ^a ± 0.4	100.8 ¹ ± 0.4	48.3 ^a ± 0.4	101.7 ¹ ± 0.4
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
Conversión alimenticia (kg)	3.3 ^a ± 0.1	3.9 ¹ ± 0.1	2.7 ^b ± 0.1	3.4 ² ± 0.1
Duración fase (días)	52.4 ^a ± 0.8	61.6 ¹ ± 0.8	53.5 ^a ± 0.8	61.4 ¹ ± 0.8

G1=Grupo 1; G2=Grupo 2; BF=Base fresca; BS=Base seca; NC=No consumió

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

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

Efecto de O. ficus-indica sobre el desarrollo de los cerdos (kg)

No se encontró efecto de la adición del 1% de *O. ficus-indica* a la dieta de los cerdos del G2 sobre el desarrollo de los mismos ($P < 0.05$) durante las Fases de 20-50 y 50-100 kg de PV (Tabla 2). El PV final por cerdo en cada Fase fue igual ($P > 0.05$) en ambos grupos: Fase 1,

48.0 y 48.3 kg cerdo⁻¹ para el G1 y G2, respectivamente. Fase 2, 100.8 y 101.7 kg cerdo⁻¹ para el G1 y G2, respectivamente. El tiempo para alcanzar los 100 kg de PV, también fue igual en ambos grupos evaluados ($P > 0.05$): 52.4 y 53.5 días en la Fase 1; 61.6 y 61.4 días en la Fase 2 (Tabla 2). De la misma manera se comportó la ganancia diaria de peso (Tabla 2); no se encontraron diferencias entre grupos ni entre fases ($P > 0.05$). Sin embargo, la conversión alimenticia fue diferente en la Fase(grupo) ($P < 0.05$): Fase 1, 3.3:1 y 2.7:1 (kg de alimento: kg de PV) para el G1 y G2, respectivamente y en la Fase 2, 3.9:1 y 3.4:1 para el G1 y G2, respectivamente (Tabla 2).

Efecto de O. ficus-indica sobre el consumo de agua (CH₂O)

Respecto al CH₂O por cerdo, se observó que este indicador fue afectado por el Grupo y la anidación Fase(Grupo) ($P < 0.001$). El CH₂O promedio diario por cerdo en la Fases 1 fue menor en los cerdos que consumieron nopal ($P < 0.05$): 4.7 vs 5.5 L de agua diario por cerdo para el G2 y G1, respectivamente; mientras que en la Fase 2, dicho consumo fue de 6.5 y 8.5 L de agua día⁻¹ cerdo⁻¹ para el G2 y G1, respectivamente, ambos promedios diferentes entre sí ($P < 0.05$) (Tabla 3). En este sentido, los cerdos del G2 (cerdos que consumieron nopal) consumieron en promedio 151.0 L cerdo⁻¹ menos de agua, comparado con el consumo de los cerdos del G1, si se considera el consumo total de este líquido durante las Fases 1 y 2 (Tabla 3).

Tabla 3. Medias de mínimos cuadrados para el consumo voluntario de agua de acuerdo con la Fase, y grupo⁻¹.

Fase (kg)	Grupo 1 (0% de nopal)		Grupo 2 (1% de nopal)	
	Día	Semana	Día	Semana
	$\bar{X} \pm E.E.$	$\bar{X} \pm E.E.$	$\bar{X} \pm E.E.$	$\bar{X} \pm E.E.$
20-50	5.5 ^a ± 0.1	38.6 ¹ ± 1.0	4.7 ^b ± 0.1	33.4 ² ± 1.0
50-100	8.5 ^a ± 0.1	58.6 ¹ ± 1.0	6.5 ^b ± 0.1	44.6 ² ± 1.0
20-100	811.0 ^a ± 5.0		660.0 ^b ± 5.0	

Líterales ^{a, b} indican diferencias ($P < 0.05$) dentro de fila para consumo promedio diario.

Numerales ^{1, 2} indican diferencias ($P < 0.05$) dentro de fila para consumo promedio semanal.

Discusión

La ingesta de nopal por parte de humanos, ratas y cerdos provoca, en éstos, un efecto hipoglucémico e hipocolesterolémico (Corte *et al.*, 2011; Ortiz *et al.*, 2015) debido probablemente al alto contenido de calcio (2836.0 ± 157.7 mg 100⁻¹ g, MS) que posee esta

cactácea (Villela *et al.*, 2014). Puesto que, este mineral (Ca⁺) es el principal promotor de la liberación de insulina mediante la despolarización de la membrana de las células β del páncreas (Pari y Latha, 2005). Sin embargo, también puede deberse a la acción de la fibra soluble (35%) (Tang *et al.*, 2005) presente en esta planta (Torres, 2011); capaz de inhibir la producción de colesterol y disminuir la velocidad de tránsito del alimento por el tracto digestivo (Muñoz *et al.*, 2014). No obstante, la disminución del colesterol y la reducción de la velocidad de tránsito del alimento provoca mayor producción de ácidos biliares en un intento por degradar los lípidos contenidos en la dieta (Liu *et al.*, 2016).

La disminución del colesterol y la reducción de la velocidad de tránsito del alimento (aspectos que se discuten a detalle en los capítulos II y III de la presente investigación) promueve el incremento en la digestión de los nutrientes (Barretero *et al.*, 2010) y la señal temprana de saciedad (Heimendahl *et al.*, 2009). Aspecto que pudiera explicar el porqué los cerdos del G2 consumieron menos alimento balanceado ($P < 0.05$) en comparación con los cerdos del G1 (Tabla 2). Al respecto, cuando se ha analizado el CA en cerdos bajo dietas convencionales y de acuerdo a las etapas que comprende el desarrollo de los mismos (20-50 kg de PV) se ha observado un consumo entre 1.9 (Moore *et al.*, 2016) y 2.5 kg de alimento balanceado (Herrera *et al.*, 2013) cerdo⁻¹ día⁻¹ en cerdos de entre 20-50 kg; consumos mayores al encontrado en G1 (1.8 kg de alimento balanceado cerdo⁻¹ día⁻¹) y en G2 (1.6 kg de alimento balanceado cerdo⁻¹ día⁻¹).

En cuanto al CA en la Fase 2 (50-100 kg de PV), las investigaciones señalan (Moore *et al.*, 2016) un consumo promedio de 2.5 kg de alimento día⁻¹ cerdo⁻¹. Sin embargo, este consumo puede variar de acuerdo con la presentación del alimento (harina y pellet): 3.1 y 3.0 kg, para alimento en forma de harina y pellet, respectivamente (Paulk y Hancock, 2015). De acuerdo con los CA observados por los investigadores citados, estos son menores al encontrado en el G1 (3.4 kg de alimento balanceado día⁻¹ cerdo⁻¹) y mayores al encontrado en G2 (2.9 kg de alimento balanceado día⁻¹ cerdo⁻¹) (Tabla 2). Es un hecho, que el consumo de alimento balanceado está ligado a diversos factores tales como: presentación del alimento, insumos primarios de la dieta, genotipo, ambiente y la tecnología (Quiles y Hervia, 2008; Sundrum *et al.*, 2011).

En la presente investigación, la principal respuesta al decremento de consumo de alimento en cerdos del G2, pudo ser la modificación en la digestión y el metabolismo de los nutrientes a causa de los efectos del nopal adicionado a la dieta. Ya que el organismo del animal se toma más tiempo (disminución del tránsito intestinal) para digerir el alimento, sino que, además, se activan otros mecanismos (producción de ácidos biliares, incremento de la acción de la hormona del crecimiento y de ghrelina para activar lipólisis e incremento de triglicéridos) que son capaces de hacer más eficiente la digestión los nutrientes presentes en la dieta (Muñoz *et al.*, 2014).

Aun y cuando, la adición del 1% de nopal a la dieta de cerdos de los 20-100 kg de PV (G2) pudo mostrar efecto hipoglucémico e hipocolesterolémico en estos animales como se verá en el Capítulo II, la adición de nopal a la dieta tal vez no fue suficiente para mostrar un incremento en el consumo de alimento a causa de la disminución de glucosa sanguínea (GS), como se ha demostrado en cerdas en lactancia; en donde, la GS pasó de 70.9 mg dL⁻¹ (grupo testigo) a 55.2 mg dL⁻¹ (grupo experimental) por efecto de la dieta adicionada con nopal y el CA promedio, en 21 días de lactación, pasó de 4.7 ± 1.5 kg día⁻¹ (grupo testigo) a 5.5 ± 1.8 kg día⁻¹ (grupo experimental) (Ordaz *et al.*, 2017). Aspecto que no sucedió (incremento de CA) en la presente investigación. Sin embargo, el hecho de que en los cerdos para abasto (20-100 kg) no se haya afectado su crecimiento (kg) debido a un menor CA (Tabla 2), fue un hallazgo favorable, sobre todo cuando en la actualidad las investigaciones en la nutrición están enfocadas en reducir los costos de alimentación sin perjudicar el tiempo de crecimiento (Herrera *et al.*, 2013).

Es posible que, la dieta adicionada con nopal provocara un cambio en el estatus metabólico de los cerdos que la consumieron, mismo que provocó mayor digestión y absorción de los nutrientes presentes en la dieta (aspectos que se revisan a detalle en los Capítulos II y III en esta investigación). Puesto que, no se encontró efecto de grupo sobre la duración (días) de la etapa 20 a 100 kg de PV ($P > 0.05$): 113.5 y 114.8 días, para el G1 y G2, respectivamente (Tabla 2). Resultados menores a los 125 días que reportan Cabrera *et al.* (2012) para que los cerdos de 20 kg alcancen 100 kg de PV. Además, se encontró que la conversión alimenticia (kg de alimento consumido:kg de peso vivo) fue mayor ($P < 0.05$) en G2 (3.05:1 en promedio entre las dos Fases) comparado con G1 (3.6:1 en promedio entre las dos Fases) e incluso a lo

observado en otras investigaciones en las que se reporta una conversión de 3.7:1, durante la fase 20-100 kg de PV (Cabrera *et al.*, 2012).

Aunque si bien, los investigadores responsables de la presente investigación no han establecido si el 1% de nopal (en base al PV semanal por cerdo) se puede considerar como el óptimo para dietas de cerdo en etapa de crecimiento sin afectar su crecimiento, en este trabajo se puede sugerir que el nopal + el alimento balanceado puede fungir como alimento biofuncional; puesto que, independientemente del volumen o aporte nutricional que contenga el nopal, es capaz de potencializar el aprovechamiento del alimento y convertirlo en kilogramos de carne, debido a que la ingesta de nopal puede incrementar la producción y liberación de insulina (Corte *et al.*, 2011) y, ésta (al igual que la ghrelina) estimula la producción de la hormona del crecimiento (Etherton, 2009), misma que aumenta la absorción de aminoácidos y el anabolismo de proteínas en musculo (Barretero *et al.*, 2010). Otro factor por considerar, como respuesta al menor consumo de alimento sin efecto en el peso de los cerdos bajo una dieta adicionada con nopal (G2), es el incremento de la capacidad digestiva del intestino delgado y a la colonización del intestino grueso por microorganismos, producto de la ingesta de nopal, lo cual mejora la absorción de los nutrientes y la producción de ácidos grasos volátiles de cadena corta, aspectos que son más eficientes conforme crecen los cerdos (Lindberg, 2014).

Finalmente, los resultados del consumo de agua (CH₂O) determinaron que el grupo de cerdos, a los cuales se les suministró nopal como parte de la dieta (G2), mostraron un consumo menor ($P < 0.05$) de agua (151.0 L menos de agua considerando la Fase 1 y 2) que los cerdos del G1 (Tabla 3). Esta reducción en CH₂O pudo deberse: I) al contenido de humedad del nopal ofrecido a los cerdos (86%; Tabla 1), puesto que se calculó que ésta cactácea proporcionó aproximadamente 41.4 L de agua cerdo⁻¹, ello de acuerdo al consumo total de nopal (48.2 kg en promedio cerdo⁻¹ durante las fases evaluadas), II) el cambio fisicoquímico de la dieta (Tabla 1): humedad (20% en promedio) y menor contenido de PC (15%), puesto que se ha establecido que a mayor contenido de PC en la dieta mayor consumo de agua de los individuos que la consumen (Shaw *et al.*, 2006).

Conclusión

La adición del 1% de nopal (con base al peso vivo del cerdo en cada semana) a la dieta de cerdos durante las fases de producción de 20 a 50 kg y de 50 a 100 kg de peso vivo, provoca reducción del consumo de alimento diario sin afectar las variables productivas de los cerdos (PV semanal, ganancia de peso semanal y la duración (días) de la etapa de desarrollo del cerdo). Además de estas ventajas, la dieta adiciona con nopal reduce el consumo de agua por cerdo. Por lo que el uso del nopal como parte de la dieta de los cerdos en desarrollo (20 a 100 kg de peso vivo) es una alternativa viable para los sistemas de producción porcina.

Bibliografía

- Barretero, R.H., Galyean, M.L., PAS, Vizcarra, J.A. (2010) The effect of feed restriction on plasma ghrelin, growth hormone, insulin, and glucose tolerance in pigs. *The Professional animal scientist* 26:26-34
- Cabrera, L.R., Lezcano, P., Castro, M. (2012) Uso de ensilado de raíces de yuca y residuos de granos de maíz en la ceba de cerdos. *Rev Comp Prod Porc*, 13: 196-200
- 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
- Etherton, T.D. (2009) ASAS Centennial Paper: Animal growth and development research: Historical perspectives. *J. Anim Sci*, 89(9): 3060-3064
- 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
- García, G.H., Esquivel, G.A., Zárate, J.L.V., Trejo, C.R., Sánchez, C.I. y Esquivel, A.O. (2009) Escenarios a futuro de temperatura y precipitación pluvial bajo el efecto de un cambio climático en la región agrícola de los llanos, Durango, México. *Rev. Chapingo Ser Zon Árid*, 9: 107-120
- García, G.R.A., Roman, B.R.M., Val, A.D., Perez, S.R.E., Ortiz, R.R. (2013). Caracterización y modelación de la curva de lactancia de vacas holstein complementadas con nopal (*Opuntia ficus-indica*) durante la época seca. *Revista Científica*, 23(5): 426-433
- Heimendahl, E.V., Breves, G., Abel, H.J. (2009) Fiber-related digestive processes in three different breeds of pigs. *J Anim Sci*, 88(3): 972-981
- Hernandez, 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

- 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. *Revista Pastos y Forrajes*. 36: 56-63
- Lefaucheur, L., Leuret, 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. *J Anim Sci*. 89: 996-1010
- Lindberg, J.E. (2014) Fiber effects in nutrition and gut health in pigs. *J Anim Sci Biotech*, 5: 1-7
- Liu, Q., Zhang, Q.M., Zhang, Z.J., Zhang, Y.J., Zhang, Y.W., Chen, L., Zhuang, Z. (2016). Effect of fiber source and enzyme addition on the apparent digestibility of nutrients and physicochemical properties of digesta in cannulated growing pigs. *Animal feed science and technology* 216: 262-272
- Montemayor, A., Cordova, A., Aguilera, A., García, T. y Kawas, R. (2011) Caracterización química y degradabilidad ruminal del nopal (*Opuntia ficus-indica*) y de variedades silvestres de *Opuntia* como alternativa en la suplementación de caprinos. *Salud pública y nutrición*, 5: 156-165
- Moore, K.L., Mullan, B.P., Kim, J.C. (2016) An evaluation of the alternative feeding strategies, blend feeding, three-phase feeding or a single diet, in pigs from 30 to 100 kg liveweight. *J Anim Feed Sci Tech*, 216: 273-280
- 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. *Rev Ibero Cien*, 1: 149-159
- Niemi, J.K., Sevón-Aimonen, M.L., Pietola, K., Stalder, K.J. (2010) The value of precision feeding technologies for grow-finish swine. *J Liv Sci*, 129: 13-23
- 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*, 49:1025-1033
- 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. *Arch Latinoam Prod Anim*, 21: 79-82
- 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. XXIV Congreso de la asociación latinoamericana de producción animal y XL Congreso de la sociedad Chilena de producción animal. Que se llevó a cabo del 9 al 13 de noviembre en 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. *Revista de investigación de la Universidad de la Salle Bajío*, 9: 290-312
- Pari, L. and Latha, M. (2005). Antidiabetic effect of *scoporia dulcis*: Effect on lipid peroxidation in streptozocin diabetes. *Gen. Physiol. Biophys.* 24: 13-26.
- Paulk, C.B., Hancock, J.D. (2015) Effects of an abrupt change between diet form on growth performance of finishing pigs. *J Anim Feed Sci Tech*, 211: 132-136
- Pierozan, C.R., Agostini, P.S., Gasa, J., Novais, A.K., Dias, C.P., Santos, R.S.K., Pereira, Jr. M., Nagi, J.G., Alves, J.B., 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. *Span J Agric Res*, 2: 1-8
- Quiles, A., Hervia, M. (2008) Factores que influyen en el consumo de piensos en los cerdos. *Prod Anim*, 248: 6-19
- Shaw, M.I., Beaulieu, A.D., Patience, J.F. (2006) Effect of diet composition on water consumption in growing. *J Anim Sci*, 84(11): 3123-3132
- Sundrum, A., Aragon, A., Schulze-Langenhorst, C., Bütfering, L., Henning, M., Stalljohann, G. (2011) Effects of feeding strategies, genotypes, sex, and birth weight on carcass and meat quality traits under organic pig production conditions. *NJAS – Wagen. J Life Sci*, 58: 163-172
- Tang, Z.R., Yin, Y.L., Nyachoti, C.M., Huang, R.L., Li, T.G., Yang, C., Yang, X.J., Gong, J., Peng, J., Qi, D.S., Xing, J.J., Sun, 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*, 28:430-441
- Torres A. (2011) Composición química del nopal y sus implicaciones en la nutrición de rumiante s. *Rev Salu Públ Nutr*, 5: 143-151
- Villela DG, Giovana BA, Damiao BC, Andrade VN, (2014) Composicao bromatológica, mineral e factores antinutricionais da palma forrageira. *Tecnol. & Cien. Agropec.* 8(3): 51-55.

CAPITULO II

EFECTO DE LA ADICIÓN DE NOPAL (*OPUNTIA FICUS-INDICA*) A LA DIETA DE CERDOS EN CRECIMIENTO SOBRE GLUCOSA SANGUINEA, COLESTEROL Y TRIGLICERIDOS

Resumen

Se determinó el efecto de la adición de nopal (*O. ficus-indica*) a la dieta de cerdos de 20-50 y 50-100 kg sobre: Glucosa sanguínea (GS), Colesterol total (CT), lipoproteínas de alta densidad (HDL) lipoproteínas de baja densidad (LDL) y Triglicéridos (TG). Se utilizaron 10 cerdos de 22.4 ± 0.9 kg de peso vivo (PV) para formar dos grupos (G): G1 o testigo y G2 o experimental. Ambos grupos recibieron alimento balanceado *ad libitum*, únicamente la dieta del G2 fue adicionada con 1% de nopal (en base fresca) con base al PV semanal del cerdo. Se evaluó: GS, CT, HDL, LDL y TG, así como consumo de alimento (CA) y crecimiento (PV semanal por cerdo). La información se analizó por mediciones repetidas y las diferencias entre grupos se obtuvieron mediante medias de mínimos cuadrados. Se encontró que en los cerdos de G2 se modificaron los niveles sanguíneos de los metabolitos lipídicos en comparación con los valores observados en el G1 ($P < 0.05$), se disminuyeron: GS (78.8 mg dL^{-1}), CT (109.2 mg dL^{-1}) y LDL (49.9 mg dL^{-1}). Mientras que HDL (57.9 mg dL^{-1}) y TG (35.6) se incrementaron. El CA fue afectado por el grupo ($P < 0.001$) y en donde los cerdos del G2 mostraron un menor CA total cerdo⁻¹ ($P < 0.05$), sin que ello afectara la duración de la fase 20-100 kg (114.9 días) ni el peso final de los cerdos (101.7 kg); ambos indicadores (tiempo y peso) similares en ambos grupos ($P > 0.05$). La adición del 1% de nopal (con base al peso vivo cerdo⁻¹ semana⁻¹) a la dieta de cerdos de 20-100 kg de peso vivo, cambia el metabolismo energético (glucosa, colesterol, triglicéridos, lipoproteínas de alta y baja densidad), disminuye el consumo de alimento balanceado sin afectar el crecimiento de los mismos.

Palabras clave: Alimentación, crecimiento, HDL, LDL

Introducción

En la implementación de una nueva estrategia nutricional para los animales existe un creciente interés por el uso de insumos alimenticios no convencionales y autóctonos (Hernández *et al.*, 2016). Sin embargo, la implementación de un nuevo insumo en la dieta de cerdos debe ser evaluado no solo en el producto final (canal de cerdo) sino, además, comprender como afecta al metabolismo del animal. Al respecto, se sabe que los metabolitos sanguíneos como glucosa, colesterol total y trigliceridos, son un indicativo del metabolismo energético del organismo a corto y largo plazo. Por lo anterior, es importante evaluar dichos metabolitos, sobre todo, cuando se usa una cactacea que a demostrado tener efectos hipoglucémicos e hipocolesterolemicos en humanos, roedores y cerdos (Corte *et al.*, 2011; Ordaz *et al.*, 2017)

Ciertas especies del genero *Opuntia* spp, han probado ser una estrategia nutricional (como complemento de las dietas) para los animales domésticos, principalmente para rumiantes (Torres, 2011; García *et al.*, 2013), en donde se ha implementado con éxito en temporadas de estiaje (sequia) o en regiones donde las precipitaciones pluviales no permitan contar con forrajes de calidad durante todo el año (Ortiz *et al.*, 2013). La dieta para vacas productoras de leche complementada con nopal mejora la productividad y calidad de la leche y sus subproductos (Ortiz *et al.*, 2013; Aguilar *et al.*, 2016). Sin embargo, hay pocas investigaciones referentes a dietas para cerdos complementadas con nopal (Ortiz *et al.*, 2015; Pérez *et al.*, 2016). Ortiz *et al.*, 2015, Ortiz *et al.*, 2017 y Ordaz *et al.*, 2017 observaron reducción del nivel de glucosa sanguínea, mayor consumo de alimento y menor pérdida de peso corporal de las cerdas, cuando estas se sometieron a una dieta complementada con nopal (*O. ficus-indica*). Sin embargo, este tipo de dieta no se ha evaluado en cerdos en crecimiento. Por ello, el objetivo fue determinar el efecto de la adición de nopal (*O. ficus-indica*) a la dieta de cerdos en las fases 20-50 y 50-100 kg sobre los niveles séricos de glucosa sanguínea, colesterol total, lipoproteínas de alta y baja densidad, triglicéridos y su repercusión en el consumo de alimento y crecimiento.

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. Ubicada en el municipio de Tarímbaro Michoacán a 9.5 km de la carretera Morelia Zinapécuaro. La región corresponde a la clasificación Cw: sub-húmeda y semi-húmeda con clima templado (García, 2004).

Recurso animal y elaboración de dietas:

Se monitorearon 10 cerdos de genotipo híbrido (Yorkshire x Landrace x Pietrain) seleccionados al azar con peso promedio al inicio de 22.4 ± 0.9 kg. El monitoreo se realizó durante las Fases 20 a 50 kg y 50 a 100 kg. Con el total de cerdos se formaron dos grupos (G): G1 o control (n=5) y G2 o experimental (n=5). Los 10 cerdos fueron alojados individualmente en corrales de 2 m de largo por 1.2 m de ancho. Ambos grupos fueron alimentados con una dieta balanceada de acuerdo con los requerimientos de cada Fase de producción evaluada (20 a 50 kg y 50 a 100 kg). Con respecto a las dietas, la única variante

fue la adición de nopal (*O. ficus-indica*) base fresca a la dieta del G2 (Tabla 1). El alimento balanceado (AC) se ofreció *ad libitum* a cerdos en ambas Fases de producción. La adición del 1% de nopal se estableció con base en el peso vivo por cerdo semanalmente en cada Fase.

Tabla 1. Análisis químico proximal del alimento balanceado de acuerdo con la Fase y a la adición del 1% nopal.

Contenido	Fase de producción				
	20-50 kg		50-100 kg		Nopal
	AC	AC+1% nopal	AC	AC+1% nopal	
Materia seca (MS) %	89	79.8	89	79.3	14
Cenizas (CZ) %	3.6	7.2	3.3	8.1	13
Extracto Etéreo (EE) %	2.0	2.0	2.3	1.9	2
Fibra Cruda (FC) %	0.4	3	0.4	3.7	6.3
Proteína Cruda (PC) %	19.3	15.8	17.7	14.2	3.3

AC= alimento balanceado elaborado en el sistema de producción

Los cladodios de nopal se recolectaron de la parcela perteneciente a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia-UMSNH, los cuales no recibieron ningún tratamiento especial (*O. ficus-indica* carece de espinas), solamente fueron fragmentados en trozos de aproximadamente 2 cm de largo x 2 cm de ancho para facilitar su consumo. Posteriormente se pesaron para suministrar la cantidad correspondiente a cada cerdo del G2. El suministro de nopal se realizó a las 8:00 h en conjunto con la ración de alimento (AC) correspondiente diario por cerdo en cada Fase; previo retiro del alimento sobrante del día anterior.

Procedimiento experimental

En ambos grupos se evaluaron: niveles séricos de Glucosa sanguínea (GS), Colesterol total (CT), Lipoproteína de alta densidad (HDL), Lipoproteína de baja densidad (LDL) y Triglicéridos (TG). Además de medir el consumo de alimento (CA) y el crecimiento semanal (PV) de los cerdos durante la Fase experimental.

Toma de muestra sanguínea

Para determinar los niveles de CT, TG, HDL, LDL y GS se les tomaron muestras sanguíneas (10 ml cerdo⁻¹) a los 20, 35, 50, 75 y 100 kg de PV. Las muestras se obtuvieron de la vena yugular previo ayuno de 8:00 h y depositadas en tubos vacutainer[®] con suero activador de coagulación. Inmediatamente después de obtener las muestras éstas fueron almacenadas a

4°C, hasta ser centrifugadas (100 xg durante 10 min). Después de centrifugar las muestras, el plasma fue almacenado y congelándolo a -20°C hasta ser analizado.

Análisis sanguíneo

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

Consumo de alimento (CA)

El CA, tanto del AC como el consumo de nopal, se determinó mediante la resta entre la cantidad de AC y de nopal por cerdo diariamente suministrado por la mañana menos la cantidad sobrante de AC y de nopal cerdo diariamente del siguiente día. Las cantidades de alimento suministrado (kg) y de alimento sobrante (kg) se pesaron en una báscula (Dibatec[®], venta) con capacidad para 40 kg y con una precisión de ± 5.0 g.

Desarrollo del cerdo

Los cerdos fueron pesados al inicio de cada semana, durante las Fases evaluadas hasta que éstos llegaron a los 100 kg de peso vivo. Con esta información se calculó la ganancia de peso semanal por cerdo en cada Fase evaluada. Para realizar el pesaje se utilizó una báscula[®] (Rhino, venta) con capacidad de 300 kg y una precisión de ± 100 g.

Análisis estadístico

Los datos fueron analizados por ANOVA utilizando la metodología de los efectos fijos (MIXED) (SAS, 2010). Los datos de CT, HDL, LDL, GS y TG. de los cerdos se analizaron usando ANOVA para medidas repetidas, fijando al cerdo como objeto del efecto aleatorio de tiempo (peso vivo en fase de producción) y, como efectos fijos: grupo, peso vivo y la anidación peso vivo(grupo). El modelo utilizado fue:

$$Y_{ijkl} = \mu + G_i + C(G)_{j(i)} + PV_k + PV(G)_{ik} + \varepsilon_{ijkl}$$

Donde: Y_{ijkl} = Variable respuesta: CT, HDL, LDL, GS, TG; μ = Promedio general; G_i = Efecto fijo del i -ésimo grupo con $i= 1, 2$; $C(G)_{j(i)}$ = Efecto aleatorio del j -ésimo cerdo, anidado con el i -ésimo grupo con $i= 1, 2$; PV_k = Efecto fijo del k -ésimo peso vivo con $k= 25, 35, 50, 75$ y 100 ; $(G * PV)_{ik}$ = Efecto fijo de la anidación del i -ésimo peso vivo dentro del k -ésimo grupo; ε_{ijkl} = Error aleatorio asociado a cada observación ($\sim NID=0, \sigma^2_e$).

Los datos de PV, CA y ganancia de peso de los cerdos se analizaron usando ANOVA para medidas repetidas, fijando al cerdo como objeto del efecto aleatorio de tiempo (días en fase de producción) y, como efectos fijos: grupo, día de en fase de producción, y la anidación fase de producción(grupo). El modelo utilizado fue:

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

Donde: Y_{ijkl} = Variable respuesta: PV, CA y ganancia de peso; μ = Promedio general; G_i = Efecto fijo del i -ésimo grupo con $i= 1, 2$; $C(G)_{j(i)}$ = Efecto aleatorio del j -ésimo cerdo, anidado con el i -ésimo grupo con $i= 1, 2$; FP_k = Efecto fijo de la k -ésimo fase de producción $k= 1, 2$; $(G * FP)_{ik}$ = Efecto fijo de la anidación del i -ésimo fase de producción dentro del k -ésimo grupo; ε_{ijkl} = Error aleatorio asociado a cada observación ($\sim NID=0, \sigma^2_e$).

Resultados

Efecto de O. ficus-indica sobre los niveles séricos de metabolitos en plasma

Se encontró efecto de grupo ($P < 0.01$) y de la anidación peso(grupo) ($P < 0.05$) sobre los metabolitos analizados. Respecto al promedio general de colesterol total (CT), lipoproteína de baja densidad (LDL) y Glucosa sanguínea (GS) durante la etapa de desarrollo de los cerdos (20-100 kg), estos fueron mayores en el G1 ($P < 0.05$): 113.5 ± 1.3 mg dL⁻¹, 66.1 ± 3.0 mg dL⁻¹ y 95.0 ± 4.6 mg dL⁻¹, respectivamente vs 109.2 ± 1.3 mg dL⁻¹, 49.9 ± 3.0 mg dL⁻¹ y 78.8 ± 4.6 mg dL⁻¹ para CT, LDL y GS, respectivamente en cerdos del G2 (Tabla 2). Mientras que, el promedio general de las lipoproteínas de alta densidad (HDL) y Triglicéridos (TG) fueron mayores en el G2 ($P < 0.05$) (Tabla 2).

Tabla 2. Medias de mínimos cuadrados de los niveles séricos de metabolitos en sangre en cerdos en la etapa de desarrollo.

Indicador (mg dL ⁻¹)	Grupo 1 (0% nopal)	Grupo 2 (1% nopal)
	$\bar{X} \pm E.E.$	$\bar{X} \pm E.E.$
Colesterol total (CT)	113.5 ^a ± 1.3	109.2 ^b ± 1.3
Lipoproteína de alta densidad (HDL)	39.1 ^a ± 4.1	57.9 ^b ± 4.1
Lipoproteína de baja densidad (LDL)	66.1 ^a ± 3.0	49.9 ^b ± 3.0
Glucosa Sanguínea (GS)	95.0 ^a ± 4.6	78.8 ^b ± 4.6
Triglicéridos (TG)	29.8 ^a ± 2.0	35.6 ^b ± 2.0

EE=Error estándar

Literales ^{a, b} indican diferencias ($P < 0.05$) dentro de fila

En cuanto a las correlaciones entre metabolitos sanguíneos evaluados y de estos con las variables de consumo y crecimiento de los cerdos se encontró que, GS se correlacionó (r) con LDL ($r = -0.19$; $P < 0.05$) y con CT ($r = -0.19$; $P < 0.05$). Mientras que, CT se correlacionó con LDL ($r = 0.37$; $P < 0.001$), TG ($r = -0.30$; $P < 0.001$), Sm ($r = -0.22$; $P < 0.001$) y PV ($r = -0.24$; $P < 0.001$). Para el caso de TG, estos se correlacionaron con LDL ($r = -0.17$; $P < 0.05$), además de presentar correlación con las variables de producción como son CA ($r = -0.24$; $P < 0.001$), PV ($r = -0.22$; $P < 0.001$) y Sm ($r = -0.21$; $P < 0.05$). Para el caso de HDL, se observó que este metabolito también mostró correlación con variables productivas, tales como: CA ($r = -0.18$; $P < 0.05$) y GP ($r = -0.21$; $P < 0.05$). Por último, la LDL se correlacionó solo con una variable de producción GP ($r = -0.30$; $P < 0.001$).

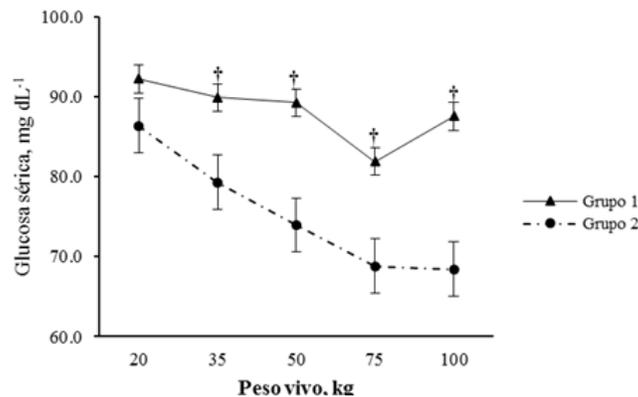
Tabla 3. Correlaciones de Pearson entre metabolitos sanguíneos y variables de consumo de alimento y crecimiento de cerdos en la etapa de desarrollo

	Metabolitos Sanguíneos				Consumos de alimento y crecimiento			
	HDL	LDL	GS	TG	Sm	PV	CA	GP
CT	0.09 ^{NS}	0.37 ^{**}	-0.19 [*]	-0.30 ^{**}	-0.22 ^{**}	-0.24 ^{**}	-0.13 ^{NS}	-0.10 ^{NS}
HDL		-0.63 ^{**}	-0.12 ^{NS}	0.04 ^{NS}	-0.14 ^{NS}	-0.12 ^{NS}	-0.18 [*]	-0.21 [*]
LDL			-0.19 [*]	0.17 [*]	0.05 ^{NS}	0.01 ^{NS}	0.10 ^{NS}	-0.30 ^{**}
GS				0.04 ^{NS}	-0.32 ^{**}	-0.27 ^{**}	-0.15 [*]	-0.01 ^{NS}
TG					-0.21 [*]	-0.22 ^{**}	-0.24 ^{**}	-0.02 ^{NS}

CT= Colesterol total; HDL= Lipoproteínas de alta densidad; LDL= Lipoproteínas de baja densidad GS= Glucosa sanguínea; TG=; Sm= Semana; PV= Peso vivo; CA= Consumo de alimento diario; GP= Ganancia de peso total; *= Significativo ($P < 0.05$); **=altamente significativo ($P < 0.001$); NS=No significativo ($P > 0.05$)

En cuanto a los niveles de GS de los cerdos de acuerdo con el PV de los mismos y al grupo, se pudo observar que en el G2 (cerdos que consumieron nopal) la GS comenzó a descender ($P < 0.05$) a partir de los 35 kg de peso vivo, alcanzando 79.3 mg dL⁻¹ de GS a los 70 kg de PV (Figura 1). Mientras que los cerdos del G1, los niveles de GS permanecieron dentro de

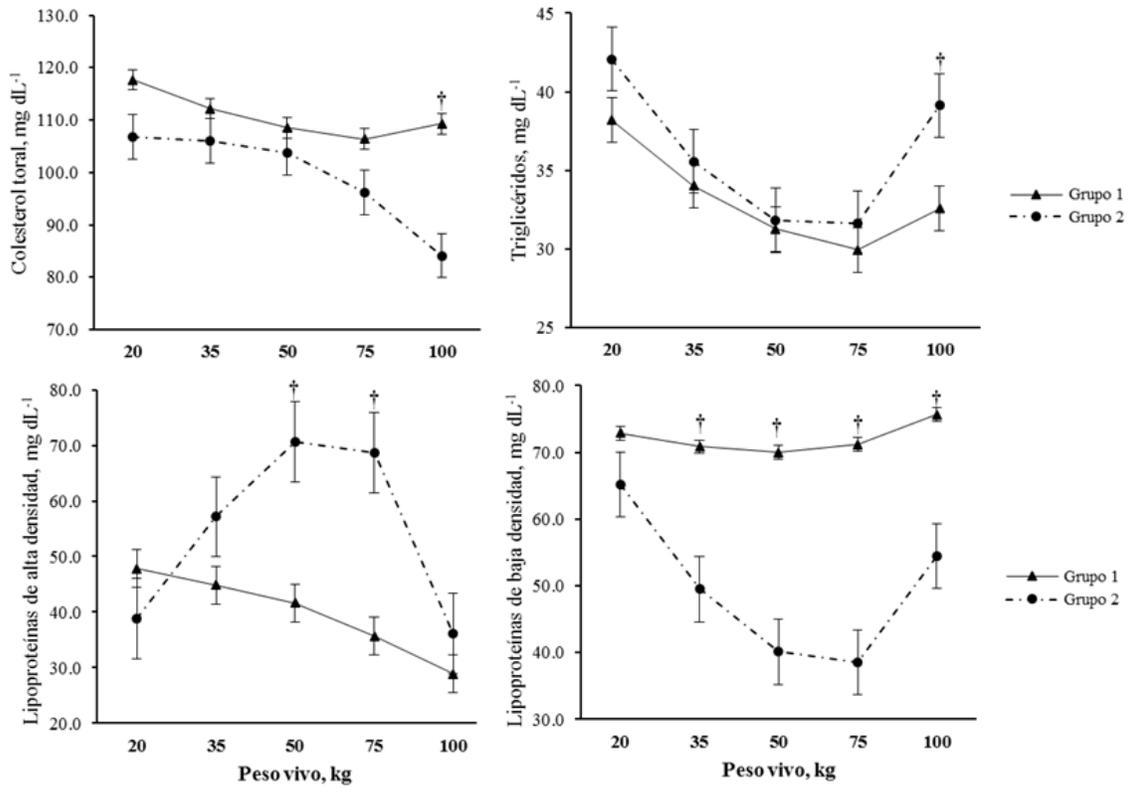
un rango de 87.6 a 95 mg dL⁻¹ durante el monitoreo de la fase de experimentación (20-100 kg de PV) (Figura 1)



†Indica diferencia estadística ($P < 0.05$) entre grupos.

Figura 1. Medias de mínimos cuadrados para los niveles de glucosa de acuerdo con el peso vivo de los cerdos en fase de desarrollo.

Para el caso de CT, TG, LDL y HDL, estos metabolitos mostraron comportamientos diferentes, conforme el cerdo incrementaba su peso; el CT en cerdos del G1, con 20 kg de PV fue de 117.7 mg dL⁻¹ y para cuando alcanzaron los 100 kg de PV se observó que el CT fue de 109.3 mg dL⁻¹ (Figura 2). Mientras que en el grupo de los cerdos que consumieron nopal (G2) el CT fue de 106.8 y 84.1 mg dL⁻¹, cuando los cerdos pesaban 20 y 100 kg de PV, respectivamente. No obstante, solo los valores de CT a 100 kg en el G1 y G2 fueron diferentes entre sí ($P < 0.03$) (Figura 2). Para el caso de los TG, éstos en ambos grupos evaluados mostraron una tendencia hacia una disminución conforme los cerdos incrementaban el peso y solo se encontró diferencia entre grupos ($P < 0.05$) a los 100 kg de PV: 32.5 mg dL⁻¹ en G1 vs 39.1 mg dL⁻¹ en G2 (Figura 2).



†Indica diferencia estadística ($P < 0.05$) entre grupos.

Figura 2. Medias de mínimos cuadrados para los niveles de colesterol, lipoproteínas de alta y baja densidad y triglicéridos de acuerdo con la anidación peso(grupo).

Con respecto a LDL, se observó que los valores de este metabolito fueron diferentes entre ambos grupos analizados ($P < 0.004$) a partir de los 35 kg de PV (Figura 2), siendo los cerdos del G2, quienes presentaron los menores valores de LDL. No obstante, en este grupo, LDL mostró un incremento de 38.5 a 54.4 mg dL⁻¹ cuando los cerdos pasaron de 75 a 100 kg de PV (Figura 2), Mientras que LDL, en cerdos de 20 a 100 kg de PV del G1, osciló entre 70 y 75 mg dL⁻¹ durante su desarrollo (Figura 2). Finalmente, los niveles de HDL fueron mayores en los cerdos que consumieron nopal (G2) y con un PV de 50 (70.6 mg dL⁻¹) y 75 kg (68.6 mg dL⁻¹), ello con respecto al grupo control (G1): 41.6 y 35.6 mg dL⁻¹, para 50 y 75 kg de PV, respectivamente (Figura 2).

Efecto del consumo de O. ficus-indica sobre el consumo de alimento (CA)

El CA fue afectado por el Grupo ($P < 0.001$). Al respecto, el G1 mostró mayor CA, 46.3 kg más que el G2 (Tabla 4).

Tabla 4. Medias de mínimos cuadrados para el consumo voluntario de alimento cerdo⁻¹ de acuerdo con la Fase de producción y al grupo.

Indicador	Fase			
	Grupo 1 (0% de nopal)		Grupo 2 (1% de nopal)	
	20-50 kg	50-100 kg	20-50 kg	50-100 kg
	$\bar{X} \pm E.E.$	$\bar{X} \pm E.E.$	$\bar{X} \pm E.E.$	$\bar{X} \pm E.E.$
Peso inicial (kg)	22.8 ^a ± 0.4	53.2 ¹ ± 0.4	21.9 ^a ± 0.4	53.4 ¹ ± 0.4
Consumo de alimento total	303.7 ^a ± 1.6		257.4 ^b ± 1.6	
Consumo total de nopal	NC	NC	48.2 ± 0.6	
Consumo Total (alimento+nopal _{BS})	NC	NC	262.5 ± 1.6	
Peso final (kg)	48.0 ^a ± 0.4	100.8 ¹ ± 0.4	48.3 ^a ± 0.4	101.7 ¹ ± 0.4
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
Duración fase (días)	52.4 ^a ± 0.8	61.6 ¹ ± 0.8	53.5 ^a ± 0.8	61.4 ¹ ± 0.8

G1=Grupo 1; G2=Grupo 2; BF=Base fresca; BS=Base seca; NC=No consumió

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

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

Efecto de O. ficus-indica sobre el desarrollo de los cerdos (kg)

No se encontró efecto de la adición del 1% de *O. ficus-indica* a la dieta de los cerdos del G2 sobre el desarrollo de los mismos ($P < 0.05$) durante las Fases de 20-50 y 50-100 kg de PV (Tabla 4). El PV por cerdo al final de cada Fase ($P > 0.05$) en ambos grupos. El tiempo para alcanzar los 100 kg de PV, también fue igual en ambos grupos evaluados ($P > 0.05$). De la misma manera se comportó la ganancia diaria de peso; no se encontraron diferencias entre grupos ni entre fases ($P > 0.05$; Tabla 4).

Discusión

La alimentación es uno de los principales factores que repercute en el estado general de salud y en el valor nutrimental de la carne (proteína y grasa, principalmente) de los cerdos (Hernández *et al.*, 2016). De aquí, la importancia de establecer los cambios metabólicos que sufren los animales cuando a estos se les modifica la dieta; sobre todo, cuando uno de los insumos posee efectos hipoglucémico e hipocolesterolémico en los individuos que lo consumen; tal es el caso del nopal (Ordaz *et al.*, 2017), cactácea que se adicionó a la dieta de los cerdos (G2), en la presente investigación. Al respecto, en este trabajo de investigación se

pudo establecer que los niveles séricos de GS, CT, HDL, LDL y TG fueron modificados ($P < 0.05$) por el consumo de *O. ficus-indica* en los cerdos del G2 ello al compararse con los valores de dichos metabolitos en cerdos alimentados con una dieta convencional (G1) para esta especie (Tabla 2). Dicha modificación posiblemente fue la responsable de las diferencias en el CA de los cerdos del G2 vs CA del G1 (Capítulo I). En este sentido los cerdos del G2 consumieron menor cantidad de AC ($P < 0.05$) (Tabla 4).

El menor CA de los cerdos del G2, puede tener diversas explicaciones puesto que esta cactácea posee ciertas propiedades que pueden cambiar el metabolismo de los animales que lo consumen y este cambio puede generar una mayor eficiencia en el proceso digestión (Ordaz *et al.*, 2017). Uno de los aspectos característicos que provoca la ingesta de nopal por parte de humanos, ratas y cerdos es su efecto hipoglucémico e hipocolesterolémico (Corte *et al.*, 2011; Ortiz *et al.*, 2015) debido probablemente al alto contenido de calcio ($2836.00 \pm 157.71 \text{ mg } 100^{-1} \text{ g, MS}$) que posee esta cactácea (Villela *et al.*, 2014). Puesto que, este mineral (Ca^+) es el principal promotor de la liberación de insulina mediante la despolarización de la membrana de las células β del páncreas (Pari y Latha, 2005). Sin embargo, la disminución de GS y CT en sangre también puede deberse a la acción de la fibra soluble (35%) presente en esta planta (Tang *et al.*, 2005, Torres, 2011); capaz de inhibir la producción de GS y de CT a través de la formación de una capa de gel (pecti-gel) que cubre las sustancias lipídicas del alimento impidiendo su absorción. No obstante, el pecti-gel provoca mayor producción de ácidos biliares y disminución de 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). Promoviendo con este mecanismo: incremento en la digestión de los nutrientes (Barretero *et al.*, 2010) y la señal temprana de saciedad aspecto (Heimendahl *et al.*, 2009). Aspecto que pudiera explicar el porqué los cerdos del G2 consumieron menos AC ($P < 0.05$) en comparación con los cerdos del G1 (Tabla 4), a pesar de presentar disminución de GS (Tabla 2).

Frazer *et al.*, (2001), establecieron que el cambio en la fuente energética afecta la cantidad de CT en cerdos al sustituir 4% de harina de maíz por aceite de coco en la dieta de cerdos de 20 kg de PV: el CT pasó de 90 a 75.4 mg dL⁻¹ ($P < 0.05$). Sin embargo, no todos los insumos considerados como fuente energética adicionados a la dieta de cerdos provocan cambios en

CT, puesto que Frazer *et al.* (2001) reporta que la adición de grasa de leche (84.2 mg dL⁻¹) o aceite de oliva (81.9 mg dL⁻¹) a la dieta de los cerdos no mostraron cambios en los valores de este metabolito ($P > 0.05$) al compararse con el testigo (75.4 mg dL⁻¹). En el caso del presente trabajo de investigación, no solo se encontró que los cerdos de 20 kg de PV de ambos grupos mostraron mayor contenido de CT (117.7 y 106.8 mg dL⁻¹ para G1 y 2, respectivamente) con respecto a lo reportado por Frazer *et al.* (2001); también, se pudo observar que la adición del 1% de nopal a la dieta convencional de estos cerdos provocó menor contenido de CT ($P < 0.05$).

Morzat *et al.* (2001) y Frazer *et al.* (2001) han establecido que los cerdos de 20-100 kg de PV presentan incremento en los niveles de CT, debido al requerimiento energético que demanda un organismo en crecimiento y los niveles de CT decrecen conforme el cerdo se acerca a la edad adulta. Sin embargo, el incremento de dicho metabolito también se asocia a una dieta rica en lípidos, así como a la edad; tal como fue observado por De Sousa *et al.* (2013) al incrementar de 2 a 2.5% el aceite de canola a la dieta de cerdos de 70-100 kg: los niveles de colesterol se incrementaron de 103.9 a 117.3 mg dL⁻¹. En este sentido, los resultados obtenidos en la presente investigación, mostraron asociación (r) negativa entre la edad del cerdo (semana o PV) y niveles de CT (Tabla 3): a mayor edad ($r = -0.22$; $P < 0.001$) y peso ($r = -0.24$; $P < 0.001$) los niveles sanguíneos de CT en cerdos disminuye; comportamiento más evidente en G2 (106.8 y 84.1 mg dL⁻¹ de CT a 20 y 100 kg de PV, respectivamente), puesto que en G1 el CT fue de 117.7 y 109.3 mg dL⁻¹ para 20 y 100 kg de PV, respectivamente). Disminución que puede ser atribuido al pecti-gel, producido por la fibra soluble del nopal, presente en el tracto digestivo del cerdo, misma que es responsable de una reducción del CT (Liu *et al.*, 2016).

En la distribución del CT interno, las lipoproteínas (LDL y HDL) juegan un papel fundamental; puesto que, LDL al ser un remanente de la lipoproteína de muy baja densidad (VLDL) se encarga de transportar los esteres de colesterol a tejidos extra hepáticos. Mientras que, HDL es considerada como una lipoproteína de defensa, debido a que recoge los esteres de colesterol, triglicéridos, ácidos grasos y glicerol de los órganos extra hepáticos y torrente sanguíneo (Muñoz *et al.*, 2014). De aquí, la necesidad de mantener un equilibrio en la producción de ambas lipoproteínas a través de la composición de la dieta. Al respecto, se

encontró efecto de grupo sobre LDL ($P < 0.004$) y HDL ($P < 0.002$); observándose en los cerdos del G2 mayor ($P < 0.05$) nivel de HDL (57 mg dL^{-1}) y menor ($P < 0.05$) contenido de LDL (49 mg dL^{-1}) en comparación con los resultados observados en cerdos del G1 (Tabla 2). Efecto que pudo establecer la diferencia entre la relación LDL:HDL observada en G1 y G2 (1.69:1 y 0.86:1, respectivamente). Dichas relaciones sugieren que, el consumo únicamente de AC incrementa el nivel de LDL; mientras que el consumo de AC más nopal mantiene una relación LDL:HDL más cercana al equilibrio.

Aun y cuando, la adición del 1% de nopal a la dieta de cerdos de los 20-100 kg de PV (G2) mostró efecto hipoglucémico e hipocolesterolémico en estos animales ($P < 0.05$) es posible que, la adición de nopal a la dieta no fue suficiente para mostrar un incremento en el consumo de alimento a causa de la disminución de GS ($P < 0.05$), como Ordaz *et al.* (2017) lo han demostrado en cerdas en lactancia en donde la GS pasó de 70.9 mg dL^{-1} (grupo testigo) a 55.2 mg dL^{-1} (grupo experimental) por efecto de la dieta adicionada con nopal, mientras que el CA promedio en 21 días de lactación pasó de $4.7 \pm 1.5 \text{ kg día}^{-1} \text{ cerda}^{-1}$ (grupo testigo) a $5.5 \pm 1.8 \text{ kg día}^{-1} \text{ cerda}^{-1}$ (grupo experimental).

El hecho de que en los cerdos en etapa de desarrollo no se haya presentado un incremento del consumo de alimento sin afectar el crecimiento (PV) de los mismos (Tabla 4), fue un hallazgo favorable, sobre todo cuando en la actualidad las investigaciones en la nutrición están enfocadas en reducir los costos de alimentación sin perjudicar el tiempo de crecimiento (Herrera *et al.*, 2013). Dicho hallazgo, se puede relacionar el efecto del nopal sobre la producción y liberación de insulina (Corte *et al.*, 2011) y, ésta (al igual que la ghrelina) estimula la producción de la hormona del crecimiento (Etherton, 2009), misma que aumenta la absorción de aminoácidos y el anabolismo de proteínas en musculo (Barretero *et al.*, 2010). Esto último puede desarrollarse ya que la acción del pecti-gel sobre los lípidos y la mayor liberación de sales biliares, pudieran actuar en la degradación de proteínas y otros nutrientes facilitando su absorción y disponibilidad para que la HC realice su función.

Conclusión

La adición del 1% de nopal (con base al peso vivo del cerdo semana⁻¹) a la dieta de cerdos durante las fases de producción de 20 a 50 kg y de 50 a 100 kg de peso vivo, cambia el metabolismo energético (glucosa, colesterol, triglicéridos, lipoproteínas de alta y baja densidad) provocando un menor consumo de alimento cerdo⁻¹ día⁻¹ sin afectar el tiempo para lograr el peso al mercado (100 kg).

Bibliografía

- Aguilar B.J.L., Valdez, A.J.J., Val, A.D., Martinez, 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
- Barretero, R.H., Galyean, M.L., PAS, Vizcarra, J.A. (2010) The effect of feed restriction on plasma ghrelin, growth hormone, insulin, and glucose tolerance in pigs. *The Professional animal scientist* 26:26-34
- 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
- De Sousa, R.V. Oliveira, D.R., Zangeronimo, M.G., Cantarelli, V.S., Soares, M.S.F., Pereira, L.J. (2013) Total Cholesterol and its Fractions in the Blood of Finishing Pigs fed Diets with Different Levels of Canola Oil. *Acta Scientiae Veterinariae*, 41: 1093-1098.
- Etherton, T.D. (2009) ASAS Centennial Paper: Animal growth and development research: Historical perspectives. *J. Anim Sci*, 89(9): 3060-3064
- Foxcroft, G.R. (2012). Reproduction in farm animals in an era of rapid genetic change: will genetic change outpace our knowledge of physiology. *Reprod Dom Anim* 47(4): 313-319
- Frazer J. A., Thompsona, K.G., Jamesb, K.A.C., Manktelowa, B.W., Koolaardb, J.P., Johnsonc, R.N., McNuttc, 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
- 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

- García, G.R.A., Roman, B.R.M., Val, A.D., Perez, S.R.E., Ortiz, R.R. (2013). Caracterización y modelación de la curva de lactancia de vacas holstein complementadas con nopal (*Opuntia ficus-indica*) durante la época seca. *Revista Científica*, 23(5): 426-433
- Heimendahl, E.V., Breves, G., Abel, H.J. (2009) Fiber-related digestive processes in three different breeds of pigs. *J Anim Sci*, 88(3): 972-981
- Hernandez, 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
- 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. *Revista Pastos y Forrajes*. 36: 56-63
- Lefaucheur, L., Leuret, 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. *J Anim Sci*. 89: 996-1010
- Liu, Q., Zhang, Q.M., Zhang, Z.J., Zhang, Y.J., Zhang, Y.W., Chen, L., Zhuang, Z. (2016). Effect of fiber source and enzyme addition on the apparent digestibility of nutrients and physicochemical properties of digesta in cannulated growing pigs. *Animal feed science and technology* 216: 262-272
- Montemayor, A., Cordova, A., Aguilera, A., García, T. y Kawas, R. (2011) Caracterización química y degradación ruminal del nopal (*Opuntia ficus-indica*) y de variedades silvestres de *Opuntia* como alternativa en la suplementación de caprinos. *Salud pública y nutrición*, 5: 156-165
- Morzat M, Fewtrell MS, Cole TJ. (2001). Birth weight, subsequent growth, and cholesterol metabolism in children 8–12 years old born preterm. *Archives of Disease in Childhood* 84:212-217.
- 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. *Rev Ibero Cien*, 1: 149-159
- Niemi, J.K., Sevón-Aimonen, M.L., Pietola, K., Stalder, K.J. (2010) The value of precision feeding technologies for grow-finish swine. *J Liv Sci*, 129: 13-23
- 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*, 49:1025-1033

- 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. *Arch Latinoam Prod Anim*, 21: 79-82
- 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. XXIV Congreso de la asociación latinoamericana de producción animal y XL Congreso de la sociedad Chilena de producción animal. Que se llevó acabo del 9 al 13 de noviembre en 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. *Revista de investigación de la Universidad de la salle bajo*, 9: 290-312
- Pari, L. and Latha, M. (2005). Antidiabetic effect of *scoporia dulcis*: Effect on lipid peroxidation in streptozocin diabetes. *Gen. Physiol. Biophys.* 24: 13-26.
- Pierozan, C.R., Agostini, P.S., Gasa, J., Novais, A.K., Dias, C.P., Santos, R.S.K., Pereira, Jr. M., Nagi, J.G., Alves, J.B., 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. *Span J Agric Res*, 2: 1-8
- Tang, Z.R., Yin, Y.L., Nyachoti, C.M., Huang, R.L., Li, T.G., Yang, C., Yang, X.J., Gong, J., Peng, J., Qi, D.S., Xing, J.J., Sun, 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*, 28:430-441
- Torres A. (2011) Composición química del nopal y sus implicaciones en la nutrición de rumiante s. *Rev Salu Públ Nutr*, 5: 143-151
- Villela DG, Giovana BA, Damiao BC, Andrade VN, (2014) Composicao bromatológica, mineral e factores antinutricionais da palma forrageira. *Tecnol. & Cien. Agropec.* 8(3): 51-55.

CAPITULO III

EFFECTO DE LA ADICIÓN DE NOPAL (*OPUNTIA FICUS-INDICA*) EN LA DIETA DE CERDOS EN CRECIMIENTO SOBRE VELOCIDAD DE TRÁNSITO DEL ALIMENTO, COEFICIENTE DE DIGESTIÓN Y PRODUCCIÓN DE METANO

Resumen

Se determinó el efecto de la adición de nopal (*O. ficus-indica*) a la dieta de cerdos de 20 a 100 kg de peso vivo (PV) sobre velocidad de tránsito (VT) del alimento, coeficiente de digestión (CD) y producción de metano (CH₄). Se seleccionaron al azar a 46 cerdos (Yorkshire x Landrace x Pietrain) de 25.3±0.2 kg para formar dos grupos (G): GC o control (n=23) y GE o experimental (n=23). Mismos que se monitorearon durante las Fases de 20-50 y 50-100 kg de PV. Ambos grupos recibieron alimento balanceado *ad libitum* Fase⁻¹, únicamente GE consumió 1% de nopal (con base al PV cerdo⁻¹ semana⁻¹) más alimento balanceado. En cada cerdo se evaluó: consumo de alimento (CA), VT, CD y producción de CH₄. El CA, se determinó diariamente. Para determinar la VT, se adicionó bióxido ferroso (pigmento) a la dieta de 10 cerdos Grupo⁻¹. Mientras que para CD se utilizaron 16 cerdos grupo⁻¹ Fase⁻¹. El CD se determinó mediante bromatológicos de las dietas y excretas grupo⁻¹ Fase⁻¹. Para determinar el potencial de producción de CH₄ se tomaron muestra de heces de 24 cerdos en total, (n=12 por grupo) mismas que se introdujeron a digestores. Se encontró efecto de grupo (P < 0.001) sobre los indicadores evaluados: el CA fue menor en cerdos del GE (2.2 kg cerdo⁻¹ día⁻¹). La VT fue de 23.2 h GE y mayor al G1. El CD para proteína cruda fue mayor en el GE: 62.2 % vs 57.6%, para GC y para el extracto etéreo (87.9 y 77.2%, para GC y GE, respectivamente). La producción de CH₄, fue menor en el GE (6.7 ml/g SV) vs GC (7.9 ml/g SV). La adición de nopal a la dieta de cerdos (20-100 kg) reduce VT del alimento, incrementa el CD, lo que origina menor CA y producción de CH₄.

Palabras clave: alternativa, alimentación, digestibilidad, contaminante

Introducción

Los actuales avances en la producción de cerdos se deben en gran parte al desarrollo de un conjunto de programas, técnicas y tecnología aplicadas a los sistemas de producción de esta especie y, en las que se incluyen: el mejoramiento genético y la nutrición, principalmente (Jha y Berrocoso, 2015). Respecto a la nutrición, las estrategias implementadas en la alimentación de los cerdos, como los antibióticos y tecnología de procesamientos de alimentos, tienen como finalidad mejorar los índices productivos a través del mantenimiento de la salud de los animales en busca de incrementar la digestión y absorción de los nutrientes contenidos en la dieta (Millet *et al.*, 2012). Sin embargo, estas estrategias presuponen altas inversiones en material, capacitación y mantenimiento de los equipos y del personal, lo cual

impacta los costos de producción, aspecto que no es costeable para productores con sistemas semi-tecnificados o de traspatio (Hernández *et al.*, 2016).

Aun y cuando los cerdos son una especie con excelentes conversiones alimenticia, los productores se enfrentan a los altos costos de las dietas de los cerdos en sus diferentes etapas de producción; sobre todo, en la etapa 20 a 100 kg de peso vivo, donde el cerdo alcanza a consumir 2 a 3.5 kg de alimento por día (Morel *et al.*, 2012). Cantidad que debe cubrir sus necesidades de mantenimiento y crecimiento, así como, cumplir con los estándares de sanidad, rendimiento y calidad de la canal que el consumidor demanda (Dom *et al.*, 2017). Aunque si bien, los diferentes alimentos balanceados cumplen con estos requerimientos, el alto costo de los principales insumos (soya y sorgo, fuentes de proteína y energía) de las diferentes dietas ofrecidas a los cerdos está ligado a los costos y necesidades de agua y tecnología para la producción de dichos insumos (Woyengo *et al.*, 2014; Dom *et al.*, 2017).

Las investigaciones de nuevas alternativas de nutrición de cerdos, entre las que destacan insumos no convencionales como son: aguacate (Hernández *et al.*, 2016), pulpa de cítricos (Cerisuelo *et al.*, 2012), suero de leche (Pérez *et al.*, 2014), productos de la industria azucarera (Montagne *et al.*, 2014), entre otros más, han establecido que son estrategias viables y pueden sustituir parcialmente una porción de la dieta balanceada. Sin embargo, la utilización de estos insumos es limitado, debido a que solo están disponibles para los productores cercanos a dichas industrias (Hernández *et al.*, 2016; Cerisuelo *et al.*, 2012).

Recientemente, se está evaluando al nopal (*O. ficus-indica*) como insumo no convencional para las dietas de los cerdos (Ordaz *et al.*, 2017; Ortiz *et al.*, 2017). Sin embargo, esta cactácea ya ha probado ser una estrategia viable como complemento de las dietas para rumiantes (Montemayor *et al.*, 2011; Ortiz *et al.*, 2013). Puesto que esta planta posee diversas cualidades que la hacen ideal como parte de los insumos de las dietas: tolerancia a la sequía, fácil adaptación a ecosistemas diversos, alto contenido de humedad (90%), excelente producción de biomasa (> 60 ton/ha, en base fresca) (Montemayor *et al.*, 2011), 14% de fibra, de la cual 35% es soluble y de fácil digestión. Sin embargo, tienen un bajo contenido de proteína (4%) (Torres 2011), por lo que solo debe usarse como complemento de las dietas convencionales.

La adición de nopal a la dieta implica un cambio en la alimentación y todo cambio, e incluso la adición de un nuevo componente a la dieta, tiene un impacto morfológico y fisiológico (metabólico) en el sistema digestivo del animal (Suthongsaa *et al.*, 2017). Puesto que, un nuevo insumo puede afectar los factores nutricionales de la dieta y modificar el ambiente gastrointestinal; por ejemplo, cambio en las poblaciones bacterianas del intestino y modificación de las microestructuras intestinales (Li *et al.*, 2015). Tan solo estos cambios son capaces de modificar el tiempo y capacidad del sistema para degradar y absorber los nutrientes de la dieta, lo que a su vez incrementa la producción de gas metano el cual tiene un fuerte impacto en el ambiente climático. Al respecto, las fuentes de fibra pueden cambiar el ambiente del tracto gastrointestinal (microbiota), la velocidad de tránsito del alimento por el tracto digestivo y alterar no solo el crecimiento y rendimiento del cerdo (Zijlstra *et al.*, 2012) si no también la producción de gas metano (Li *et al.*, 2015).

El uso de nopal en la dieta de monogástricos, como los cerdos, aún está en la etapa de investigación. Ordaz *et al.* (2017), reporta que la implementación del 1% de nopal en cerdas en lactancia redujo los niveles de glucosa sanguínea ($P < 0.05$), generando en estas cerdas mayor consumo de alimento diario, cuya consecuencia fue menor pérdida de peso corporal al final de la lactancia ($P < 0.05$) y, una reactivación ovárica post-destete más temprana. Por su parte, Ortiz *et al.* (2017) observaron la dieta de cerdas lactantes adicionada con 1% de nopal no modificó la producción ni la composición nutrimental de la leche de estas cerdas ($P < 0.05$), lo cual asegura el crecimiento normal de los lechones lactantes ($P < 0.05$). Pérez *et al.* (2016) evaluaron la dieta de cerdos en crecimiento adicionada con 1% de nopal y encontraron que, la ingesta de nopal puede producir una reducción en el consumo de alimento y agua sin afectar el crecimiento y rendimiento de la canal de estos cerdos ($P < 0.05$). Sin embargo, en dicha investigación se planteó hipotéticamente que los resultados observados se deben a una menor velocidad de tránsito del alimento consumido debido al contenido de fibra del nopal. Por ello, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la adición de nopal (*O. ficus-indica*) a la dieta de cerdos de 20 a 50 y 50 a 100 kg de peso vivo sobre velocidad de tránsito del alimento, coeficiente de digestión y producción de gas metano.

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. Ubicada en el municipio de Tarímbaro Michoacán a 9.5 km de la carretera Morelia Zinapécuaro. La región corresponde a la clasificación Cw: sub-húmeda y semi-húmeda con clima templado (García, 2004).

Recurso animal y elaboración de dietas

Se monitorearon 46 cerdos en total seleccionados al azar tanto machos como hembras, cuyo genotipo fue Yorkshire x Landrace x Pietrain con un peso promedio al inicio de 22.4 ± 0.9 kg. El monitoreo se realizó durante las fases 20 a 50 kg y 50 a 100 kg. Con el total de cerdos se formaron dos grupos (G): G1 o control (n=23) recibió solo el alimento balanceado *ad libitum* de acuerdo con la Fase de producción y G2 o experimental (n=23) se sometió a una dieta con el mismo alimento balanceado que el G1 más el 1% de nopal (*O. ficus-indica*) en base fresca (Tabla 1). El total de cerdos fueron alojados de forma individual en corrales de 2 m por 1.2 m. Para el suministro de nopal, los cladodios fueron fragmentados en trozos de 2x2 cm aproximadamente en conjunto con la ración de alimento correspondiente a las 8 h. El porcentaje de nopal (1%) adicionado a la dieta de los cerdos se estableció en relación con el peso vivo de cada cerdo, semanalmente por Fase.

Tabla 1. Análisis químico proximal del alimento balanceado de acuerdo con la Fase y a la adición del 1% nopal.

Contenido	Fase de producción				
	20-50 kg		50-100 kg		Nopal
	AC+0% nopal	AC+1% nopal	AC+0% nopal	AC+1% nopal	
Materia seca %	89	79.8	89	79.3	14
Cenizas %	3.6	7.2	3.3	8.1	13
Extracto Etéreo %	2.0	2.0	2.3	1.9	2
Fibra Cruda %	0.4	3	0.4	3.7	6.3
Proteína Cruda %	19.3	15.8	17.7	14.2	3.3

AC = Alimento balanceado de acuerdo al sistema

Las variables evaluadas en ambos grupos fueron: consumo de alimento y consumo de nopal cerdo⁻¹ día⁻¹, crecimiento (kg) del cerdo semana⁻¹, velocidad de tránsito, coeficiente de digestión y producción de gas metano.

Consumo de alimento (CA).

El CA (tanto el alimento balanceado como el nopal) se determinó mediante el pesaje diario del alimento y nopal sobrante antes de suministrar nuevamente el alimento del día correspondiente. Las cantidades de alimento suministrado (kg) y de alimento sobrante (kg) se pesaron con una báscula (Dibatec®, venta) de 40 kg de capacidad con precisión de ± 5.0 g. La cantidad de alimento se suministró de acuerdo con la Fase de producción de los cerdos y, el CA cerdo⁻¹ día⁻¹ semana⁻¹ grupo⁻¹ se calculó a través de:

$$CA d^{-1} = ASM - ARD$$

Donde: CA = Consumo de alimento; ASM = Alimento suministrado (kg) por la mañana; ARD = Alimento sobrante (kg) de la ración suministrada por la mañana

Crecimiento del cerdo

Con el fin de determinar el crecimiento en cada cerdo, de forma semanal por Fase, los cerdos fueron pesados cada semana, hasta los 100 kg de peso vivo. Con esta información se calculó la ganancia de peso semanal por cerdo. Para realizar el pesaje se utilizó una báscula® (Rhino, venta) con capacidad de 300 kg y una precisión de ± 100 g.

Velocidad de transito

Para determinar la velocidad de transito se utilizaron 20 cerdos en total, los cuales se dividieron en el G1 (n=10) y G2 (n=10). Se uso colorante vegetal azul (bióxido ferroso) como marcador, el cual se suministró el 1% con base a la cantidad de alimento consumido por cerdo al día con el fin de pigmentar las heces del cerdo. El colorante se mezcló con 200g de alimento balanceado antes de suministrar el total de la ración de alimento y se ofreció a las 7:45 h con el fin de verificar su consumo. Posteriormente, se suministró la ración de alimento y nopal correspondiente por cerdo por grupo. Tanto el colorante vegetal y las heces recolectadas se pesarán en una báscula digital (Dibatec®, venta; 40 kg de capacidad y precisión de ± 5.0 g). Para determinar la velocidad de transito se monitorearon las evacuaciones de excretas post-alimentación para obtener la hora en que fue excretado por primera vez el colorante.

Coefficiente de digestión

Para determinar el coeficiente de digestión, se realizó un análisis químico proximal de las dietas y las excretas de 16 cerdos de cada grupo por Fase. Las excretas se recolectaron durante tres días en los periodos donde no se adiciono colorante a la dieta. Las excretas recolectadas fueron congeladas a -4°C hasta su análisis. Antes del análisis se homogenizaron las muestras de cada cerdo por grupo de acuerdo con la Fase y se tomó una muestra de 200g para ser analizada. Tanto en el alimento como en las excretas se determinó el contenido de materia seca, proteína cruda, fibra cruda y cenizas (AOAC, 2009).

En base al bromatológico de las excretas se determinó la excreción de nutrientes, mientras que el coeficiente de digestión se determinó en cada cerdo, por grupo en cada Fase por método directo respecto a la metodología de Pattacini *et al.* (2012) la cual se determina la digestión de cada nutriente de acuerdo con la siguiente formula:

$$CD (\%) = [(NI-NE) / NI] \times 100$$

Dónde: CD= coeficiente de digestibilidad; NI= nutriente ingerido (consumo de alimento diario); NE= nutriente en heces (peso de las heces)

Potencial de producción de gas metano (CH₄)

Para determinar el potencial de producción de CH₄ se tomaron muestra de heces de 24 cerdos en total, (n=12 grupo⁻¹), las muestras fueron tomadas a las 7 am para proceder a montar los digestores. Se montó un circuito de cuatro elementos volumétricos como se describen a continuación: Digestor (Matraz elenmeyer 250 ml), contenedor de dióxido de carbono (Matraz elenmeyer de 500 ml) desplazador de agua (Matraz elenmeyer 250 ml) y medidor de la producción de gas (probeta de 100 ml ± 0.1). Todos los contenedores fueron sellados con tapones de goma y los conductos entre estos fueron mangueras de goma, a excepción de la probeta (Imagen 1).



Imagen 1. Prototipo usado para determinar la producción de gas metano.

La capacidad del matraz usado para el digestor fue de 220 ml, de los cuales se usó el 90% del volumen (198 ml): 148.5 ml de agua y 49.5 ml de heces en una relación 3:1. Los digestores se mantuvieron en un termo-baño (Terlab ®, México) a 37.9°C (Imagen 1). En el segundo contenedor se introdujo hidróxido de sodio al 10% para retener el dióxido de carbono, el tercer contenedor se llenó con agua y, el cuarto elemento del sistema fue una probeta graduada cada mililitro, con la cual se midió la producción de gas. Todos los contenedores como las mangueras de goma usadas en los circuitos fueron del mismo tamaño para cada repetición. La medición de la producción de gas se realizó cada 10 minutos durante 1 h, después cada 30 minutos durante 1 h y, posteriormente cada hora hasta que culminara la producción.

Las variables evaluadas fueron, contenido de la relación carbono (C): nitrógeno (N), sólidos totales (ST) y sólidos volátiles (SV) en el afluente y efluente usado en el digestor, los cuales se realizaron de acuerdo con la AOAC (2009) además se obtuvo la diferencia entre ambos para conocer la cantidad de nutrientes digerida. Para estimar la producción de CH₄ se determinó la duración de la Fase *lag* (FL), la hora al punto de inflexión (HPI), la producción de CH₄ al punto de inflexión (PCI), la tasa máxima de producción de CH₄ (TMP), la producción acumulada de CH₄ y el potencial de producción de CH₄ de acuerdo con el contenido de SV.

$$Y = e^{a-be^{cx}}$$

Donde: Y= a la producción acumulada de gas a un tiempo x; a > 0 es la producción máxima de gas; b > 0 es la diferencia entre el gas inicial y el gas final a un tiempo x; c > 0 describe la tasa específica de acumulación de gas; e= es el número de Euler, equivalente a ≈ 2.718281828459

Para el ajuste de la curva se estima usando las fórmulas:

$$\begin{aligned} \text{HPI} &= b/c \\ \text{PCI} &= a/e \\ \text{TMP} &= (a*c)/e \\ \text{FL} &= ((b/c)-(1/c)). \end{aligned}$$

Análisis estadístico

Los datos fueron analizados por ANOVA utilizando la metodología de los efectos fijos (MIXED) (SAS, 2010). Los datos de peso vivo, consumo de alimento, ganancia de peso, conversión alimenticia, velocidad de tránsito y coeficiente de digestión de los cerdos se analizaron usando ANOVA para medidas repetidas, fijando al cerdo como objeto del efecto aleatorio de tiempo (días en fase de producción) y, como efectos fijos: grupo, fase de producción y la anidación fase de producción (grupo). El modelo utilizado fue:

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

Donde: Y_{ijkl} = Variable respuesta: peso vivo, consumo de alimento, ganancia de peso, velocidad de tránsito, conversión alimenticia; μ = Promedio general; G_i = Efecto fijo del i -ésimo grupo con $i= 1, 2$; $C(G)_{j(i)}$ = Efecto aleatorio del j -ésimo cerdo, anidado con el i -ésimo grupo con $i= 1, 2$; FP_k = Efecto fijo de la k -ésima fase de producción $k= 1, 2$; $FP(G)_{ik}$ = Efecto fijo de la anidación de la k -ésima fase de producción dentro del i -ésimo grupo; ϵ_{ijkl} = Error aleatorio asociado a cada observación ($\sim \text{NID}=0, \sigma_e^2$).

La comparación de las medias fue mediante el método de medias de mínimos cuadrados (LsMeans) con un $\alpha= 0.05$.

Los datos de producción de gas metano recator⁻¹ fueron ajustados al modelo no lineal de Gompertz; para ello se utilizó el PROC NLIN, utilizando la siguiente ecuación:

$$Y = e^{a-be^{cx}}$$

Donde: Y=producción acumulada de gas a un tiempo x, a > 0 es la producción máxima de gas, el parámetro b > 0 es la diferencia entre el gas inicial y el gas final a un tiempo x y el parámetro c > 0 describe la tasa específica de acumulación de gas.

Una vez estimados los parámetros del modelo de Gompertz reactor⁻¹, estos fueron analizados por ANOVA para establecer las ecuaciones respectivas a la curva de producción de gas de acuerdo con el grupo, para ello se utilizó el modelo:

$$Y_{ij} = \mu + G_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde: Y_{ij} = Variable respuesta: a, b, c; μ = Promedio general; G_i = Efecto fijo del *i*-ésimo grupo con *i*= 1, 2; ε_{ijkl} = Error aleatorio asociado a cada observación (\sim NID=0, σ^2_e). La comparación de las medias fue mediante el método de medias de mínimos cuadrados (LsMeans) con un $\alpha=0.05$.

Resultados

Efecto de O. ficus-indica sobre el consumo de alimento (CA) balanceado de los cerdos durante las etapas 20-50 y 50-100 kg:

Respecto al CA, se encontró efecto de grupo sobre dicha variable ($P < 0.001$) y donde los cerdos del G1 presentaron mayor consumo de alimento ($P < 0.05$). Comportamiento que se observó en ambas fases evaluadas ($P < 0.05$): 200 y 500g más de alimento balanceado día⁻¹ cerdo⁻¹ en la Fase 1 y 2 del GC, respectivamente. Ello, en comparación con el CA del grupo experimental (G2) (Tabla 2).

Tabla 2. Medias de mínimos cuadrados para parámetros de crecimiento y consumo de alimento y agua de acuerdo con la Fase

Indicador	Fase 1 (20-50 kg)		Fase 2 (50-100 kg)		Media general	
	G1	G2	G1	G2	G1	G2
	$\bar{X} \pm E.E.$					
Peso _{inicial} kg	22.8 ^a ±0.4	21.9 ^a ±0.4	53.2 ¹ ±0.4	53.4 ¹ ±0.4		
CA _{día-1} kg	1.8 ^a ±0.06	1.6 ^b ±0.06	3.4 ¹ ±0.06	2.9 ² ±0.06	2.6 ^q ±0.03	2.2 ^p ±0.03
CN _{día-1BF} kg	NC	0.3±0.02	NC	0.6±0.02	NC	0.459±0.03
CA _{total} kg	95.8 ^a ±3.3	84.4 ^b ±3.3	207.2 ¹ ±3.3	174.3 ² ±3.3	303.7 ^q ±1.6	257.4 ^p ±1.6
Peso _{final} kg	50.0 ^a ±0.2	50.2 ^a ±0.2	100.8 ¹ ±0.2	101.7 ¹ ±0.2		
GP _{día-1} g	0.559 ^a ±0.02	0.572 ^a ±0.02	0.866 ¹ ±0.01	0.882 ¹ ±0.01	0.866 ^q ±0.02	0.883 ^q ±0.02
Fase (días)	52.4 ^a ±0.8	53.5 ^a ±0.8	61.6 ¹ ±0.8	61.4 ¹ ±0.8	114.0 ^q ±0.1	114.9 ^q ±0.1

GC=grupo control; GE=grupo experimental; CA=consumo de alimento; CN=consumo de nopal; NC= no consumió; GP= ganancia de peso; E.E.=Error estándar

^{a, b} Literales diferentes indican diferencias ($P < 0.05$) dentro de fila entre grupos: Fase 1.

^{1, 2} Numerales diferentes indican diferencias ($P < 0.05$) dentro de fila entre grupos: Fase 2.

^{p, q} Literales diferentes indican diferencias ($P < 0.05$) dentro de fila entre grupos: Media general.

Efecto de O. ficus-indica sobre el crecimiento de los cerdos durante las etapas 20-50 y 50-100 kg

Al iniciar la fase experimental no se encontró diferencia ($P > 0.05$) entre el peso (kg) vivo promedio de los cerdos que conformaron cada grupo (Tabla 2). Mismo resultado se obtuvo al finalizar el experimento ($P > 0.05$). La ganancia de peso (GP) por Fase no mostró diferencia entre grupos ($P > 0.05$); aun y cuando, el G2 mostró una tendencia hacia una mayor GP respecto al G1, pero no fue suficiente como para determinar diferencias entre grupos (Tabla 2).

Efecto de O. ficus-indica sobre la velocidad de tránsito (VT) del alimento por el tracto digestivo de los cerdos:

Respecto a la variable VT, se encontró que ésta fue afectada por el grupo ($P < 0.005$); la VT promedio entre ambas Fases evaluadas (20-50 y 50-100 kg de PV) fue menor en el G1 ($P < 0.05$): 13.9 h, ello en comparación con la VT observada en el G2 (23.2 h). En la Fase 1 y 2, se registró menor VT en el G1 ($P < 0.05$) (Figura 1).

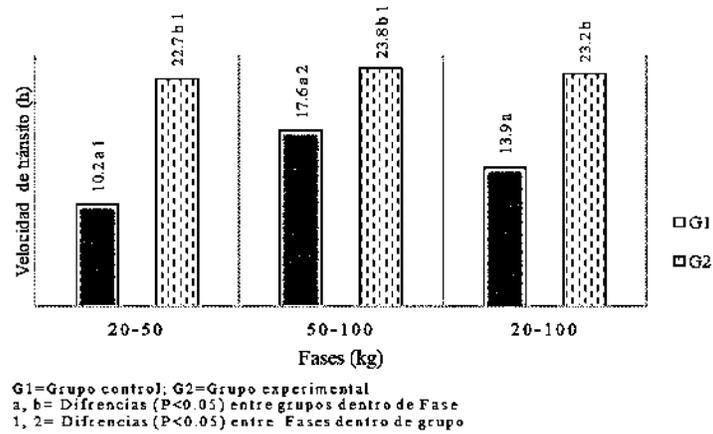


Figura 1. Promedios de la velocidad de tránsito respecto a las fases evaluadas

En cuanto a los resultados de los estimadores de la regresión lineal (β_0 y β_1), se encontró que la VT, respecto a PV del cerdo, en G2 fue menor ($\beta_1=0.02$ h kg⁻¹ de PV; $P < 0.001$) al compararse con el G1 ($\beta_1=0.18$ h kg⁻¹ de PV; $P < 0.001$) (Figura 2). Además, se pudo establecer, a partir del efecto de la anidación Fase de producción(Grupo) sobre CA que, el G1 redujo la VT conforme los cerdos incrementaron su peso y el consumo de alimento: de 1.3 a 4.1 kg de alimento cerdo⁻¹ día⁻¹ a los 20 y 100 kg de PV, respectivamente (Figura 2). Por el contrario, los cerdos del G2 mantienen, hasta cierto punto, una VT constante a pesar del incremento de consumo de alimento: de 1.1 a 3.3 kg de alimento cerdo⁻¹ día⁻¹ a los 20 y 100 kg de PV, respectivamente (Figura 2).

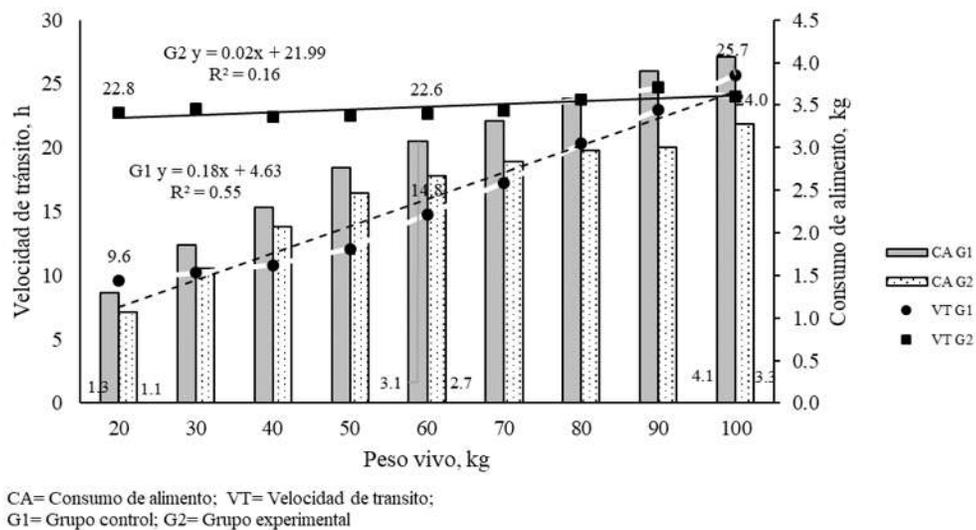


Figura 2. Comportamiento de la velocidad de tránsito de acuerdo con el crecimiento y consumo de alimento diario

Efecto de O. ficus-indica sobre el coeficiente de digestibilidad de alimento ingerido por los cerdos durante las etapas 20-50 y 50-100 kg:

Se encontró efecto de Grupo, Fase y anidación Fase de producción(grupo) sobre el contenido nutricional de las excretas ($P < 0.05$); las medias generales establecieron mayor contenido de materia seca (MS) y proteína cruda (PC) en las excretas del G1 (Tabla 3). En la Fase 1 (20-50 kg), el G2 presentó mayor excreción de PC, fibra cruda (FC) y extracto etéreo (EE) ($P < 0.05$), mientras que en la Fase 2 (50-100 kg), el G2 solo presentó mayor excreción de FC y EE ($P < 0.05$).

Tabla 3. Medias de mínimos cuadrados para el contenido nutricional de las excretas y coeficiente de digestibilidad.

Indicador	Fase 1 (20-50 kg)		Fase 2 (50-100 kg)		Media general	
	G1	G2	G1	G2	G1	G2
CA _{día-1} kg	$1.8^a \pm 0.06$	$1.6^b \pm 0.06$	$3.4^1 \pm 0.06$	$2.9^2 \pm 0.06$	$2.6^q \pm 0.03$	$2.2^p \pm 0.03$
Análisis fisicoquímico de las dietas de los cerdos						
MS _{día-1} g kg ⁻¹	$888.9^a \pm 0.3$	$899^b.4 \pm 0.3$	$896.2^c \pm 0.3$	$902.5^d \pm 0.3$	$893.6^1 \pm 0.2$	$901.0^2 \pm 0.2$
PC _{día-1} g kg ⁻¹	$193.2^a \pm 2.4$	$157.6^b \pm 2.4$	$176.7^c \pm 2.4$	$141.9^d \pm 2.4$	$184.9^1 \pm 1.7$	$149.7^2 \pm 1.7$
FC _{día-1} g kg ⁻¹	$4.8^a \pm 0.7$	$30.5^b \pm 0.7$	$4.6^c \pm 0.7$	$36.6^d \pm 0.7$	$4.7^1 \pm 0.5$	$33.5^2 \pm 0.5$
EE _{día-1} g kg ⁻¹	$19.7^a \pm 0.3$	$19.9^a \pm 0.3$	$21.5^b \pm 0.3$	$19.0^c \pm 0.3$	$20.6^1 \pm 0.2$	$19.4^2 \pm 0.2$
Análisis fisicoquímico de las excretas de cerdos						
MS _{día-1} g kg ⁻¹	$266.2^a \pm 3.4$	$217.8^b \pm 3.4$	$261.2^a \pm 3.4$	$227.2^b \pm 3.4$	$263.7^a \pm 2.4$	$222.5^a \pm 2.4$
PC _{día-1} g kg ⁻¹	$71.4^a \pm 0.3$	$73.2^b \pm 0.3$	$74.0^c \pm 0.3$	$70.4^c \pm 0.3$	$72.7^1 \pm 0.2$	$71.8^2 \pm 0.2$
FC _{día-1} g kg ⁻¹	$3.6^a \pm 0.3$	$10.4^b \pm 0.3$	$3.6^a \pm 0.3$	$8.8^c \pm 0.3$	$3.6^1 \pm 0.2$	$9.6^2 \pm 0.2$
EE _{día-1} g kg ⁻¹	$11.4^a \pm 0.3$	$14.8^b \pm 0.3$	$11.7^a \pm 0.3$	$13.7^c \pm 0.3$	$11.6^1 \pm 0.2$	$14.3^2 \pm 0.2$
Coeficiente de digestibilidad de la dieta*						
MS %	$82.1^a \pm 0.2$	$85.5^b \pm 0.2$	$83.6^a \pm 0.2$	$84.9^b \pm 0.2$	$82.4^1 \pm 0.1$	$85.2^2 \pm 0.1$
PC %	$77.8^a \pm 0.1$	$72.3^b \pm 0.1$	$74.9^c \pm 0.1$	$70.4^d \pm 0.1$	$76.4^1 \pm 0.07$	$71.3^2 \pm 0.07$
FC %	$46.0^a \pm 1.2$	$79.1^b \pm 1.2$	$53.3^c \pm 1.2$	$85.6^d \pm 1.2$	$49.7^1 \pm 0.8$	$82.4^2 \pm 0.8$
EE %	$65.8^a \pm 0.9$	$55.8^b \pm 0.9$	$67.2^a \pm 0.9$	$56.8^b \pm 0.9$	$66.5^1 \pm 0.6$	$56.3^2 \pm 0.6$

E.E.=Error estándar; kg⁻¹= kilogramo de alimento consumido o de excretas

G1=grupo control; G2=grupo experimental; CA=consumo de alimento; PC=proteína cruda; FC=fibra cruda; EE=extracto etéreo.

^{1,2} Numerales diferentes indican diferencia ($P < 0.05$) dentro de fila para: Media general.

^{a, b, c, d} Literales diferentes indican diferencia estadística ($P < 0.05$) dentro de fila entre grupos y fases.

*Con base en el consumo de alimento

Referente al coeficiente de digestión (CD) se encontró efecto de Grupo sobre los promedios generales ($P < 0.001$). El G1 mostró una mejor respuesta a la digestión de la PC y el EE ($P < 0.05$). Mientras que, en el G2, se observó mayor digestión de MS y FC (Tabla 3). En relación con el efecto de Fase, los resultados del CD mostraron que G1 presentaron mayor

digestión PC y EE, en ambas Fases. En cuanto al G2, se encontró mayor CD de MS y FC en ambas Fases evaluadas ($P < 0.05$) (Tabla 3).

Efecto de O. ficus-indica sobre el potencial de producción de gas metano en cerdos de 100 kg:

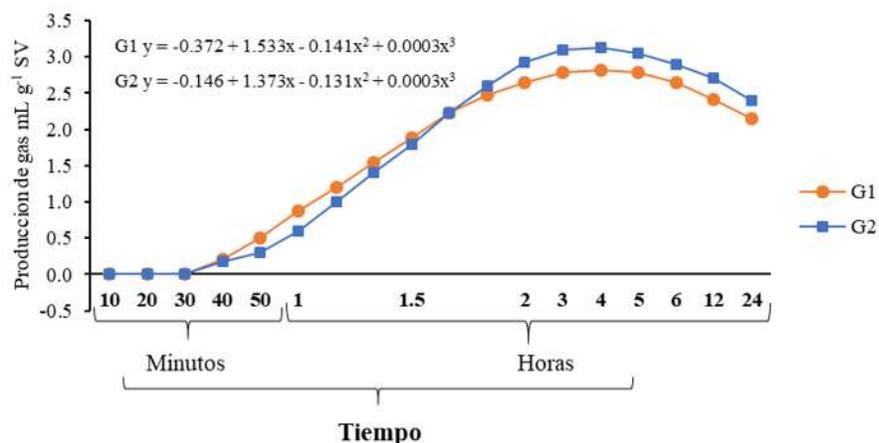
Respecto a la producción de gas metano, se encontró diferencia ($P < 0.05$) entre el afluente y efluente ($P < 0.05$), ya que las concentraciones de la relación carbono:nitrogeno (C:N) y solidos totales (ST) fueron diferentes entre grupos en afluente ($P < 0.05$): en G2 la relación C:N fue mayor ($P < 0.05$), mientras que los ST fueron mas altos en el afluente del G1. Sin embargo, el G1 una mayor relación de C:N y ST en el efluente ($P < 0.05$). Por lo que, la materia consumida mostro diferencias entre grupos: el G2 mostro mayor consumo de la relación C:N y SV ($P < 0.05$). A pesar de que estos últimos no mostraron diferencia entre grupos en el afluente y efluente.

Tabla 4. Composición química del afluente y efluente de producción de gas metano.

Indicador	Afluente		Efluente		Fermentado	
	G1	G2	G1	G2	G1	G2
C:N en heces, g	14.0 ^a ± 0.02	15.6 ^b ± 0.02	13.3 ^c ± 0.02	11.0 ^d ± 0.02	0.74 ^p ± 0.04	4.9 ^q ± 0.04
ST en heces, g	16.0 ^a ± 0.14	14.0 ^b ± 0.14	8.9 ^c ± 0.14	7.7 ^d ± 0.14	7.1 ^p ± 0.1	6.2 ^q ± 0.1
SV en heces, g	58.7 ^a ± 0.07	59.2 ^a ± 0.07	54.9 ^b ± 0.07	54.6 ^b ± 0.07	3.8 ^p ± 0.1	4.4 ^q ± 0.1
Curva de producción de gas metano						
Parámetros			G1		G2	
A			3.48 ^a ± 0.47		3.06 ^b ± 0.47	
B			0.30 ^a ± 0.002		0.31 ^a ± 0.002	
C			1.07 ^a ± 0.04		0.54 ^b ± 0.04	
Fase lag, min			56.0 ^a ± 0.02		33.6 ^b ± 0.02	
Hora al punto de inflexión, min			84.5 ^a ± 0.03		50.9 ^b ± 0.03	
Gas al punto de inflexión, ml			0.27 ^a ± 0.06		0.53 ^b ± 0.06	
Tasa máxima de producción de gas, ml			3.12 ^a ± 0.02		2.81 ^b ± 0.02	
Producción acumulada ml en 24 h			30.3 ^a ± 0.03		29.2 ^b ± 0.03	
Capacidad de producción metano ml/ g ⁻¹ SV			7.9 ^a ± 0.11		6.7 ^b ± 0.11	

^{a, b, c, d} Literales diferentes indican diferencia estadística ($P < 0.05$) dentro de fila entre grupos, afluente y efluente. C:N= Carbono: nitrógeno; ST= Solidos totales; SV= Solidos volátiles; A= Producción máxima de gas; B= Diferencia entre el gas inicial y final en un tiempo x; C= tasa especifica de acumulación de gas

Resultados que determinaron la producción de CH₄: en el G2 se observó una adaptación más rápida ($P < 0.05$) en comparación con el G1, puesto que el punto de inflexión ocurrió en menor tiempo ($P < 0.05$): fase *lag* = 33.6 y 56.0 minutos para G2 y G1, respectivamente (Tabla 4). En cuanto a la tasa de producción de CH₄, el G1 fue el que presentó una mayor cantidad de dicho gas con una producción de 3.12 ml a las 4 h post-inicio de la fermentación y a las 24 h la producción fue de 30.3 ml de CH₄; producción de gas mayor ($P < 0.05$) al observado en el G2 (Tabla 4).



G1= Grupo control; G2= Grupo Experimental

Figura 3. Curva de estimación de la producción de gas metano CH₄

Los resultados de los estimadores de la regresión no lineal determinaron que la producción de metano, respecto al tiempo evaluado, fue menor en G2 (2.6 a 2.8 ml de gas en las primeras tres horas) en comparación con el G1 (2.9 a 3.1 ml de gas en las primeras tres horas) (Figura 3). La estimación de producción de CH₄ de un cerdo de 100 kg, bajo los resultados citados anteriormente, determinaron que los cerdos que consumieron nopal produjeron 4000 mg de CH₄ cerdo⁻¹, mientras que los cerdos del G1 produjeron aproximadamente 6600 mg de CH₄ cerdo⁻¹

Discusión

En el presente trabajo, el consumo de alimento balanceado fue menor en el G2 (2.2 kg cerdo⁻¹ día⁻¹) respecto al G1 (2.6 kg cerdo⁻¹ día⁻¹) ($P < 0.05$), este comportamiento se puede atribuir a diversos factores, entre ellos: el consumo de nopal (400 g de nopal en BF cerdo⁻¹ día⁻¹; Tabla

2) y su alto contenido de humedad, en forma de mucilago (86 % de humedad; Tabla 1) pudo contribuir con el incremento del volumen de la ingesta (alimento + nopal) y producir la señal de saciedad en un menor tiempo (Montagne *et al.*, 2014). Sin embargo, se ha establecido que, la adición de nopal a la dieta de los cerdos reduce los niveles séricos de glucosa sanguínea (Figura 1; Capítulo II) y, en cerdas en lactancia ocasiona un mayor consumo de alimento (Ordaz *et al.*, 2017). Sin embargo, en los cerdos del G2 (Tabla 2) no se encontró una disminución del consumo de alimento, posiblemente se deba: primero, las cerdas en lactancia pasan por un estado fisiológico que reduce el consumo voluntario de alimento debido al incremento de glucosa sanguínea post-parto (Pére y Etienne, 2007) y, el efecto hipoglucémico e hipocolesterolémico del nopal, al reducir los altos niveles de glucosa sanguínea (de 70.9 mg dL⁻¹ en el grupo testigo a 55.2 mg dL⁻¹ en el grupo experimental) activa el restablecimiento del apetito en estos animales (Ordaz *et al.*, 2017). Segundo: los cerdos en crecimiento presentan un incremento en la movilización de reservas energéticas (Capítulo II) para canalizarlas principalmente hacia la formación de músculo (crecimiento) (Morzat *et al.*, 2001). Aun que si bien, dichas necesidades energéticas decrecen conforme el cerdo se acerca a la edad adulta (Frazer *et al.*, 2001). Además, la acción del pecti-gel (producto de la fibra del nopal) sobre los lípidos contenidos en la dieta, provoca mayor producción de sales biliares que facilitan la digestión de otros nutrientes presentes en el bolo alimenticio (Liu *et al.*, 2016), lo que se traduce en mayor absorción de los nutrientes (Barretero *et al.*, 2010). Tercero, los cerdos en crecimiento no transitan por un estado fisiológico donde sus niveles sanguíneos de glucosa se vean incrementados; por lo que, posiblemente, la cantidad de nopal adicionada a la dieta de los cerdos del G2 no fue suficiente para mostrar un incremento en el CA a causa de la disminución de la glucosa sanguínea.

El efecto de la dieta adicionada con nopal sobre el consumo de alimento en el G2 no afectó el crecimiento (PV) de los cerdos (Tabla 2); hallazgo favorable, sobre todo, cuando en la actualidad las investigaciones en la nutrición están enfocadas en reducir los costos de alimentación sin perjudicar el tiempo de crecimiento (Herrera *et al.*, 2013). La disminución del CA en el G2 sin efecto sobre el crecimiento de los cerdos puede relacionarse con el alto contenido de calcio (2836.00 ± 157.71 mg 100⁻¹ g, BS) que posee el nopal (Villela *et al.*, 2014). Puesto que, este mineral (Ca⁺) es el principal promotor de la liberación de insulina (Pari y Latha, 2005), quien, a su vez, promueve la liberación de la hormona de crecimiento

(HC), la deposición de aminoácidos en el musculo, el anabolismo de proteínas y la hiperplasia celular (Barretero *et al.*, 2010).

Otro factor que pudo contribuir con la eficiencia del crecimiento de los cerdos que consumieron nopal (G2), independientemente que su consumo haya sido menor al del G1, pudo deberse a la modificación de la velocidad del tránsito del alimento por el tracto digestivo (Tabla 3). Wilfart *et al.* (2007), señalan que la presentación del alimento y el tamaño de partícula son algunas de las características de las cuales depende la disponibilidad de los nutrientes para ser degradados y, a su vez, esto determina la velocidad de tránsito del alimento (VT) por el tracto gastrointestinal. Ello a partir de la evaluación de tres dietas comerciales con diferentes niveles de fibra (14.4 y 23.5%) en cerdos de 30-40 kg. En esta evaluación no se encontró efecto del nivel de fibra sobre VT ($P > 0.05$): 29.7 y 33.7 h, respectivamente. Wilfart *et al.* (2007), sugieren que la falta de efecto sobre la VT pudo estar relacionado con el tipo de fibra utilizada (fibra de salvado de trigo) puesto que esta, por su alto contenido de lignina no pudo ser degradada, provocó mayor contracción intestinal y menor degradación de los nutrientes. Por el contrario, la fibra del nopal es altamente degradable y posiblemente ello permitió: a) menor VT del alimento (Tabla 3), b) mayor degradación y absorción de los nutrientes presentes en la dieta y c) desarrollo (kg) normal de los cerdos del G2, a pesar de la disminución del consumo de alimento balanceado.

Por otra parte, Owusu *et al.* (2006) señalan que el incremento de fibra en la dieta del cerdo puede generar un menor consumo del alimento. Debido al incremento del volumen y a la disminución de la VT. Sin embargo, sugieren que la menor VT que produce la fibra no siempre está relacionada con un mayor tiempo de contacto entre nutrientes y enzimas del tracto gastrointestinal (Liu *et al.* 2016). Jha y Berrocoso (2015) concuerdan con lo anterior: la inclusión de fibra a la dieta produce un incremento del volumen de la materia seca fecal, lo que puede estar relacionado a un menor aprovechamiento de la dieta; pero, ello dependerá del tipo de fibra consumida. Además, Kyriazakis (2011) señala que la capacidad de digestión depende de la constitución genética del individuo, siendo los cerdos híbridos quienes muestran mayor capacidad de digestión de las dietas ricas en fibra, misma que aumenta con la edad y la madurez del sistema digestivo del cerdo (Le Goff *et al.*, 2002)

Se ha observado en cerdos de 33 a 78 kg alimentados con dietas en las cuales se incluyó salvado de maíz o salvado de trigo o pulpa de remolacha, que la VT es más rápida (18.6, 18.4 y 19.9 h, respectivamente) en comparación con la dieta control (22.7 h). Mismo efecto ocurre en cerdas adultas, la VT fue de 75.9, 60.3, 54.7, 58.2 h para la dieta control, salvado de maíz, salvado de trigo y pulpa de remolacha, respectivamente. Bajo estos resultados, estos autores resaltan que el incremento de fibra y la edad del animal se asocian con la VT. En el presente trabajo, el incremento de fibra en el alimento (dieta adicionada con nopal) y de la edad del cerdo, disminuyó la VT (Figura 2). Aspecto que no concuerda con Le Goff *et al.* (2002), quienes justifican la mayor VT a través del efecto de la fermentación de la fibra, la cual produce ácidos grasos de cadena corta que pueden incrementar las contracciones de la pared del intestino grueso. No obstante, Jha y Berrocoso (2015), señalan que dependiendo del tipo de fibra es el posible efecto que genere, ya que las fibras solubles son las que crean una mayor viscosidad y lentitud del alimento por el tracto digestivo, mientras que la fibra insoluble tiende a absorber mayor cantidad de agua del alimento y lo hace pasar más rápido.

Al parecer, una disminución de la VT provoca una mayor absorción de los nutrientes contenidos en el bolo alimenticio. Aspecto que puede comprobarse a través del análisis fisicoquímico de las heces de los cerdos (Le Goff *et al.*, 2002). En este sentido, los coeficientes de digestión (CD) para materia seca (MS) y fibra cruda (FC) fueron mayores en el G2 ($P < 0.05$), mientras que la proteína cruda (PC) y extracto etéreo (EE) fueron mayormente digeridos en el G1 (Tabla 3). El efecto encontrado en el G2 puede estar relacionado al efecto de la fibra del nopal, la cual genera una mayor producción de sales biliares con el fin de degradar los lípidos atrapados en el pecti-gel (Jha y Berrocoso, 2015) y generar mayor digestión de la MS. Además, el nopal se caracteriza por tener fibra altamente degradable, lo que se reflejó en el CD de este nutriente. En lo que respecta a la digestión del EE, posiblemente el efecto creado por el pecti-gel en los cerdos del G2, redujo el CD de este nutriente (EE) en comparación con el CD observado en el G1; cerdos que no consumieron nopal y por lo tanto no se dio el fenómeno del pecti-gel.

Montagne *et al.*, (2014), al evaluar una dieta con dos terceras partes por fibra vs dieta testigo en cerdos de 30-50 kg, encontraron menor coeficiente de digestión de MS cuando se incrementa la fibra en la dieta comercial de 69.7 a 81.1%. Si bien, las dietas usadas por

Montagne *et al.*, (2014), contienen mayor MS que en el presente trabajo (Tabla 1), es evidente que la sustitución con fibra disminuye el coeficiente de digestión de la MS. No obstante, en el presente trabajo, el coeficiente de digestión de la MS (85.5%) durante la Fase 1 fue mayor en el G2 ($P < 0.05$), posiblemente porque la fibra aportada por el nopal era fibra soluble (Jha y Berrocoso, 2015).

Montagne *et al.* (2014), reportan que la adición de fibra también puede disminuir el coeficiente de digestión de la PC (de 80 a 70%) cuando a la dieta comercial se le adiciona fibra. En la presente investigación, las dietas no eran isoproteicas (19.3 y 17.7% de PC para la dieta control y de 15.8 y 14.2% de PC para la dieta experimental) y tal vez por ello, la diferencia en el CD de este nutriente entre los grupos analizados (Tabla 3). Por lo que, la digestión de la PC en el presente trabajo concuerda con lo reportado por Montagne *et al.* (2014). Cerisuelo *et al.* (2012) al evaluar el coeficiente de digestión de la PC estas fueron de 85.6 y 85.5%, para dietas con baja y alta densidad energética, respectivamente. Resultados mayores a los encontrados en la presente investigación. Aspecto que puede estar determinado por la cantidad y calidad de la proteína presente en el alimento. Sin embargo, Jha y Berrocoso (2015) señalan que la inclusión de fibra en la dieta de cerdos puede generar mayores niveles de excreción de PC por el efecto del pecti-gel que crea en el alimento lo cual impide o retrasa la degradación de este nutriente.

Jha y Berrocoso (2015) señalan que no se sabe si todos los granos crean efectos similares en la digestión de las fuentes de energía, pero es posible que por cada 1% de FC, disminuya principalmente la digestión de la energía bruta en 1.3% y 0.9% en la energía metabolizable. Le Goff *et al.* (2002) señalan que la capacidad de degradar nutrientes más complejos se incrementa con la edad del animal y con el incremento del consumo de alimento. Sin embargo, el efecto de viscosidad creado por el nopal, el cual no permite la degradación y absorción de las grasas, posiblemente es la respuesta del resultado encontrado tanto en la excreción como del coeficiente de digestión del EE en el G2 ($P < 0.05$): mayor excreción de EE y menor digestión del EE contenido en la dieta (Tabla 3). Efecto similar reporta Montagne *et al.* (2014), quienes, al suplir parte de la dieta comercial con fibra, encontró un descenso en el coeficiente de digestión del EE: 68.2% vs 78.6% en el testigo ($P < 0.05$). Mismo

comportamiento encontraron Cerisuelo *et al.* (2012) al evaluar dietas: a mayor densidad energética mayor ($P < 0.05$) es el coeficiente de digestión del EE.

Finalmente, la producción de CH₄ de acuerdo con las dietas consumidas por los cerdos, es de actual interés y, por ello, es indispensable conocer el impacto ambiental que puede generar el cambio de dieta en los cerdos y su repercusión no solo en la digestión de los nutrientes sino en la generación de CH₄ (Cerisuelo *et al.*, 2012). La producción de CH₄ depende de la relación carbono:nitrógeno (C:N), puesto que una relación C:N igual o menor a 8:1 puede causar inactividad bacteriana, debido a la excesiva formación de amonio; el cual, es tóxico para las bacterias (FAO, 2011). Al respecto, en la presente investigación se encontró una relación de 15.6:1 en el G2 y 14.0:1 en el G1 resultados que están por debajo de lo marcado por la FAO (2011), quienes señalan un 16:1 en las heces de cerdo alimentados convencionalmente. A pesar de que la relación C:N fue mayor en el G2, la producción de CH₄ fue menor en este grupo de cerdos (Tabla 3), debido posiblemente a que tanto el C como el N pudieron ser utilizados por otras bacterias presentes en el tracto digestivo (principalmente colon) como *Pseudomonas*, *Acetobacterium* y *Clostridium* (FAO, 2011), las cuales llegan a producir diversos gases, entre ellos, el dióxido de carbono (Sun *et al.*, 2017). Por lo que no se puede atribuir que el carbono y el nitrógeno fueron utilizados únicamente para la producción de CH₄ (Lorenzo y Obaya 2005).

Los ST se componen de lípidos, FC y PC, los cuales producen gran cantidad de ácidos grasos de cadena corta como acetato, principal precursor del CH₄ y CO₂. En el presente trabajo, el G2 mostró mayor contenido de EE y FC (Tabla 3), por lo que podrían ser una razón más para esperar una mayor producción de CH₄ en este grupo de cerdos, sin embargo, Chen *et al.*, (2008) y Beccaccia *et al.*, (2015) señalan que, dentro de la complejidad de la metanogénesis, la inclusión excesiva de materiales altamente degradables puede inhibir las bacterias metanogénicas debido a la acumulación de ácidos grasos volátiles y, disminución del pH. Al respecto, Jarret *et al.*, (2011) sugieren que las dietas ricas en fibra pueden incrementar la producción de CH₄ siempre y cuando exista un rango de 0.3 kg/m³ a 2.0 kg/m³ de ácidos grasos volátiles. Pero si dicho rango se incrementa, se deprime la producción de metano (Lorenzo y Obaya, 2005). Por lo que la mayor excreción de EE y FC en el G2 (Tabla 3),

podría estar generando un exceso de ácidos grasos y en consecuencia, la producción de CH₄ se redujo (Figura 3).

Lorenzo y Obaya (2005), señalan que las grasas y las proteínas pueden producir el 70 y 84% de CH₄ en el biogás total. En el presente trabajo el G2 presentó una mayor excreción de EE y FC. Pero menor excreción de PC (Tabla 3). Cerisuelo *et al.* (2012) al evaluar una dieta de baja densidad (6.1% EE) y una de alta densidad (7.7% EE), en cerdos híbridos de 103 kg encontró un potencial de producción de CH₄ de 5.9 y 9.8 ml/g⁻¹SV, en las heces evaluadas de cada grupo respectivamente. Las dietas usadas durante la fase 2 en el presente trabajo contenían 2.3 y 1.9 % EE para G1 y G2, respectivamente. Sin embargo, el potencial de producción de CH₄ fue mayor al reportado por Cerisuelo *et al.* (2012).

Chen *et al.* (2008), reportan que los iones de metales ligeros como Na⁺, Mg₂⁺ y Ca₂⁺, favorecen el crecimiento microbiano, sin embargo, las cantidades excesivas ralentiza el crecimiento de las bacterias y las concentraciones aún más elevadas, pueden causar la inhibición severa o toxicidad. Dicho aspecto, en conjunto con la mayor disposición de FC y EE en las heces pudo reducir la producción de gas metano ya que los cerdos que no consumen nopal pueden producir un aproximado de 66,000 ml CH₄ cerdo⁻¹ día⁻¹, mientras que la adición del 1% de nopal puede reducir esta producción a 40,000 ml CH₄ cerdo⁻¹ día⁻¹. Li *et al.*, (2011) señalan que la producción de CH₄ en cerdos de 100 kg es aproximadamente de 64,820 ml cerdo⁻¹ día⁻¹ cuando se usa una dieta comercial, mientras que la FAO (2011) señala que la capacidad de producción de CH₄ al día es de 60,000 ml. Por lo que, en el presente trabajo no solo se logró reducir la producción de CH₄, respecto al G1, sino que también a lo reportado por los autores.

Conclusión

La ingesta del 1% de nopal, con base al peso vivo reduce el consumo de alimento sin afectar el crecimiento del cerdo debido a que el nopal provoca reducción de la velocidad de tránsito del bolo alimenticio, mejorando la capacidad de digestión e incrementando la absorción de los nutrientes contenidos en la dieta. Además, el alto contenido de FC y EE en las heces de los cerdos que consumen nopal provoca la disminución de la producción de CH₄, lo cual contribuye en la reducción de la emisión de gases con efecto invernadero.

Bibliografía

- AOAC. (2009) Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists. 15th Edition
- Barretero, R.H., Galyean, M.L., PAS, Vizcarra, J.A. (2010) The effect of feed restriction on plasma ghrelin, growth hormone, insulin, and glucose tolerance in pigs. *The Professional animal scientist* 26:26-34
- Beccacciaa, A. Calvetb, S. Cerisueloc, A. Ferrerb, P. García-Rebollara, P. De Blasa C. (2015) Effects of nutrition on digestion efficiency and gaseous emissions from slurry in growing-finishing pigs. I. Influence of the inclusion of two levels of orange pulp and carob meal in isofibrous diets. *Animal Feed Science and Technology* 208:158-169
- Cerisuelo, A., Torres, A., Lainez, M., Moset, V. (2012). Increasing energy and lysine in diets for growing finishing pigs in hot environmental conditions: Consequences on performance, digestibility, slurry composition, and gas emission. *Journal animal science* 90:1489-1498
- Chen, Y., Cheng, J.J., Creamer, K.S., (2008). Inhibition of anaerobic digestion process: a review. *Bioresour. Technol.* 99:4044-4064.
- Dom, M.T., Ayalew, W.K., Glatz, P.C., Kirkwood, R.N., Hughes, P.E. (2017). Nutrient utilization in grower pigs fed boiled, ensiled or milled sweet potato roots blended with a wheat-based protein concentrate. *Animal feed science and technology* 223:82-89
- FAO, (2011) Manual de biogás. Factores determinantes en el proceso metanogénico (producción de biogás). Proyecto CHI/00/G32. 27-48
- Frazer J. A., Thompsona, K.G., Jamesb, K.A.C., Manktelowa, B.W., Koolaardb, J.P., Johnsonc, R.N., McNuttc, 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
- 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
- Hernandez, 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
- 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. *Revista Pastos y Forrajes*. 36: 56-63

- Jarret, G., Martinez, J., Dourmad, J.Y. (2011). Effect of different quality wheat dried distiller's grain solubles (DDGS) in pig diets on composition of excreta and methane production from faeces and slurry. *Livestock science* 140: 275-282
- Jha, R., Berrocoso, J.D. (2015). Review: Dietary fiber utilization and its effects on physiological functions and gut health of swine. *Animal*. 9: 1441-1452
- Kyriazakis, I. (2011). Opportunities to improve nutrient efficiency in pigs and poultry through breeding. *Animal*, 5: 821-832
- Le Goff, G., van Milgen, J., Noble, J. (2002). Influence of dietary fibre on digestive utilization and rate of passage in growing pigs, finishing pigs and adult sows. *Animal science*, 74: 503-515
- Li, Y., Hao, Z., Li, Y., Zhang, L., Wang, T. (2015). Effect of medium-chain triglycerides on growth performance, nutrient digestibility, plasma metabolites and antioxidant capacity in weanling pigs. *Animal nutrition*, 1:12-18
- Liu, Q., Zhang, Q.M., Zhang, Z.J., Zhang, Y.J., Zhang, Y.W., Chen, L., Zhuang, Z. (2016). Effect of fiber source and enzyme addition on the apparent digestibility of nutrients and physicochemical properties of digesta in cannulated growing pigs. *Animal feed science and technology* 216: 262-272
- Lorenzo, A.Y., Obaya, A.M.C. (2005) La digestión anaerobia. Aspectos teóricos. Parte I ICIDCA. *Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 39: 35-48
- Millet, S., Kumar, S. De Boever, J., Ducatelle, R., De Brabander, D. (2012). Effect of feed processing on growth performance and gastric mucosa integrity in pigs from weaning until slaughter. *Animal feed science and technology* 175: 175-181
- Montagne, L., Loisel, F., Le Naou, T., Gondret, F., Gilbert, H., Le Gall, M. (2014). Difference in short-term responses to a high-fiber diet in pigs divergently selected for residual feed intake. *Journal animal science*. 92:1512-1523
- Montemayor, A., Cordova, A., Aguilera, A., García, T. y Kawas, R. (2011) Caracterización química y degradabilidad ruminal del nopal (*Opuntia ficus-indica*) y de variedades silvestres de *Opuntia* como alternativa en la suplementación de caprinos. *Salud pública y nutrición*, 5: 156-165
- Morel, P.C.H., Sirisatien, D., Wood, G.R. (2012). Effect of pig type, costs and prices, and dietary restraint son dietary nutrient specification for maximum profitability in grower-finisher pig herds: At heoretical approach. *Livestock science* 148:255-267
- Morzat M, Fewtrell MS, Cole TJ. (2001). Birth weight, subsequent growth, and cholesterol metabolism in children 8–12 years old born preterm. *Archives of Disease in Childhood* 84:212-217.

- 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*, 49:1025-1033
- 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. *Arch Latinoam Prod Anim*, 21: 79-82
- 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. *Revista de investigación de la Universidad de la salle bajo*, 9: 290-312
- Owusu, A.A., Patience, J.F., Laarveld, B., Van Kessel, A.G., Simmins, P.H., Zijlstra, R.T. (2006). Effects of guar gum and cellulose on digesta passage rate, ileal microbial populations, energy and protein digestibility, and performance of grower pigs. *Journal animal science*, 84:843-852
- Pari, L. and Latha, M. (2005). Antidiabetic effect of scopolia dulcis: Effect on lipid peroxidation in streptozocin diabetes. *Gen. Physiol. Biophys.* 24: 13-26.
- Pattacini, S.H., Scoles, G.E., Braun, R.O. (2012). Digestibilidad aparente de nutrientes en cerdos alimentados con dietas compuestas por diferentes niveles de fitasas obtenidas de *Aspergillus oryzae*. Contaminación ambiental de los residuos orgánicos derivados. *Revista Argentina de Producción Animal*. 32(2): 107-115
- Pérez, M.C., Etienne, M. (2007). Insulin sensitivity during pregnancy, lactation, and postweaning in primiparous gilts. *J. Anim. Sci.* 85(1): 101-109.
- Pérez S.R.E., López, R.M., Bautista, G.E.C. García, V.A., Román, B.R.M., Ortiz, R.R. (2014) Efecto del suero de leche como complemento de la dieta sobre el crecimiento de las vellosidades intestinales y el peso de lechones en la etapa de 6 a 20 kg. *Revista Científica*, 24(4):319-324
- Pérez, S.R.E., Gaytán, L.S.B., Ortiz, R.R. (2016). Efecto del nopal a la dieta de cerdos en fase de 20-100 kg sobre rendimiento y calidad de la canal. Producción y aprovechamiento del nopal y maguey. Desarrollo y bienestar sustentables a través del nopal y maguey. XV Simposio-taller nacional y VIII Internacional. Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León. 10 y 11 de noviembre del 2016, Monterrey Nuevo León. México
- Sun, H., Guo, J., Wu, S., Liu, F., Dong, R. (2017) Development and validation of a simplified titration method for monitoring volatile fatty acids in anaerobic digestion. *Waste Management* (EN PRENSA)
- Suthongsaa, S., Pichyangkurab, R., Kalandakanond, T.S., Thongsongd, B. (2017). Effects of dietary levels of chito-oligosaccharide on ileal digestibility of nutrients, small

Tesis de Maestría: "Efecto de la adición de nopal (*O. ficus-indica*) a la dieta de cerdos para abasto sobre el consumo de agua, alimento, rendimiento de la canal y producción de gas CH₄ en excretas"

intestinal morphology and crypt cell proliferation in weaned pigs. *Livestock science*. 198:37-44

Torres A. (2011). Composición química del nopal y sus implicaciones en la nutrición de rumiante s. *Revista de salud pública y nutrición*, 5: 143-151

Villela DG, Giovana BA, Damiao BC, Andrade VN, (2014) Composicao bromatológica, mineral e factores antinutricionais da palma forrageira. *Tecnol. y Cien. Agropec.* 8(3): 51-55.

Wilfart, A., Montagne, L., Simmins, H., Noblet, J., van Milgen, J. (2007). Digesta transit in different segments of the gastrointestinal tract of pigs as affected by insoluble fibre supplied by wheat bran. *British journal of nutrition*, 98: 54-62

Woyengo, T.A., Beltranena, E., Zijlstra, R.T. (2016). Effect of anti-nutritional factors of oilseed co-products on feed intake of pigs and poultry. *Animal feed science and technology*. In Press, Corrected Proof.

Zijlstra, R. T., Jha, R., Woodward, A. D., Fouhse, J., van Kempen, T. A. T. G. (2012). Starch and fiber properties affect their kinetics of digestion and thereby digestive physiology in pigs. *Journal animal science*. 90:49-58

CAPITULO IV

EFECTO DE LA ADICIÓN DE NOPAL (*OPUNTIA FICUS-INDICA*) A LA DIETA DE CERDOS EN CRECIMIENTO SOBRE LA MORFOMETRÍA Y LARGO DE LAS VELLOSIDADES INTESTINALES.

Resumen

Se determinó el efecto de la adición de nopal (*O. ficus-indica*) a la dieta de cerdos de 20 a 100 kg de peso vivo sobre la morfometría e histología intestinal. Se seleccionaron al azar a 46 cerdos (Yorkshire x Landrace x Pietrain) de 22.4 ± 0.9 kg, con los cuales se formaron dos grupos (G): G1 o control (n=23) y G2 o experimental (n=23). Mismos que se monitorearon durante las Fases de 20-50 y 50-100 kg de PV. Ambos grupos recibieron alimento balanceado *ad libitum* Fase⁻¹, únicamente G2 consumió 1% de nopal (con base al PV cerdo⁻¹ semana⁻¹) más alimento. En cada cerdo se evaluó: consumo de alimento total (CAT), morfometría intestinal e histología de vellosidades intestinales. Se encontró diferencia entre Grupos ($P < 0.05$) en el consumo total de alimento balanceado: CAT de 303.7 y 257.4 kg de alimento balanceado en G1 y G2, respectivamente. Además, se encontró que los cerdos del G2 presentaron mayor peso del intestino delgado (2.4 kg) y grueso (2.6 kg) en comparación con los resultados del G1 (2.1 y 2.2 kg, respectivamente). La longitud de los intestinos fue mayor ($P < 0.05$) en el G1: 19.1 y 5.6 m para el intestino delgado y grueso, respectivamente. Mientras que en G2, el intestino delgado y grueso midieron 18.6 y 5.1 m, respectivamente. En los intestinos de los cerdos del grupo G2 se encontró mayor crecimiento de las vellosidades intestinales ($P < 0.05$): la longitud de las vellosidades fue de 3505.1 y 2549.7 μm en el ciego y duodeno, respectivamente. La adición del 1% de nopal a la dieta de cerdos para abasto modifica la morfología gástrica, mejora el peso de los intestinos y permite mayor crecimiento de las vellosidades intestinales. Aspectos que contribuyen a una mayor absorción de nutrientes de la dieta.

Palabras clave: Alimentación, intestino delgado, intestino grueso, vellosidades

Introducción

El intestino es un compartimento importante del tracto gastrointestinal, ya que en él se desarrolla gran parte de la digestión, la absorción de nutrientes y la homeostasis hidromineral; además, alberga una microbiota compleja y un sistema inmunológico mucoso altamente evolucionado (Lallés *et al.*, 2007). Aspectos que contribuyen, de manera interactiva, al equilibrio de la salud intestinal (Rekiel *et al.*, 2010). Sin embargo, el tipo de dieta, la frecuencia de alimentación, los aditivos (prebióticos), la composición nutricional y el contenido de fibra, son factores que pueden llegar a modificar la microestructura intestinal (Lallés *et al.*, 2007; Adami *et al.*, 2015; Mishra *et al.*, 2016). Ello, debido al cambio que pueden provocar en la actividad metabólica y en población bacteriana del sistema digestivo (Rekiel *et al.*, 2010, Rekiel *et al.*, 2014).

Los principales cambios en la macro y micro morfometría intestinal ocurren durante el crecimiento del cerdo, principalmente entre la octava y doceava semana de vida (20 a 45 kg de peso vivo) (Sangild, 2001). Cambios que se relacionan con el incremento de la producción de enzimas (proteasas pancreáticas que se encargan de digerir las proteínas) y de la microbiota intestinal del colon, principalmente (Hedemann *et al.*, 2005). Esta microbiota ayuda a degradar la fibra al hidrolizarla y generar, a partir de esta acción, ácidos grasos de cadena corta que pueden ser usados como sustrato energético para la hiperplasia e hipertrofia de los enterocitos, que durante este tiempo están en constante cambio (Montagne *et al.*, 2014).

La dinámica y estructura del intestino está determinada, de manera general, por la dieta que consume el individuo. Puesto que, la cantidad y calidad de la fuente energética, proteica ó de fibra pueden alterar: i) el tránsito del alimento por el tracto digestivo, ii) la interacción del alimento con las enzimas hidrolíticas y, iii) la absorción de los nutrientes (Adami *et al.*, 2015). Por ello, en las investigaciones en torno a nuevas alternativas nutricionales para cerdos en crecimiento se busca que la alternativa impacte, de manera positiva, en los costos totales de producción, sin afectar el rendimiento productivo y la salud intestinal del animal (Hernández *et al.*, 2016).

El uso del nopal, como estrategia nutricional no convencional para los cerdos, ha demostrado tener efectos favorables en cerdas en fase de lactación, las cuales en la primera semana postparto presentan un estado fisiológico conocido como hipofagia lactacional y, el nopal ha logrado revertir el efecto de dicho estado, puesto que la ingesta del nopal reduce la glucosa sanguínea y, en consecuencia, se incrementa el consumo de alimento (Ordaz *et al.*, 2017) sin que el consumo de nopal altere la producción y calidad de la leche de las cerdas (Ortiz, *et al.*, 2017).

En cerdos en crecimiento, Pérez *et al.* (2016) reporta que la dieta de los cerdos adicionada con nopal provoca decremento del consumo de alimento, sin que ello afecte el crecimiento de los cerdos. Además de este efecto, el consumo de esta cactácea por parte de los cerdos en crecimiento reduce el consumo de agua e incrementa la magrez y calidad de la canal (mayor contenido de proteína). Sin embargo, se desconoce el efecto de la ingesta de nopal sobre el ambiente digestivo, específicamente sobre la macro y micro morfometría intestinal. Por ello,

el objetivo del presente trabajo fue evaluar la adición de 1% de nopal a la dieta de cerdos para abasto sobre los cambios morfométricos intestinales y sobre las vellosidades del intestino.

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. Ubicada en el municipio de Tarímbaro Michoacán a 9.5 km de la carretera Morelia Zinapécuaro. La región corresponde a la clasificación Cw: sub-húmeda y semi-húmeda con clima templado (García 2004).

Recurso animal y elaboración de dietas:

Se monitorearon 46 cerdos (Yorkshire x Landrace x Pietrain) seleccionados al azar y con peso promedio de 22.4 ± 0.9 kg al inicio de la fase experimental. Con el total de cerdos se formaron dos grupos (G): G1 o control (n=23) y G2 o experimental (n=23). Los 46 cerdos fueron alojados individualmente en corrales de 2 m de largo por 1.2 m de ancho; donde, fueron monitoreados hasta alcanzar los 100 kg de peso vivo. Ambos grupos recibieron alimento balanceado *ad libitum*, formulado de acuerdo con los requerimientos de las Fases de producción (Tabla 1) evaluadas (Fase 1, 20-50 kg y Fase 2, 50-100 kg). La única variante fue la adición del 1% de *O. ficus-indica*, en base fresca, a la dieta del G2, (Tabla 1), porcentaje que se estableció, con base al peso vivo semanal por cerdo.

Tabla 1. Análisis químico proximal del alimento balanceado de acuerdo con la Fase y a la adición del 1% nopal.

Contenido	Fase de producción				
	20-50 kg		50-100 kg		Nopal
	AC	AC+1% nopal	AC	AC+1% nopal	
Materia seca (MS) %	89	79.8	89	79.3	14
Cenizas (CZ) %	3.6	7.2	3.3	8.1	13
Extracto Etéreo (EE) %	2.0	2.0	2.3	1.9	2
Fibra Cruda (FC) %	0.4	3	0.4	3.7	6.3
Proteína Cruda (PC) %	19.3	15.8	17.7	14.2	3.3

AC= Alimento balanceado procesado en el sistema

Antes de ofrecer el nopal (cladodios) a los cerdos, los cladodios se recolectaron de la parcela perteneciente a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia-UMSNH, los cuales no recibieron ningún tratamiento especial, solamente fueron fragmentados en trozos de aproximadamente 2 cm de largo x 2 cm de ancho para facilitar su consumo. Posteriormente se pesaron para suministrar a las 8:00 h la cantidad correspondiente a cada cerdo del G2 en conjunto con la ración de alimento correspondiente para cada cerdo al día; previo retiro del alimento sobrante del día anterior.

Se determinó consumo total de alimento por cerdo por grupo, morfometría intestinal por cerdo por grupo, largo de las vellosidades intestinales por cerdo por grupo.

Consumo de alimento (CA)

El CA (tanto de alimento balanceado como de nopal) se determinó mediante la resta entre la cantidad de alimento balanceado y de nopal por cerdo al día suministrados por la mañana menos la cantidad sobrante de alimento balanceado y de nopal por cerdo al día del siguiente día. Para obtener el consumo de alimento total (CAT) se sumó la cantidad consumida durante los 114 días que duró el experimento. Las cantidades de alimento suministrado (kg) y de alimento sobrante (kg) se pesaron con una báscula (Dibatec®, venta) con capacidad para 40 kg y con una precisión de ± 5.0 g.

Morfometría intestinal (MI)

La morfometría intestinal se determinó post-sacrificio (101.2 kg de peso vivo). Al respecto, los cerdos fueron sacrificados en apego a la norma oficial mexicana (NOM) NOM-033-ZOO-1995 para el sacrificio humanitario de los animales domésticos. Se determinó el peso y el largo del intestino delgado e intestino grueso. Antes de realizar dichas mediciones, se eliminó el contenido de los intestinos con agua. El peso se obtuvo con una báscula (Dibatec®, venta) con capacidad para 40 kg y con una precisión de ± 5.0 g. mientras que el largo de los intestinos se obtuvo con una cinta métrica de 10 m y con precisión de ± 1 mm.

Largo de vellosidades intestinales (LVI)

Para determinar el LVI se tomaron muestra de los intestinos de 14 cerdos (7 cerdos grupo⁻¹) inmediatamente después de eliminar su contenido. Para la obtención de las muestras se

consideraron 6 secciones: duodeno, yeyuno, íleon, ciego y colon trascendente y descendente de donde se tomaron tres muestras sección⁻¹ cerdo⁻¹ grupo⁻¹. Las muestras de intestino se sumergieron inmediatamente en formol al 10%. 48 h después de la obtención de las muestras, estas fueron procesadas para su estudio mediante la técnica de inclusión en parafina. Posteriormente, en cada muestra se realizaron cortes de 7 µm de espesor y se fijaron en un portaobjetos para teñirlas con hematoxilina y eosina para visualizar y medir las vellosidades intestinales. Las mediciones se realizaron con ayuda de un analizador de imágenes (Leica LAS V3.5; Alemania).

La morfometría intestinal y largo de las vellosidades intestinales se estimaron utilizando grupo como efecto fijo y peso a sacrificio como covariable. El modelo utilizado fue:

$$Y_{ij} = \mu + G_i + \beta_1 X_1 + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Variable respuesta: MI, LVI; μ = Promedio general; G_i = Efecto fijo del i -ésimo grupo con $i = 1, 2$; X_1 = Efecto lineal del peso a sacrificio; ε_{ij} = Error aleatorio asociado a cada observación ($\sim NID=0, \sigma^2_e$).

Resultados

Efecto de la adición de nopal a la dieta de cerdos sobre el consumo total de alimento.

Se encontró diferencia entre Grupos ($P < 0.05$) en el consumo total de alimento balanceado. El G1 consumió 303.7 kg de alimento balanceado, consumo mayor ($P < 0.05$) al observado en grupo de cerdos del G2 (257.4 kg de alimento). Con respecto al consumo total de nopal, en base fresca (BF), de los cerdos del G2, este fue de 48.2 kg o de 6.7 kg de nopal en base seca (BS). El consumo de nopal en BF más el alimento balanceado produjo un CAT de 305.6 kg cerdo⁻¹, mayor al consumo de alimento en G1. No obstante, el consumo total de nopal en BS más el alimento balanceado fue de 264.1 kg cerdo⁻¹.

Efecto de la adición de nopal a la dieta de cerdos sobre la morfometría intestinal.

En relación con la morfometría intestinal, se encontró efecto de Grupo ($P = 0.0059$) sobre el peso del intestino delgado, pero no de la covariable ($P = 0.78$) peso al sacrificio (PS). Para el largo del intestino delgado no se encontró efecto de grupo ($P = 0.57$) ni del PS ($P = 0.60$). Para el peso y largo del intestino grueso se encontró efecto de grupo ($P = 0.009$) sobre el peso del intestino, pero no de la covariable PS ($P = 0.37$). Para el largo, este fue afectado por el grupo ($P = 0.007$), más no por la covariable ($P = 0.73$). En este sentido, el peso de los intestinos (delgado y grueso) fueron mayores ($P < 0.05$) en los cerdos del G2 en comparación con los pesos de los intestinos de los cerdos del G1 (Tabla 2). Caso contrario sucedió con la longitud de los intestinos, estos fueron mayores ($P < 0.05$) en los cerdos del G1, con respecto a la longitud del intestino delgado y grueso observada en los cerdos del G2 (Tabla 2).

Tabla 2. Medias de mínimos cuadrados para parámetros de morfometría e histología intestinal por cerdo por grupo.

Sección del Intestino		Morfometría de Intestinos	
		Grupo 1 (Control)	Grupo 2 (Experimental)
Delgado	Peso kg	2.1 ^a ± 0.06	2.4 ^b ± 0.06
	Longitud m	19.0 ^a ± 0.31	18.8 ^a ± 0.31
Grueso	Peso kg	2.1 ^a ± 0.07	2.5 ^b ± 0.07
	Longitud m	5.5 ^a ± 0.12	4.9 ^b ± 0.12
Largo de las vellosidades intestinales			
Duodeno	μm	2077.3 ^{a1} ± 0.02	2549.7 ^{b1} ± 0.02
Yeyuno	μm	1757.1 ^{a2} ± 0.02	1967.4 ^{b2} ± 0.02
Íleon	μm	2411.0 ^{a1} ± 0.02	2364.3 ^{a1} ± 0.02
Ciego	μm	2085.9 ^{a1} ± 0.02	3505.1 ^{b3} ± 0.02
Colón trascendente	μm	1267.3 ^{a3} ± 0.02	1847.9 ^{b2} ± 0.02
Colón descendente	μm	1729.0 ^{a2} ± 0.02	1766.8 ^{a2} ± 0.02

^{a, b}. Literales diferentes indican diferencias ($P < 0.05$) dentro de fila entre grupos.

^{1, 2, 3} Numerales diferentes indican diferencias ($P < 0.05$) dentro de columna entre grupos.

Efecto de la adición de nopal a la dieta de cerdos sobre el largo de las vellosidades intestinales.

Se encontró efecto de Grupo ($P < 0.001$) y de la anidación Sección(Grupo) ($P < 0.001$) sobre el largo de las vellosidades intestinales. La longitud de las vellosidades intestinales fue mayor ($P < 0.05$) en los cerdos del G2, específicamente en las secciones de duodeno, yeyuno, ciego y colon trascendente (Tabla 2; Figura 1). Para el caso de las diferencias de la longitud de las vellosidades por sección y dentro de grupo, el duodeno, íleon y ciego de los cerdos del G1

fue donde se encontraron las vellosidades más largas en comparación con el resto de las secciones analizadas ($P < 0.05$). Mientras que, en el G2, el duodeno y el ciego fueron las secciones que presentaron vellosidades con mayor longitud ($P < 0.05$) en comparación con el resto de las secciones evaluadas en el G2.

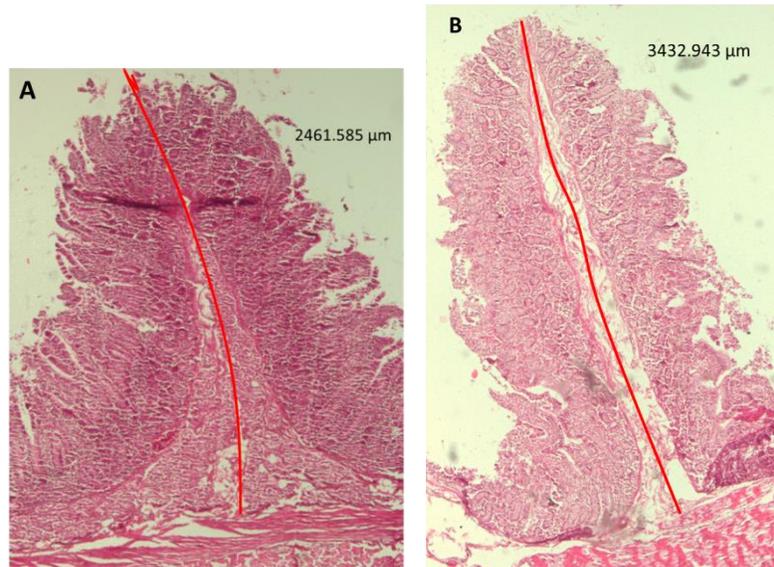


Figura 1. Vellosidades del duodeno en cerdos de 100 kg: A= Grupo control, B= Grupo experimental

Discusión

En relación con el consumo total de alimento balanceado, Moore *et al.* (2016) reporta que los cerdos de 20 a 100 kg con dietas balanceadas por Fase (20-50 y 50-100 kg) tienen un consumo total de alimento 202.9 kg cerdo⁻¹, mientras que cuando se alimentan con la misma dieta durante los 20 a 100 kg de peso vivo, el consumo total de alimento es de 198.2 kg cerdo⁻¹. En la presente investigación se utilizaron dos dietas para cubrir las necesidades nutricionales de cada Fase de producción (20-50 y 50-100 kg), en ambos grupos y, se encontró menor consumo de alimento (257.4 kg cerdo⁻¹) en el G2. Sin embargo, este consumo total de alimento fue mayor al reportado por Moore *et al.* (2016). Diferencia que pudo deberse al tipo de animales utilizados en cada investigación: Moore *et al.* (2016), utilizaron un genotipo especializado en velocidad de crecimiento que requiere un promedio de 90.1 días para alcanzar los 100 kg. Mientras que en el presente trabajo se utilizaron cerdos híbridos

(Yorkshire x Landrace x Pietrain), los cuales requirieron 114 días para lograr 100 kg de peso vivo.

De acuerdo con los resultados encontrados en los capítulos anteriores (Capítulo I, II y III), se puede sugerir que la adición del 1% nopal a la dieta de cerdos en crecimiento pudo crear el efecto hipoglucémico, pero éste no fue suficiente como para incrementar el consumo de alimento. Sin embargo, la ingesta de nopal provoca menor velocidad de tránsito del alimento por el tracto digestivo (Capítulo III), aspecto que permite mayor contacto con las enzimas digestivas y ello, a su vez, logra una mayor digestión y absorción de los nutrientes contenidos en la dieta. Por otra parte, Jha y Berrocoso (2015) establecen que la fibra digestible provoca la formación de pecti-gel, misma que evita la degradación de los lípidos contenidos en la dieta y en consecuencia cambia el metabolismo del individuo: menor cantidad de colesterol en sangre, pero incremento de triglicéridos y HDL (Capítulo II). Este cambio de los metabolitos energéticos posiblemente provocó la producción de: sales biliares, insulina y hormona del crecimiento y, ello, generó mayor digestión de nutrientes, absorción de los mismos e incremento de deposición de aminoácidos para activar la hiperplasia en los cerdos (Capítulo II).

Otro factor que pudiera explicar un menor consumo de alimento sin menoscabo del desarrollo normal de los cerdos es el cambio de la morfología intestinal de los mismos, provocado por el cambio de la dieta. Sundrum *et al.* (2011) señala que los factores dietéticos como la presentación del alimento, la palatabilidad, los insumos primarios de la dieta y la composición nutricional pueden llegar a modificar la digestión del alimento, lo que repercute en la morfometría intestinal. Al respecto, la adición de nopal a la dieta de los cerdos pudo provocar cambios morfológicos en el tracto digestivo, específicamente en los intestinos; tal como se observó en la presente investigación (Tabla 2 y Figura 1). Estos cambios morfométricos, podrían dar respuesta también, a la relación menor consumo de alimento-desarrollo normal del cerdo observado en el G2 (Capítulo I). Aspecto que concuerda con Savón *et al.* (2008), quienes al sustituir el 10 y 20% de una dieta balanceada con harina de follaje de botón de oro (*Tithonia diversifolia*) encontraron una tendencia a incrementar el peso de los intestinos conforme se incrementa la porción de esta planta en la dieta. Así, el

contenido de fibra dietética se relaciona con un incremento en el peso del tracto gastrointestinal.

Savón *et al.* (2008), señalan que el cambio en la morfometría está relacionado con los productos de la fermentación de la fibra y no propiamente con el nutriente en si. Ly (2008), señala que la fibra insoluble sufre poca fermentación en el colon. Mientras que la fibra soluble es fácilmente degradada en el intestino delgado. En este sentido, la harina de botón de oro usada por Savón *et al.* (2008), contiene 18% de fibra insoluble y 3% de fibra soluble aproximadamente. Ello en comparación con 9.8 y 4.2% de fibra insoluble y soluble, respectivamente, presente en el nopal. Este mayor contenido de fibra soluble presente en el nopal pudo propiciar mayor fermentación en el intestino delgado y generar ácidos grasos para el crecimiento celular (Savón *et al.*, 2008)). Aspecto que pudiera explicar el mayor peso ($P < 0.05$) de los intestinos de los cerdos que consumieron nopal (Tabla 2).

Savón *et al.* (2008), no encontró efecto de las dietas sobre la longitud de los intestinos: 19.4 y 5.6 m para intestino delgado y grueso, respectivamente con alimento comercial; 17.7 y 4.6 m para intestino delgado y grueso, respectivamente con 10% de harina de botón de oro y 16.7 y 5.4 m para intestino delgado y grueso, respectivamente con 20% de harina de botón de oro. Caso que pudiera concordar con los resultados del presente trabajo (Tabla 2), en lo que respecta a la longitud del intestino delgado, este fue igual ($P > 0.05$) en los cerdos del G1 y G2, más no para la longitud del intestino grueso: fue más largo en los cerdos del G1 (5.6 m) respecto a la longitud observada en los cerdos del G2 (5.1 m).

Los cambios en la morfología intestinal favorecen la integridad y crecimiento de las vellosidades intestinales (Pérez *et al.*, 2014) y ello, a su vez, beneficia la absorción de nutrientes contenidos en la dieta. Sin embargo, la composición y presentación del alimento son determinantes en los cambios morfométricos intestinales incluidos aquí, la integridad y crecimiento de las vellosidades intestinales (Savón *et al.*, 2008). Hedemann *et al.* (2005), determinaron que el tipo de partícula de dietas (fina y gruesa en el concentrado) influye en la morfometría intestinal: las partículas gruesas en el alimento promueven ($P < 0.05$) el crecimiento de las vellosidades en duodeno (2549.4 μm), mientras que las partículas finas provocan menor crecimiento (entre 2351.1 y 2467.2 μm). En este sentido, el promedio de crecimiento de las vellosidades, debido a las partículas gruesas del alimento, encontrado por

Hedemann *et al.* (2005), fue prácticamente igual al encontrado en los cerdos del G2 (2549.4 μm), pero mayor a lo observado en el G1 (2077.3 μm).

Se ha demostrado que la adición de probióticos a la dieta de los cerdos provoca el crecimiento de las vellosidades intestinales, ejemplo de ello, es el trabajo realizado por Mishra *et al.* (2016): la adición del 10% de probióticos derivados de *S. cerevisiae* o de *L. acidophilus* promovió ($P < 0.05$) el crecimiento de las vellosidades del yeyuno (1477.4 y 1443.5 μm para *S. cerevisiae* y *L. acidophilus*, respectivamente) vs dieta control (1250.0 μm). Valores menores a los encontrados en la presente investigación, tanto para el G1 (1757.1 μm) como para el grupo que consumió nopal (1967.4 μm) y en donde las longitudes de las vellosidades fueron diferentes entre ambos grupos ($P < 0.05$). Respecto al largo de las vellosidades del íleon, en la presente investigación, no se encontró efecto de grupo ($P > 0.05$): 2411.0 y 2364.3 μm , para G1 y G2, respectivamente. Mismo caso reportan Hedemann *et al.* (2005) al evaluar la presentación de la dieta: 1804.4 y 1968.9 μm para el largo de las vellosidades del íleon con dietas con partícula gruesa y fina, respectivamente. Sin embargo, estos promedios son menores a los encontrados en el presente trabajo (Tabla 2).

Cabe resaltar que el crecimiento de las vellosidades está asociado a un ambiente saludable debido a una mayor respuesta inmune. Zitnan *et al.* (2008) sugirieron que el potencial de crecimiento de las vellosidades parece ser un mecanismo de adaptación a al aporte de nutrientes. Pero, se considera que los principales compuestos alimenticios son mayormente degradados y absorbidos en la parte proximal del intestino delgado (duodeno y porción proximal del yeyuno), lo que podría ser la respuesta al porque la longitud de las vellosidades del íleon fue igual ($P > 0.05$) en ambos grupos evaluados (Tabla 2). Mishra *et al.* (2016), asocian el mayor crecimiento de las vellosidades al incremento de la absorción de nutrientes, así como la producción de ácidos grasos de cadena corta como el propionato. Pero, parece ser que la longitud de las vellosidades se incrementa si existe una mayor superficie de absorción. Aspecto que pudiera relacionarse con el mayor peso de los intestinos de los cerdos del G2 (Tabla 2).

Respecto a la longitud de las vellosidades del intestino grueso, las del ciego y del colon trascendente fueron mayores en el G2 (3505.5 y 2085.9 μm , respectivamente). Diao *et al.* (2014) señala que los agentes antimicrobianos además de reducir la carga microbiana

intestinal aumentan la altura de las vellosidades, reducen no solo la profundidad de las criptas sino también, el espesor de las paredes intestinales. Al respecto, se tienen reportes de que el nopal tiene propiedades bacteriostáticas (Delgado *et al.*, 2016), efecto que también explicaría el mayor crecimiento de las vellosidades, pero al parecer no redujo el espesor de las paredes intestinales, ello con base en el peso de los intestinos observado en el G2 (Tabla 2).

Se ha planteado hipotéticamente que la ingesta de dietas altas en fibra aumenta la tasa de rotación de las células de la mucosa intestinal en cerdos en crecimiento, sobre todo, en el ciego y en el colon transversal (Serena *et al.*, 2008). El crecimiento de las células epiteliales se promueve por los ácidos grasos de cadena corta, producto de la degradación bacteriana del almidón y la fibra no absorbidos. Así, el butirato es el sustrato principal para el crecimiento de los coloncitos y, cuando la ingesta está constituida por partículas gruesas las concentraciones de ácido butírico se incrementan en el ciego y en el colon de los cerdos, ello en comparación con las ingestas constituidas por partículas finas (Hedemann *et al.*, 2005). Por lo que posiblemente al suministrar el nopal en trozos de aproximadamente 2x2 cm, ello podría ser considerarse como partícula gruesa y estimular el crecimiento de las vellosidades intestinales en los cerdos mejorando el proceso de absorción de los nutrientes.

Conclusión

La adición del 1% de nopal a la dieta de cerdos para abasto, tiene la capacidad de modificar la morfometría de los intestinos, específicamente incrementa el peso del intestino delgado y grueso, además de permitir un mayor crecimiento de las vellosidades intestinales, lo que permite una mayor superficie de absorción de los nutrientes presentes en la dieta.

Bibliografía

- Adami, A.P., Park, I., Ferket, P., Heimendahl, E., Woo, S.K. (2015) Effect of dietary supplementation of xylanase on apparent ileal digestibility of nutrients, viscosity of digesta, and intestinal morphology of growing pigs fed corn and soybean meal based diet. *Animal Nutrition* 1: 19-23
- Delgado, S.L.A., Pérez, S.R.E., Roman, R., Garcia, P.A., Esquivel, J., Ortiz, R.R. (2016). Effects of adding cladode and epidermis extracts of *Opuntia ficus-indica* and *Opuntia atropes* to aerobic mesophilic bacteria and total coliforms in bovine raw milk. *Int. J. Pure App. Biosci.* 4 (3): 45-55.

- Diao, H., Zheng, P., Yu, B., He, J., Mao, X.B., Yu, J., Chen, D.W. (2014) Effects of dietary supplementation with benzoic acid on intestinal morphological structure and microflor in weaned piglets, *Livestock science*
- 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
- Hedemann, M. S., Mikkelsen, L. L., Naughton, P. J., Jensen, B. B. (2005) Effect of feed particle size and feed processing on morphological characteristics in the small and large intestine of pigs and on adhesion of *Salmonella enterica* serovar Typhimurium DT12 in the ileum in vitro. *J. Anim. Sci.*, 83:1554-1562
- Hernandez, 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
- Jha, R., Berrocoso, J.D. (2015). Review: Dietary fiber utilization and its effects on physiological functions and gut health of swine. *Animal*. 9: 1441-1452
- Lallès, J.P., Bosi, P., Smidt, H, Stokes, C.R. (2007). Weaning — A challenge to gut physiologists. *Livestock Science*, 108: 82-93
- Ly, J. (2008) Una aproximación a la fisiología de la digestión de cerdos criollos. *Revista Computadorizada de Producción Porcina*, 15: 13-23
- Mishra, D. K., Verma, A. K., Agarwal, N. Singh, P. (2016) Effect of Probiotics on Blood Biochemical Profile, Immunity and Small Intestine Morphology in Growing Finishing Pigs. *Agric Res* 5(4):407-412
- Montagne, L., Loisel, F., Le Naou, T., Gondret, F., Gilbert, H., Le Gall, M. (2014). Difference in short-term responses to a high-fiber diet in pigs divergently selected for residual feed intake. *Journal animal science*. 92:1512-1523
- Moore, K.L., Mullan, B.P., Kim, J.C. (2016) An evaluation of the alternative feeding strategies, blend feeding, three-phase feeding or a single diet, in pigs from 30 to 100 kg liveweight. *J Anim Feed Sci Tech*, 216: 273-280
- NOM-033-ZOO-1995. Norma Oficial Mexicana para el Sacrificio humanitario de los animales domésticos y silvestres. Diario oficial de la federación Mexicana. 1995; http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5376424&fecha=18/12/2014. Ultima consulta: 02 julio 2017
- 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*, 49:1025-1033
- 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. *Revista de investigación de la Universidad de la salle bajo*, 9: 290-312

- Pérez S.R.E., López, R.M., Bautista, G.E.C. García, V.A., Román, B.R.M., Ortiz, R.R. (2014) Efecto del suero de leche como complemento de la dieta sobre el crecimiento de las vellosidades intestinales y el peso de lechones en la etapa de 6 a 20 kg. *Revista Científica*, 24(4):319-324
- Pérez, S.R.E., Gaytán, L.S.B., Ortiz, R.R. (2016). Efecto del nopal a la dieta de cerdos en fase de 20-100 kg sobre rendimiento y calidad de la canal. Producción y aprovechamiento del nopal y maguey. Desarrollo y bienestar sustentables a través del nopal y maguey. XV Simposio-taller nacional y VIII Internacional. Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León. 10 y 11 de noviembre del 2016, Monterrey Nuevo León. México
- Rekiel, A., Bielecki, W., Więcek, J., Kulisiewicz, J. (2010). Histological changes in the small intestinal epithelium in fattening pigs fed selected feed additives. *Acta vet. brno*, 79:67-71
- Rekiel, A., Więcek, J., Cichowicz, M., Bielecki, W., Wieszczy, P. (2014) The effect of fibre level in the mixture on the state of intestinal epithelium of fatteners. *Animal Science*, 53: 61-66
- Sangild, P.T. (2001) Transitions in the life of the gut at birth. Digestive physiology of pigs. Proceedings of the 8th symposium. CABI publishing. Pp 3-16. https://books.google.com.mx/books?id=oewagVhYWkC&pg=PA3&lpg=PA3&dq=Transitions+in+the+life+of+the+gut+at+birth&source=bl&ots=R_IhYcCJ4j&sig=3FWJcr1VuDdVdKq1BCuMTQEM4RI&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwj8av4xafUAhXnv1QKHeGvCDQQ6AEINTAC#v=onepage&q=Transitions%20in%20the%20life%20of%20the%20gut%20at%20birth&f=false
- Savón, L., Mora, L.M., Dihigo, L.E., Rodríguez, V., Rodríguez, Y., Scull, I., Hernández, Y., Ruiz, T.E. (2008) Efecto de la harina de follaje de *Tithonia diversifolia* en la morfometría del tracto gastrointestinal de cerdos en crecimiento-ceba. *Zootecnia Trop.*, 26(3): 387-390
- Serena, A., Hedemann, M. S., Bach Knudsen, K. E. (2008) Influence of dietary fiber on luminal environment and morphology in the small and large intestine of sows. *J. Anim. Sci.* 86:2217-2227
- Sundrum, A., Aragon, A., Schulze-Langenhorst, C., Bütfering, L., Henningc, M., Stalljohannb, G. (2011) Effects of feeding strategies, genotypes, sex, and birth weight on carcass and meat quality traits under organic pig production conditions. NJAS – Wagen. *J Life Sci*, 58: 163-172
- Zitnan, R., Voigt, J., Kuhla, S., Wegner, J., Chudy, A., Schoenhusen, U., Brna, M., Zupcanova, M., Hagemeister, H. (2008). Morphology of small intestinal mucosa and intestinal weight change with metabolic type of cattle. *Veterinarni Medicina*, 53(10): 525-532

CAPITULO V

EFFECTO DE LA ADICIÓN DE NOPAL (*OPUNTIA FICUS-INDICA*) A LA DIETA DE CERDOS EN CRECIMIENTO SOBRE EL RENDIMIENTO Y LA CALIDAD DE LA CANAL

Resumen

Se determinó el efecto de la adición de nopal (*O. ficus-indica*) a la dieta de cerdos de 20 a 100 kg sobre: rendimiento (RC) y calidad de la canal (CC). Se utilizaron 46 cerdos de 22.4 ± 0.9 kg de peso para formar dos grupos (G): $n=23$ grupo⁻¹. Ambos grupos recibieron alimento balanceado *ad libitum*, únicamente la dieta del G2 fue adicionada con 1% de nopal (en base fresca) con base al PV cerdo⁻¹ semana⁻¹. Se evaluó: RC y CC. La información se analizó por modelos lineales generalizados y las diferencias entre grupos se obtuvieron mediante medias de mínimos cuadrados. En G2 se encontró mejor comportamiento, respecto al G1 ($P < 0.05$), para rendimiento magro (56.8%), humedad (74.0%) y proteína de la canal (20.6%). La adición de nopal a la dieta de cerdos durante las fases de 20-50 y 50-100 kg incrementa el rendimiento y la calidad de la canal de los mismos.

Palabras clave: Alimentación, crecimiento, grasa dorsal, magrez.

Introducción

En la última década, la industria porcina ha experimentado un proceso de expansión en los mercados internacionales debido al incremento en la demanda por este tipo de carne; puesto que, no sólo ofrece cualidades organolépticas deseables sino, además, ofrece una carne con menor contenido de grasa (Lefaucheur *et al.*, 2011). Características logradas a partir de la implementación de estrategias innovadoras en cada uno de los procesos productivos que integran a los sistemas de producción porcina, entre los que destacan: técnicas reproductivas, sanitarias, mejoramiento genético y nutrición (Niemi *et al.*, 2010; Pierozan *et al.*, 2016). Siendo esta última de gran importancia para garantizar la productividad y calidad de producto terminado (carne). Puesto que, una estrategia nutricional mal planteada pone en riesgo el desempeño de los indicadores productivos de los cerdos (Herrera *et al.*, 2013), al incrementar los costos de producción por concepto de alimentación y, afectar la calidad de la canal (Hernández *et al.*, 2016).

Se considera que, en la implementación de una nueva estrategia nutricional, en los sistemas de producción animal, se deben ponderar tres aspectos esenciales: I) que el nuevo insumo(s), sea inocuo para los animales y para el consumidor final (Lefaucheur *et al.*, 2011; Pierozan *et*

al., 2016), II) que el insumo no sea considerado prioritario para la alimentación del hombre (Hernández *et al.*, 2016) y, III) que el nuevo insumo a utilizar no demande una fuerte cantidad hídrica que ponga en riesgo su producción (Herrera *et al.*, 2013). Por ello, el creciente interés por insumos alimenticios no convencionales (autóctonos y resistentes a las sequías) para la alimentación animal (Hernández *et al.*, 2016). Es un hecho que, en cada región geográfica, existen gran variedad de plantas autóctonas que pueden fungir como forrajes e implementarse en la alimentación animal, incluyendo a los cerdos (Torres, 2011; García *et al.*, 2013).

El nopal (*O. ficus-indica*) es un forraje que se ha implementado en la alimentación animal con éxito (Ortiz *et al.*, 2013) debido a: disponibilidad, extensa distribución mundial y por su capacidad de producción de biomasa (62-226 ton ha⁻¹ base fresca/4-6 ton ha⁻¹ materia seca) (Montemayor *et al.*, 2011). Aunado a ello, no es un insumo primario en la alimentación humana; entre las características de esta cactácea se encuentran: i) gran capacidad de retención de agua (hasta un 90%); ii) alto contenido de carbohidratos (34.69%) y iii) fibra soluble con buena digestibilidad (>50%). Sin embargo, esta cactácea tiene como desventaja, su bajo contenido de proteína (4-5%) (Torres 2011). Por lo que no es conveniente implementarlo como insumo único en la alimentación animal (Ortiz *et al.*, 2013).

Existen investigaciones sobre *O. ficus-indica* en las cuales se establecen sus propiedades y efectos en humano (Corte *et al.*, 2011) y animales (Ortiz *et al.*, 2013). No obstante, como parte de la dieta de cerdos, hay pocas investigaciones y éstas son de orden local (Ortiz *et al.*, 2015; Pérez *et al.*, 2016). En México, se ha investigado el efecto hipoglucémico del nopal en cerdos, específicamente en cerdas lactantes (Ortiz *et al.*, 2015; Pérez *et al.*, 2016; Ordaz *et al.*, 2017) en donde se observó: reducción del nivel de glucosa sanguínea, mayor consumo de alimento y menor pérdida de peso corporal de las cerdas. Sin embargo, en cuanto al uso del nopal como complemento de la dieta en cerdos para abasto, no se cuenta con evidencias sobre su posible repercusión sobre la productividad y calidad de la canal. Por ello, el objetivo fue determinar el efecto de la adición de nopal (*O. ficus-indica*) a la dieta de cerdos en crecimiento sobre el rendimiento productivo y calidad de la canal.

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. Ubicada en el municipio de Tarímbaro Michoacán a 9.5 km de la carretera Morelia Zinapécuaro. La región corresponde a la clasificación Cw: sub-húmeda y semi-húmeda con clima templado (García, 2004).

Recurso animal y elaboración de dietas:

Se monitorearon 46 cerdos de genotipo híbrido (Yorkshire x Landrace x Pietrain) seleccionados al azar con peso promedio al inicio de 22.4 ± 0.9 kg. El monitoreo se realizó durante las Fases 20 a 50 kg y 50 a 100 kg. Con el total de cerdos se formaron dos grupos (G): G1 o control (n=23) y G2 o experimental (n=23). Los 46 cerdos fueron alojados individualmente en corrales de 2 m de largo por 1.2 m de ancho. Ambos grupos fueron alimentados con una dieta balanceada de acuerdo con los requerimientos de cada Fase de producción evaluada (20 a 50 kg y 50 a 100 kg). Con respecto a las dietas de ambos grupos, la única variante fue la adición de nopal (*O. ficus-indica*) a la dieta del G2 (Tabla 1). El alimento balanceado se ofreció *ad libitum* a cerdos de ambos grupos. Mientras que en G2 se adicionó 1% de nopal en base fresca (Tabla 1); dicho porcentaje se estableció con base en el peso vivo de cada cerdo, por semana de acuerdo a la Fase.

Tabla 1. Análisis químico proximal del alimento balanceado de acuerdo a la fase y a la adición del 1% nopal.

Contenido	Fase de producción				
	20-50 kg		50-100 kg		Nopal
	AC	AC+1% nopal	AC	AC+1% nopal	
Materia seca (MS) %	89	79.8	89	79.3	14
Cenizas (CZ) %	3.6	7.2	3.3	8.1	13
Extracto Etéreo (EE) %	2.0	2.0	2.3	1.9	2
Fibra Cruda (FC) %	0.4	3	0.4	3.7	6.3
Proteína Cruda (PC) %	19.3	15.8	17.7	14.2	3.3

AC= Alimento balanceado de acuerdo al sistema

Antes de ofrecer el nopal (cladodios) a los cerdos, los cladodios se recolectaron de la parcela perteneciente a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia-UMSNH, los cuales no recibieron ningún tratamiento especial (*O. ficus-indica* carece de espinas), solamente fueron fragmentados en trozos de aproximadamente 2 cm de largo x 2 cm de ancho para facilitar su consumo. Posteriormente se pesaron para suministrar la cantidad correspondiente a cada cerdo del G2. El suministro de nopal se realizó a las 8:00 h en conjunto con la ración de alimento (AC) correspondiente para cada cerdo, por día, por Fase; previo retiro del alimento sobrante del día anterior.

Procedimiento experimental

En ambos grupos se evaluaron: rendimiento (RC) y calidad de la canal (CC) en cada cerdo de acuerdo al grupo.

Rendimiento (RC) y calidad de la canal (CC)

El RC y CC se determinaron post-sacrificio (100.1 ± 3.7 kg de peso vivo). Al respecto, los cerdos fueron sacrificados en apego a la norma oficial mexicana (NOM) NOM-033-ZOO-1995 para el sacrificio humanitario de los animales domésticos. En la determinación del peso de la canal caliente se consideraron los pesos de la cabeza, extremidades y riñones. Mientras que, para el cálculo del rendimiento de la canal se utilizó la metodología de Mutha *et al.*, (2015):

$$RC = \frac{PCC}{PV} \times 100$$

Dónde: RC= Rendimiento de la canal (kg); PCC= Peso de la canal caliente (kg); PV= Peso vivo del cerdo (kg).

La CC se determinó con base en la grasa dorsal (GD), porcentaje de rendimiento magro (PRM); así como, las cualidades fisicoquímicas de la carne de los cerdos evaluados, mismas que fueron determinadas mediante análisis químico proximal del lomo de cada cerdo en cada grupo. Para la GD, primero se seccionó longitudinalmente la canal caliente por la mitad, ello se realizó con una cierra eléctrica; de forma que permitiera hacer tres mediciones con un vernier®: la primera, a la altura de la primera costilla; la segunda, a la altura de la décima

costilla y, la tercera, a la altura de la quinta vértebra lumbar. Mientras que el PRM se obtuvo de acuerdo con la metodología de Mutha *et al.*, (2015):

$$RM = 10.7 + (0.459 * PCC) - (2.14 * GD)$$

$$PRM = \frac{RM}{PCC} \times 100$$

Dónde: RM= Rendimiento magro de la canal (kg); PCC= Peso de la canal caliente (kg); GD= Grasa dorsal (cm); PRM= Porcentaje de rendimiento magro (%)

Para el análisis químico proximal, se tomó una muestra de 200 g de lomo cerdo⁻¹ grupo⁻¹, 24 h post-mortem, tiempo que permaneció dentro de una cámara de frío (4°C). El análisis determinó: materia seca (MS), extracto etéreo (EE), proteína cruda (PC) y ceniza (Cz), variables determinadas de acuerdo con la metodología del AOAC (2009).

Análisis estadístico

El CAT, RC, CC se estimaron utilizando grupo como efecto fijo y edad a sacrificio como covariable. El modelo utilizado fue:

$$Y_{ij} = \mu + G_i + \beta_1 X_1 + \epsilon_{ij}$$

Donde: Y_{ij} = Variable respuesta: RC, CC; μ = Promedio general; G_i = Efecto fijo del i -ésimo grupo con $i = 1, 2$. X_1 = Efecto lineal de la edad a sacrificio; ϵ_{ij} = Error aleatorio asociado a cada observación ($\sim NID=0, \sigma^2_e$).

Resultados

*Efecto de *O. ficus-indica* sobre el rendimiento (RC) y calidad de la canal (CC)*

Se encontró efecto de grupo ($P = 0.05$) y de la covariable edad a sacrificio ($P < 0.001$) sobre el RC. La cual, fue mayor ($P < 0.05$) en el G1 (78.8%) en comparación con el RC observada en el G2 (76.9%) (Tabla 2). En cuanto a la CC, se observó efecto de grupo ($P = 0.0042$) sobre la magrez de la canal, no así de la covariable edad a sacrificio ($P = 0.3696$). al respecto las canales del G2 presentaron mayor magrez ($P < 0.05$) y menor cantidad de GD ($P < 0.05$) (Tabla 2).

Tabla 2. Rendimiento y calidad de la canal de acuerdo con el grupo.

Variable	Grupo 1 (0% de nopal)	Grupo 2 (1% de nopal)
	$\bar{X} \pm E.E.$	$\bar{X} \pm E.E.$
Peso al sacrificio kg	100.8 ^a ± 0.4	101.7 ^a ± 0.4
Rendimiento %	78.8 ^a ± 0.5	76.9 ^b ± 0.5
Magrez %	50.1 ^a ± 0.4	52.8 ^b ± 0.4
Grasa dorsal mm	34.3 ^a ± 0.1	24.9 ^b ± 0.1
Análisis fisicoquímico de la carne de cerdo (lomo)		
Humedad %	70.9 ^a ± 0.2	74.0 ^b ± 0.2
Materia seca %	29.0 ^a ± 0.2	25.9 ^b ± 0.2
Extracto etéreo %	13.5 ^a ± 0.2	11.0 ^b ± 0.2
Proteína cruda %	18.2 ^a ± 0.2	20.6 ^b ± 0.2
Ceniza %	4.6 ^a ± 0.07	5.3 ^b ± 0.07

Literales ^{a, b} indican diferencias ($P < 0.05$) dentro de fila

De acuerdo con los resultados del análisis fisicoquímico de las muestras de los lomos, estos determinaron mayor porcentaje en humedad (74.0%) y proteína cruda (20.6%) y menor extracto etéreo (11.0%) en el G2, en comparación con el G1 ($P < 0.05$) (Tabla 2).

Discusión

Como se ha discutido en los capítulos anteriores, la adición del 1% de nopal a la dieta de cerdos para abasto, parece no ser suficiente como para estimular el incremento de consumo de alimento, tal como lo refiere Ordaz *et al.* (2017) en cerdas en fase de lactancia (Capítulo I). Sin embargo, la disminución del consumo de alimento balanceado sin efecto en el crecimiento de los cerdos sometidos a la dieta adicionada con nopal fue un hallazgo favorable; sobre todo, cuando en la actualidad las investigaciones en la nutrición están enfocadas en la reducción de los costos de alimentación sin perjudicar el tiempo para lograr el peso (90-100 kg) a sacrificio (Herrera *et al.*, 2013). Sin embargo la reducción del consumo de alimento pudo afectar la el RC y la CC en los cerdos sometidos a la dieta complementada con nopal (G2). Aspecto que no sucedió (Tabla 2), puesto que este grupo de cerdos presento una mejora en la calidad de la canal. Al respecto, se ha establecido que tanto RC como CC son afectados por la composición de la dieta (Ly *et al.*, 2014).

En el presente trabajo, los cerdos alimentados con *O. ficus-indica* (G2) mostraron mayor magrez de la canal (52.8 ± 0.4 %), menor grasa dorsal (24.9 ± 0.1 mm) y mayor contenido de proteína (20.6 ± 0.2 %) ($P < 0.05$). La posible respuesta al mayor efecto en la magrez en el G2 puede estar relacionado con una reducida absorción de lípidos de la dieta por efecto

del pecti-gel (Jha y Berrocoso, 2015) de la fibra del nopal. Además, el cambio metabólico energético por el efecto hipoglucémico e hipocolesterolémico provocado por la ingesta de nopal (Capítulo II) posiblemente hace que la insulina circulante compense el gasto energético con los triglicéridos del tejido graso y, ello provocó magreza de la canal (Muñoz *et al.*, 2014). El crecimiento se caracteriza por pulsaciones frecuentes y constantes de hormona de crecimiento, la cual, en presencia de insulina, incrementa la absorción de aminoácidos para promover la hiperplasia celular (Etherton, 2009; Barretero *et al.*, 2010).

Respecto a los valores de CC, lomos de cerdo del G2 presentaron mayor ($P < 0.05$) cantidad de proteína cruda (20.6 ± 0.2) y humedad (74.0 ± 0.2) (Tabla 2). Fenómeno que se ha observado al someter a los cerdos a dietas con niveles altos de proteína (20.8%) (García *et al.*, 2010); en este caso se observó disminución de la humedad (69.7%) de la canal ($P < 0.05$) pero, se incrementó el contenido de proteína (19.8%) ($P < 0.05$). Al respecto, el alimento suministrado a los cerdos de G1 y G2 (Tabla 1), contenía mayor proteína la dieta de G1 (19.3% en la Fase 1 y 17.7% en la Fase 2) comparada con la dieta de G2 (15.8% en la Fase 1 y 14.2% en la Fase 2). Valores que pudieran explicar el mayor contenido de humedad en la canal de los cerdos del G2, más no el mayor porcentaje de proteína de la canal. No obstante, la mejoría observada en la proteína de la canal de dichos cerdos (G2) pudo deberse a que la ingesta de nopal provocó mayor fermentación en colon, en respuesta al mayor aporte de fibra insoluble en alimento suministrado en este grupo (Tabla 1), generando mayor producción de ácidos grasos que pudieron ser utilizados para formar mayor contenido de músculo, cuyos componentes principales son moléculas de agua y aminoácidos (Moore *et al.*, 2016).

Conclusión

La adición del 1% de nopal (con base al peso vivo del cerdo semana⁻¹) a la dieta de cerdos durante las fases de producción de 20 a 100 kg de peso vivo no solo reduce el consumo de alimento, además, mejora la calidad de la canal. Por lo que el uso del nopal como parte de la dieta de los cerdos para abasto (20 a 100 kg de peso vivo) es una alternativa viable para los sistemas de producción porcina. No obstante, aún se debe investigar cuál es el porcentaje óptimo de inclusión de nopal a la dieta para lograr una mayor respuesta en las variables productivas de los cerdos de 20-100 kg de peso vivo.

Bibliografía

- AOAC. (2009) Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists. 15th Edition
- Barretero, R.H., Galyean, M.L., PAS, Vizcarra, J.A. (2010) The effect of feed restriction on plasma ghrelin, growth hormone, insulin, and glucose tolerance in pigs. *The Professional animal scientist* 26:26-34
- 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
- Etherton, T.D. (2009) ASAS Centennial Paper: Animal growth and development research: Historical perspectives. *J. Anim Sci*, 89(9): 3060-3064
- 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
- García, C., Ramón, F., Malacara, A., Orlando, E., Salinas, C.J., Torres, H.M., Fuentes, R.J.M., Kawas, G.J.R. (2010) Efecto de la suplementación de lisina sobre la ganancia de peso y características cárnicas y de la canal en cerdos en iniciación. *Rev Cient*, 20: 53-66
- García, G.R.A., Roman, B.R.M., Val, A.D., Perez, S.R.E., Ortiz, R.R. (2013). Caracterización y modelación de la curva de lactancia de vacas holstein complementadas con nopal (*Opuntia ficus-indica*) durante la época seca. *Revista Científica*, 23(5): 426-433
- Hernandez, L.S.H, Rodríguez, C.J.G., Lemus, F.C., Grageola, N.F., Estévez, M. (2016) Avocado waste for finishing pigs: Impacto n muscle composition and oxidative stability during chilled storage. *Meat Science*, 116: 186-192
- 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. *Revista Pastos y Forrajes*. 36: 56-63
- Jha, R., Berrocoso, J.D. (2015). Review: Dietary fiber utilization and its effects on physiological functions and gut health of swine. *Animal*. 9: 1441-1452
- 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. *J Anim Sci*. 89: 996-1010
- Ly, R., Lázara, P., Romero, A., Delgado, E. (2014) Digestibilidad rectal y ambiente gastrointestinal de cerdos jóvenes alimentados con dietas de levadura torula. Influencia de la fuente de carbohidratos. *Rev Comp Prod Porc*, 21: 134-139
- Montemayor, A., Cordova, A., Aguilera, A., García, T. y Kawas, R. (2011) Caracterización química y degradabilidad ruminal del nopal (*Opuntia ficus-indica*) y de variedades silvestres de *Opuntia* como alternativa en la suplementación de caprinos. *Salud pública y nutrición*, 5: 156-165

Tesis de Maestría: "Efecto de la adición de nopal (*O. ficus-indica*) a la dieta de cerdos para abasto sobre el consumo de agua, alimento, rendimiento de la canal y producción de gas CH₄ en excretas"

- Moore, K.L., Mullan, B.P., Kim, J.C. (2016) An evaluation of the alternative feeding strategies, blend feeding, three-phase feeding or a single diet, in pigs from 30 to 100 kg liveweight. *J Anim Feed Sci Tech*, 216: 273-280
- Mortaz M, Fewtrell MS, Cole TJ. (2001). Birth weight, subsequent growth, and cholesterol metabolism in children 8–12 years old born preterm. *Archives of Disease in Childhood* 84:212-217.
- 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. *Rev Ibero Cien*, 1: 149-159
- Mutha, C.P., Huyenb, L.T.T., Markemanna, A., Valle, Z.A. (2015) Carcass grading for local Vietnamese Ban pigs and its potential for a quality feedback system in a short food supply chain. *J Agric Agri Sci Pro*, 5: 139-144
- Niemi, J.K., Sevón-Aimonen, M.L., Pietola, K., Stalder, K.J. (2010) The value of precision feeding technologies for grow-finish swine. *J Liv Sci*, 129: 13-23
- NOM-033-ZOO-1995. Norma Oficial Mexicana para el Sacrificio humanitario de los animales domésticos y silvestres. Diario oficial de la federación Mexicana. 1995; http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5376424&fecha=18/12/2014. Última consulta: 02 julio 2017
- 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. *Arch Latinoam Prod Anim*, 21: 79-82
- 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. XXIV Congreso de la asociación latinoamericana de producción animal y XL Congreso de la sociedad Chilena de producción animal. Que se llevó a cabo del 9 al 13 de noviembre en Puerto Varas Chile.
- 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*, 49:1025-1033
- 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. *Revista de investigación de la Universidad de la Salle Bajío*, 9: 290-312
- Pierozan, C.R., Agostini, P.S., Gasa, J., Novais, A.K., Dias, C.P., Santos, R.S.K., Pereira, Jr. M., Nagi, J.G., Alves, J.B., 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. *Span J Agric Res*, 2: 1-8
- Torres A. (2011) Composición química del nopal y sus implicaciones en la nutrición de rumiante s. *Rev Salu Públ Nutr*, 5: 143-151

Discusión general

Los avances en la producción de cerdos se centran, principalmente, en mejorar la genética del animal con el fin de incrementar la producción y el rendimiento (Foxcroft, 2012). Sin embargo, no todos los productores tienen acceso a dicha tecnología; sobre todo, cuando el principal problema en la porcicultura es el alto costo de la alimentación (Cherie *et al.*, 2017). De aquí, el interés por alternativas nutricionales que coadyuven a reducir los costos de producción sin afectar el crecimiento y la calidad organoléptica de la canal del cerdo (Urriola y Stein, 2010). En este sentido, en el Capítulo I del presente trabajo, se establece que la adición de 1% de nopal a la dieta de cerdos de 20 a 100 kg de peso vivo reduce el consumo de alimento balanceado sin afectar su crecimiento (kg) e inclusive, mejora la calidad de la canal.

La ingesta de nopal modifica el metabolismo de los lípidos, debido a que el consumo de esta cactácea provoca un efecto hipoglucémico e hipocolesterolémico (López, 2011), efectos que pudieron determinarse en esta investigación (Capítulo II). Al respecto, se estableció que los niveles séricos de glucosa, colesterol, lipoproteínas de alta y baja densidad, así como los triglicéridos fueron modificados ($P < 0.05$) en los cerdos que consumieron la dieta adicionada con *O. ficus-indica* (Figura 1). Esta modificación (reducción) de dichos metabolitos probablemente esté relacionado con la fibra soluble contenida en el nopal (35%) (Maki *et al.*, 2015), misma que puede crear un pecti-gel y cubrir las sustancias lipídicas presente en el alimento impidiendo su digestión (Urriola y Stein, 2010) y promoviendo su expulsión con las heces, tal como se sugiere en el Capítulo III: en las excretas de los cerdos del G2 se observó mayor contenido de EE y FC.

Ante el efecto creado por el pecti-gel, el organismo del animal pudo verse obligado a activar un mecanismo de compensación frente a la disminución de sustratos energéticos; mecanismo homeostático que incrementa la producción de sales biliares con el fin de poder degradar los lípidos en capsulados (Le Goff y Noblet, 2001). Además, esta acción compensatoria podría mejorar la digestión y absorción del resto de los nutrientes contenidos en la dieta (Swiech *et al.*, 2010). Sin embargo, para que esto último ocurra, debe de reducirse el tiempo de tránsito del alimento por el tracto gastrointestinal (Sola *et al.*, 2010). Aspecto que efectivamente

ocurrió ($P < 0.05$) en los cerdos que consumieron nopal como parte de su dieta (Capítulo III) (Figura 1).

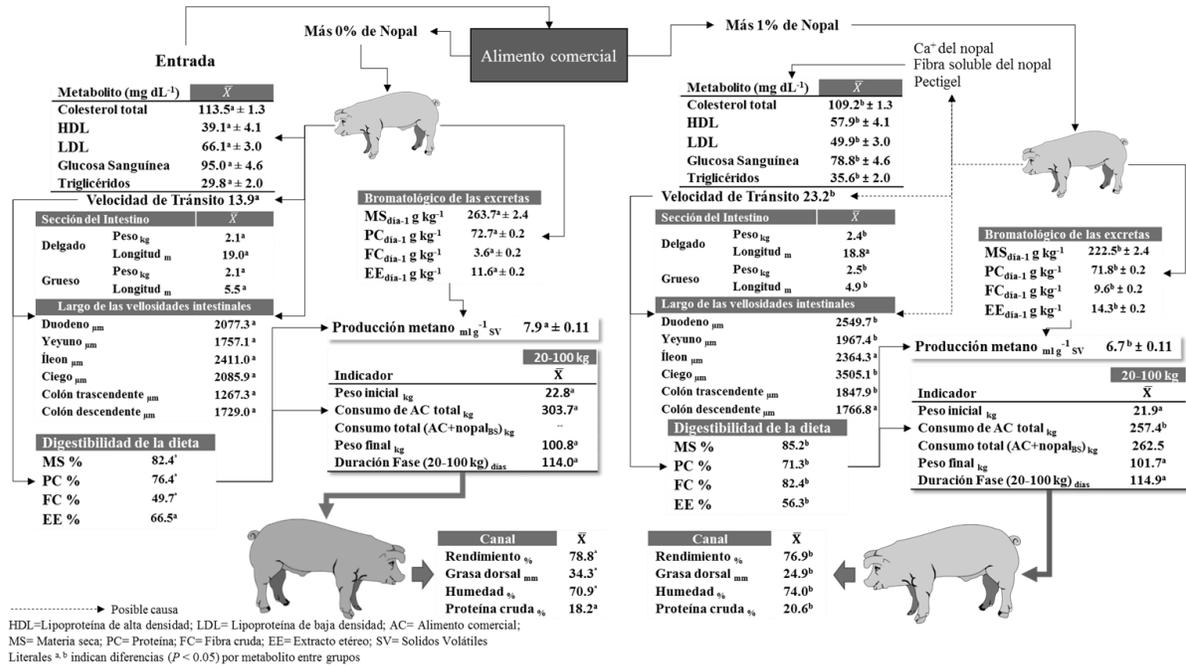


Figura 1. Modelación Esquemática de los efectos producidos por la ingestión de nopal (*O. ficus-indica*) en el organismo del cerdo durante la etapa de 20 a 100 kg de peso vivo

Los investigadores que han establecido la posibilidad de reducir la velocidad de tránsito del tracto digestivo a través de la adición de fibra a la dieta (Sola *et al.*, 2010) establecen que no siempre la reducción de la velocidad de tránsito del alimento por el sistema digestivo asegura la degradación absoluta o mayor de los nutrientes, puesto que para ello ocurra se debe contar un ambiente gástrico en equilibrio entre enzimas, microorganismos y salud intestinal (Cheryl *et al.*, 2009; Sola *et al.*, 2010). En este sentido, los resultados obtenidos en los cerdos que consumieron nopal mostraron cambios morfológicos (Figura 1) en ambos intestinos (delgado y grueso): el intestino delgado presentó mayor peso y, el intestino grueso, no solo logró pesar más, también su longitud fue mayor ($P < 0.05$). Estos cambios (Capítulo IV) sugieren salud intestinal y mayor superficie de absorción de los nutrientes contenidos en la dieta.

Se sabe que la dieta también tiene un gran impacto sobre la salud y morfología intestinal, ya que esta puede incrementar la producción de ácidos grasos de cadena corta (acetato,

propionato y piruvato), los cuales son el principal sustrato para el crecimiento de las células intestinales (Cheryl *et al.*, 2009). Urriola y Stein (2010) señalan que el aumento de fibra en la dieta puede generar un incremento de dichos ácidos, por lo que se podría esperar el incremento de la superficie intestinal y una mayor absorción de nutrientes. No obstante, para que esto suceda, se requiere de otro elemento estructural: la integridad y crecimiento de las vellosidades intestinales (Giannenas *et al.*, 2016). Aspecto que se observó (Capítulo IV) en los intestinos de los cerdos que consumieron nopal (Figura 1) y en los cuales, se encontró incremento de la longitud de las vellosidades intestinales.

Al parecer, el cambio metabólico energético, morfométricos de los intestinos y de la velocidad de tránsito del tracto gastrointestinal pudieron conjuntarse para que en los cerdos que consumieron nopal lograran mayores coeficientes de digestión, principalmente de materia seca (MS) (Figura 1). Esta mayor absorción de los nutrientes contenidos en el bolo alimenticio pudo comprobarse a través del análisis fisicoquímico de las heces de los cerdos (Capítulo III), mismos que determinaron una mayor eficiencia en la digestión de MS y fibra cruda (FC) ($P < 0.05$), aunque si bien, los coeficientes de digestión para proteína cruda (PC) y extracto etéreo (EE) fueron mayormente digeridos en los cerdos bajo la dieta convencional ($P < 0.05$). Este efecto puede estar relacionado con la fibra del nopal y la formación del pectigel (Urriola y Stein, 2010; Maki *et al.*, 2015), el cual generó mayor excreción de EE y por lo tanto menor coeficiente de digestión de este nutriente; pero debido a este fenómeno (formación del pecti-gel), se generó mayor digestión de la MS en los cerdos evaluados y que consumieron nopal como parte de su dieta.

La alteración de la dieta de los cerdos para abasto (20 a 100 kg), como fue con la adición del 1% de nopal en BF -con base al peso del cerdo-, modificó el comportamiento del sistema digestivo de los mismos. Aspecto que concuerda con el comportamiento de todo sistema: cualquier alteración en un componente del sistema afectara a todo el sistema (Bertalanffy *et al.*, 1976 citado por Gómez *et al.*, 2011). En este sentido, la ingesta de nopal modificó: el metabolismo energético (glucosa, colesterol, triglicéridos), la velocidad de tránsito gastrointestinal y, la morfometría de los intestinos. Modificaciones que provocaron un menor consumo de alimento y agua cerdo⁻¹, sin que se afectara el crecimiento de los cerdos, ni el tiempo para alcanzar el peso al sacrificio (100 kg). Además, las canales de los cerdos

sometidos a la dieta con nopal presentaron menor cantidad de grasa dorsal ($P > 0.05$), mayor magrez y contenido nutrimental (proteína cruda), así como, mayor humedad ($P < 0.05$). Aspectos relevantes que garantizan la productividad y calidad de producto (carne) terminado (Capítulo V). Lo que sugiere que el nopal como parte de la dieta puede ser catalogado como una estrategia nutricional aceptable para los sistemas de producción porcina. Puesto que, una estrategia nutricional mal planteada pone en riesgo el desempeño de los indicadores productivos de los cerdos (Juárez *et al.*, 2008), incrementan los costos de producción por concepto de alimentación y puede alterar la calidad de la canal (Hernández *et al.*, 2016).

La adición de nopal a la dieta implica un cambio en la alimentación y todo cambio, e incluso la adición de un nuevo componente a la dieta, tiene un impacto morfológico y fisiológico (metabólico) en el sistema digestivo del animal (Suthongsaa *et al.*, 2017). Puesto que, un nuevo insumo puede afectar los factores nutricionales de la dieta y modificar el ambiente gastrointestinal a tal punto que la dinámica de las poblaciones bacterianas del intestino puede verse afectada (Li *et al.*, 2015). La incorporación de un nuevo insumo a la dieta de los cerdos puede generar dichos cambios, pero con resultados contraproducentes, puesto que puede: disminuir el tiempo y capacidad del sistema para degradar y absorber los nutrientes de la dieta e incrementar la producción de gas metano, el cual tiene un fuerte impacto en el ambiente climático (Gerber *et al.*, 2013).

Zijlstra *et al.* (2012), establecen que los insumos ricos en fibra son los principales factores que pueden cambiar el ambiente gastrointestinal (microbiota), la velocidad de tránsito del alimento por el tracto digestivo y alterar el crecimiento y rendimiento del cerdo. Además, el incremento de fibra en la dieta genera un incremento en su excreción. Lo que implica, mayor producción de gas metano, debido a la formación de ácidos grasos volátiles, principalmente acetato. Sin embargo, no es el único nutriente que puede generar esta respuesta, ya que los lípidos y el calcio, son otro sustrato importante para las bacterias metanogénicas (Cheng *et al.*, 2004; Li y Hill, 2011). Al respecto, se ha demostrado que el nopal es rico en fibra y en calcio, más no en lípidos (Calderón *et al.*, 2001; Maki *et al.*, 2015), posiblemente ello contribuyó en la menor producción de CH₄ observada en los cerdos alimentados con esta cactácea (Figura 1).

Las excretas de los cerdos del G2, produjeron 2.6 a 2.8 ml de CH₄ en las primeras tres horas post-fermentación (Capítulo III); información que permitió predecir, bajo dos escenarios, la producción de este gas en un cerdo de 100 kg: a) cerdos bajo dietas convencionales y b) cerdos bajo dietas adicionadas con nopal. Para el primer escenario el resultado fue de 66000 ml de CH₄ cerdo⁻¹ y para el segundo se calculó una cantidad de 40000 ml de CH₄ cerdo⁻¹. Chen *et al.*, (2008) y Beccaccia *et al.*, (2015) señalan que, dentro de la complejidad de la metalogénesis, la inclusión excesiva de materiales altamente degradables puede inhibir las bacterias metanogénicas, debido a la acumulación de ácidos grasos volátiles y disminución del pH. Información que podría explicar el porqué los cerdos que consumieron nopal produjeron menor cantidad de metano, puesto que esta planta posee una fibra latamente degradable lo cual favorece la producción de ácidos grasos volátiles (Swiech *et al.*, 2010).

Jarret *et al.*, (2011) sugieren que las dietas ricas en fibra pueden incrementar los rangos 0.3 kg/m³ a 2.0 kg/m³ de ácidos grasos volátiles cuya consecuencia es el incremento de la producción de CH₄. Pero si dicho rango se incrementa, se deprime la producción de metano (Lorenzo y Obaya, 2005). Por lo que la mayor cantidad de EE y FC en las excretas de los cerdos que consumieron nopal podría sugerir un exceso de la producción de ácidos grasos y menor producción de CH₄ en estos cerdos (Figura 1). Por otra parte, Lorenzo y Obaya (2005), señalan que las grasas y las proteínas pueden producir el 70 y 84% de CH₄ en el biogás total. En este sentido, las excretas de los cerdos sometidos a la dieta adicionada con nopal presentaron menor excreción de proteína, lo que posiblemente también contribuyó a una menor producción de CH₄ (Capítulo III).

Si bien, el menor contenido de proteína cruda y la mayor concentración de EE y FC en las excretas de los cerdos que consumieron nopal pueden ser la respuesta a una reducción en la producción de gas CH₄ (Sun *et al.*, 2017). Chen *et al.* (2008), reportan que los iones de metales ligeros como Na⁺, Mg²⁺ y Ca²⁺ pueden ser liberados por la descomposición de la materia orgánica (como la del nopal), pero el exceso de dichos metales puede causar la inhibición severa o toxicidad en las bacterias metanogénicas y en consecuencia, se deprime la producción de CH₄.

Finalmente, el análisis de los resultados obtenidos en la presente investigación permite sugerir que la adición del 1% de nopal a la dieta de los cerdos durante las Fases de 20-50 y 50-100 kg de peso vivo es una estrategia nutricional viable para cualquier sistema de producción porcina, puesto que se reduce el consumo de alimento balanceado sin menoscabo del crecimiento de los cerdos y de la calidad de la canal. Además, el uso de esta cactácea dentro de la alimentación de los cerdos promete reducir la emisión de CH₄ al ambiente. Aspecto que debe ser tomado en cuenta, puesto que, en la actualidad, las técnicas y tecnologías para reducir el impacto ambiental que produce la industria porcina incrementan los costos de producción. Sin embargo, aún se debe investigar no solo el impacto económico de esta dieta, sino, además, la cantidad y presentación óptima (fresca o deshidratada) para obtener los máximos beneficios que plantea esta estrategia nutricional no convencional.

Bibliografía

- Beccaccia, A., Calvet, S., Cerisuelo, A., Ferrer, P., García-Rebollar, P., De Blas, C., (2015). Effects of nutrition on digestion efficiency and gaseous emissions from slurry in growing-finishing pigs. I. Influence of the inclusion of two levels of orange pulp and carob meal in isofibrous diets. *Animal Feed Science and Technology* 208:158-169
- Calderón, N.P., Estrada, L.A. A., Martínez, H.J.J (2001) Efecto de la salinidad en el crecimiento y absorción nutrimental de plantas micropropagadas de nopal (*Opuntia* spp). *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 7(2): 127-132.
- Chen, Y., Cheng, J.J., Creamer, K.S. (2008) Inhibition of anaerobic digestion process: A review. *Bioresource Technology* (99) 4044-4064
- Cheng, S.G., Geibel, J.P., Hebert, S.C., (2004) Extracellular polyamines regulate fluid secretion in rat colonic crypts via the extracellular calcium-sensing receptor *Gastroenterology* 126:148-158
- Cherie L.C., Pluske J.R, Morrison, R.S., McDonald, T.N. Smits, R.J., Henman, D.J., Stensland, I., Dunshea F.R. (2017). Post-weaning and whole-of-life performance of pigs is determined by live weight at weaning and the complexity of the diet fed after weaning. *Animal nutrition*. EN PRESNSA
- Cheryl M.T.D., Hirsch, G.N., Murtaugh, M.P. (2009) Genomic analysis of mucosal immunobiology in the porcine small intestine. *Veterinary Immunology and Immunopathology* 128:119-125

- Foxcroft, G.R. (2012). Reproduction in farm animals in an era of rapid genetic change: will genetic change outpace our knowledge of physiology. *Reprod Dom Anim* 47(4): 313-319
- Gerber, P.J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A. & Tempio, G. (2013). Hacer frente al cambio climático a través de la ganadería. *Food and Agriculture Organization (FAO)*, 4:6-37
- Giannenas, I., Doukas, D., Karamoutsios, A., Tzorac, A., Bonosa, E., Skoufos, I., Tsinas, A., Christakia, E., Tontis, D., Florou, P.P. (2016) Effects of *Enterococcus faecium*, mannan oligosaccharide, benzoic acid and their mixture on growth performance, intestinal microbiota, intestinal morphology and blood lymphocyte subpopulations of fattening pigs. *Animal Feed Science and Technology* 220:159-167
- Gómez, B.R., Ortiz, R.R., Becerril, C.M.P., Román, B.R.M., Herrera, C.J. (2011) Caracterización de la producción de leche de la coneja con énfasis en la supervivencia y crecimiento de la camada en razas nueva zelandia blanco y california. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14: 15- 33
- Hernandez, 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
- Jarret, G., Martinez, J., Dourmad, J.Y. (2011). Effect of different quality wheat dried distiller's grain solubles (DDGS) in pig diets on composition of excreta and methane production from faeces and slurry. *Livestock science* 140: 275-282
- Juarez, C.A., Ortiz, R.R., Pérez, S.R.E., Gutiérrez, E. y Val, A.D. (2008). Caracterización y modelación del Sistema de producción avícola familiar. *Livestock Research for Rural Development*. 20(25): 4-11.
- Le Goff, G., Noblet, J. (2001). Comparative total tract digestibility of dietary energy and nutrients in growing pigs and adult sows. *J. Anim. Sci.* 79:2418-2427
- Li, Y., Hao, Z., Li, Y., Zhang, L., Wang, T. (2015). Effect of medium-chain triglycerides on growth performance, nutrient digestibility, plasma metabolites and antioxidant capacity in weanling pigs. *Animal nutrition*, 1:12-18
- López, G.J.J. (2011) Uso y manejo del nopal forrajero en el noreste de México. *Revista salud pública y nutrición*, 5:121-134
- Lorenzo, A.Y., Obaya A.M.C. (2005) La digestión anaerobia. aspectos teóricos. Parte I. ICIDCA. Sobre los derivados de la caña de azúcar, 39(1):35-48
- Maki, D.G., Peña, V.C.B., García, N.R., Arévalo, G.M.L., Calderón, Z.G., Anaya, R.S. 2015. Características físicas y químicas de nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*) para exportación y consumo nacional physical and chemical characteristics of cactus stems (*Opuntia ficus-indica*) for exportation and domestic markets. *Agrociencia* 49: 31-51.

- Solà, O.D., Torrallardona, D., Gasa, J. (2010) Role of dietary fibre source and meal size on the ileal transit of digesta in growing pigs. *Livestock Science*, 133:67-69
- Sun, H., Guo, J., Wu, S., Liu, F., Dong, R. (2017) Development and validation of a simplified titration method for monitoring volatile fatty acids in anaerobic digestion. *Waste Management* (EN PRENSA)
- Suthongsaa, S., Pichyangkurab, R., Kalandakanond, T.S., Thongsongd, B., (2017) Effects of dietary levels of chito-oligosaccharide on ileal digestibility of nutrients, small intestinal morphology and crypt cell proliferation in weaned pigs. *Livestock Science* 198: 37-44
- Świąch, E., Tuśnio, A., Taciak, M., Ceregrzyn, M., Korczyński, W., (2010) Effect of dietary fibre and protein sources on contractility and morphometry of pig colon. *Livestock Science* 134:172-175
- Urriola P. E., Stein H. H. (2010) Effects of distillers dried grains with solubles on amino acid, energy, and fiber digestibility and on hindgut fermentation of dietary fiber in a corn-soybean meal diet fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 88:1454-1462
- Zijlstra, R. T., Jha, R., Woodward, A. D., Fohse, J., van Kempen, T. A. T. G. (2012). Starch and fiber properties affect their kinetics of digestion and thereby digestive physiology in pigs. *Journal animal science.* 90:49-58