



**UNIVERSIDAD MICHOCANA DE
SAN NICOLAS DE HIDALGO**

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

TESIS:

“Efecto de la adición del nopal (*O. ficus-indica*) a la dieta de cerdos de 20-100 kg sobre glucosa sanguínea, triglicéridos, lipoproteínas de alta (HDL) y baja (LDL) densidad y su relación con calidad de la canal”

Que Presenta:

PMVZ. Paola de la Paz Ramírez Vázquez
Para Obtener el Título de Médico Veterinario Zootecnista

Morelia, Michoacán, México Septiembre de 2017





**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE
SAN NICOLAS DE HIDALGO**

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

TESIS:

“Efecto de la adición del nopal (*O. ficus-indica*) a la dieta de cerdos de 20-100 kg sobre glucosa sanguínea, triglicéridos, lipoproteínas de alta (HDL) y baja (LDL) densidad y su relación con calidad de la canal”

Que Presenta:

PMVZ. Paola de la Paz Ramírez Vázquez
Para Obtener el Título de Médico Veterinario Zootecnista

Asesor:

M.C. Ruy Ortiz Rodríguez

Co-asesor:

M.C. Manuel López Rodríguez

Morelia, Michoacán, México, Septiembre de 2017



Dedicatorias

A mi madre María Guadalupe Vázquez Castañeda, por darme la vida, su amor y educarme para ser la persona que soy. Fuiste y serás siempre mi ejemplo a seguir, mi mayor motivación para cumplir con este proyecto, gracias a Dios por haberme dado a la mejor madre del mundo; eres el ángel que me impulsa a seguir adelante y cumplir todos mis anhelos. Te amo mamá.

A mi padre Jaime Ramírez Rodríguez, por ser un amigo incondicional, compañero en todo momento, tus consejos fueron invaluable para culminar este logro, gracias por haberme forjado como la persona que soy y por motivarme en todo momento para alcanzar mis anhelos.

A mis mejores amigas Tania, Mitzi, Andrea, Anayantzzy y Brenda, que han sido mi sostén y jamás cambiaría la comprensión y los buenos momentos que me han brindado. Jamás van a dejar de tener un sitio bastante privilegiado en mi corazón, cada una de ustedes. Con sus virtudes y sus defectos, con esa chispa tan particular que las caracteriza y las vuelve tan importantes para mí. Las quiero tal y como son, no cambiaría nada en su forma de ser y mucho menos, los momentos que hemos creado juntas. Gracias por todo su apoyo fue esencial para culminar este proyecto.

A mis amigos, por ser los mejores compañeros de vida, por estar conmigo en los momentos difíciles y felices, por la confianza y amistad que me han brindado durante toda mi vida. Gracias por creer en mí, es su compañía, sus consejos y su sentido del humor, lo que me alegra cada día. Ustedes, más que mis amigos, son parte de mi familia, pues así estén lejos, están en mi corazón, y lo estarán por siempre, gracias por todo. Giovanni, Jairo, Hilda, Abril, Jorge y Víctor.

Agradecimientos

A mi asesor M.C Ruy Ortiz Rodríguez, por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento, así como haberme tenido paciencia para guiarme durante la carrera y principalmente en la realización de este proyecto.

Al M.C Manuel López Rodríguez, por ofrecer su apoyo, conocimientos y preocupación para culminar este trabajo. A mis profesores, quienes son parte importante de mi formación, por ofrecer sus conocimientos y sabiduría para ser una profesionista.

Gracias MVB, Isai Pérez Servín, por ser parte de mi vida, brindarme su amistad en momentos difíciles y ayudarme a salir adelante, así como proporcionarme sus conocimientos para la realización de este proyecto.

A mis compañeros M.C. Laura Antonio Delgado Sánchez, M.C. Sandra Betania Gaytán Lemus, M.C. Maricruz Calderón González, M.C Carlos Alberto Luna Espinosa y Muz. José Enrique Ramírez Ortega, por su amistad y apoyo en todo momento, ayudarme a resolver dudas, aportando sus conocimientos, sabidurías, soportar mi mal humor, ser pacientes y nunca negarse para ayudarme en la realización de este proyecto.

Gracias al Dr. Gerardo Ordaz Ochoa, por su amabilidad, compromiso y paciencia para ayudarme a corregir mis errores y nunca negarse a la peticiones solicitadas.

A todas las personas que me apoyaron en la realización de este proyecto, por compartir conocimientos. Gracias!

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

INDICE

<i>Resumen</i>	
<i>Introducción</i>	1
<i>1. Antecedentes</i>	5
<i>1.1 Fines zootécnicos de la producción de cerdos a través del tiempo</i>	5
<i>1.2 Panorama actual de la porcicultura</i>	7
<i>1.3 alimentación y alternativas alimenticias en la producción de cerdos</i>	8
<i>1.4 Investigaciones en torno a la obtención de carne magra</i>	13
<i>2. Planteamiento del problema</i>	18
<i>3. Hipótesis</i>	19
<i>4. Objetivo General</i>	19
<i>4.1 Objetivos específicos</i>	19
<i>5. Material y métodos</i>	20
<i>6. Resultados y discusión</i>	25
<i>6.1 Efecto de la dieta completada con nopal (O. ficus-indica) sobre los metabolitos energéticos (glucosa, triglicéridos, colesterol total, triglicérido, lipoproteínas de alta y baja densidad) de los cerdos para abasto (20 a 100 kg de peso vivo)</i>	25
<i>6.2 Efecto de la dieta completada con nopal (O. ficus-indica) sobre el consumo de alimento de los cerdos para abasto (20 a 100 kg de peso vivo)</i>	31
<i>6.3 Efecto de la dieta completada con nopal (O. ficus-indica) sobre conversión alimenticia y peso final de los cerdos para abasto (20 a 100 kg de peso vivo)</i>	35
<i>6.4 Efecto de la dieta completada con nopal (O. ficus-indica) sobre la calidad de la canal de los cerdos para abasto (20 a 100 kg de peso vivo)</i>	37
<i>7. Conclusiones</i>	41
<i>8. Literatura citada</i>	42

<i>Tabla 1. Requerimientos de proteína, energía y espacio de acuerdo al peso vivo</i>	
<i>Tabla 2. Análisis bromatológico del alimento de acuerdo a fase y a la adición del (1%) nopal.</i>	20
<i>Tabla 3. Medias de mínimos cuadrados para los niveles séricos de metabolitos en cerdos en desarrollo</i>	26
<i>Tabla 4. Medias de mínimos cuadrados para el consumo de alimento balanceado (kg) y nopal (kg) de acuerdo a grupo</i>	32
<i>Tabla 5. Medias de mínimos cuadrados para el desarrollo de los cerdos de acuerdo a grupo</i>	35
<i>Tabla 6. Medias de mínimos cuadrados para indicadores de rendimiento (RC) y calidad de la canal (CC)</i>	38
<i>Figura 1. Medias de mínimos cuadrados para los niveles de glucosa sérica de acuerdo a grupo</i>	26
<i>Figura 2. Medias de mínimos cuadrados para los niveles de colesterol total y triglicéridos de acuerdo a grupo</i>	28

ABSTRACT

The aim was to evaluate the effect of the addition of nopal (*O. Ficus-indica*) to the diet of pigs from 20 to 100 kg on the serum levels of glucose, triglycerides, high and low-density lipoprotein and its relationship with the carcass. Randomly selected twenty (Yorkshire x Landrace x Pietrain) hybrid pigs of 20 kg, divided into two groups (G): CG or control group (n=10) which received conventional feed (balanced feed) and EG or experimental group (n=10), in this group the pigs received the same diet of the CG plus 1% of nopal in fresh base; percentage based on the weekly weight of pigs. The commercial feed was provided *ad libitum* in both groups. It was evaluated: glucose, total cholesterol, triglycerides, high (HDL) and low density (LDL) lipoproteins. As well as: intake of commercial feed, feed conversion, weekly weight and end of pigs. Post-slaughter was evaluated: weight at slaughter, performance of the carcass, backfat, carcass' leanness and carcass quality (humidity, dry matter, ether extract and crude protein). The information collected was analyzed through repeated measurements or generalized linear models, methodology according with the type of variable to analyze. Differences between groups were obtained through the procedure of least square means ($\alpha=0.05$). It was found that the CG presented higher ($P<0.05$) levels of glucose (95.0 mg dL^{-1}) compared with the EG (78.8 mg dL^{-1}). In total cholesterol, higher levels were also observed ($P<0.05$) in the CG (113.5 mg dL^{-1}) vs EG (109.2 mg dL^{-1}). While for triglycerides, EG was who presented higher ($P<0.05$) values (35.6 mg dL^{-1}) compared with the CG (29.8 mg dL^{-1}). However, LDL was greater in CG (66.1 mg dL^{-1}) vs GE (49.9 mg dL^{-1}). For HDL, EG presented higher ($P<0.05$) values (57.9 mg dL^{-1}) compared with the CG (39.1 mg dL^{-1}). In terms of commercial feed intake, the CG showed greater ($P<0.05$) intake: $303.7 \text{ kg of feed pig}^{-1}$ during the 20 to 100 kg. While the EG intake was of $257.4 \text{ feed pig}^{-1}$. In terms of feed conversion, it was found to be the CG who presented lower efficiency ($P<0.05$) for converting (3.6:1) compared with EG (3.0:1). Even when these differences were found, the time to reach the market weight (100 kg) was equal in both groups evaluated ($P>0.05$): 114 days. In terms of the variables post-slaughter, found the carcass yield was lower ($P<0.05$) at EG: 76.9% vs 78.8% in CG. However, the EG showed best results ($P<0.05$) in: carcass' leanness (52.8%) and backfat (24.9 mm) compared with CG: 50.1 carcass' leanness and 34.3% mm of back fat. In addition, the quality of the carcass was higher in the EG ($P<0.05$): 74.0% of humidity and 20.6% of crude protein (CP) vs 70.9% humidity and 18.2% of PC in CG. Based on these findings, the addition of the cactus in the diet of pigs from 20 to 100 kg provoke changes in the energy metabolites same that generated reduced intake of feed without affecting the growth of pigs or the quality of the carcass.

Keywords: hypoglycemia, hypocholesterolemia, metabolism, feed intake, market weight.

RESUMEN

El objetivo fue evaluar el efecto de la adición del nopal (*O. Ficus indica*) a la dieta de cerdos de 20-100 kg sobre los niveles séricos de glucosa, triglicéridos y lipoproteínas de alta y baja densidad, así como su relación con la canal. Se seleccionaron al azar 20 cerdos híbridos (Yorkshire x Landrace x Pietrain) de 20 kg, distribuidos en dos grupos (G): GC o grupo control (n=10) el cual recibió alimento convencional (alimento balanceado) y, GE o grupo experimental (n=10), en este grupo los cerdos recibieron la misma dieta del GC más el 1% nopal en base fresca; porcentaje con base al peso semanal de los cerdos. El alimento comercial se suministró *ad libitum* en ambos grupos. Se evaluó: glucosa sanguínea, colesterol total, triglicéridos, lipoproteínas de alta (HDL) y baja densidad (LDL). Así como: consumo de alimento comercial, conversión alimenticia, peso semanal y final de los cerdos. Post-sacrificio se evaluó: peso al sacrificio, rendimiento de la canal, grasa dorsal, magrez de la canal y calidad de la canal (humedad, materia seca, extracto etéreo y proteína cruda). La información recabada se analizó a través de la metodología de mediciones repetidas o modelos lineales generalizados, ello de acuerdo con el tipo de variable a analizar. Las diferencias entre grupos se obtuvieron a través del procedimiento de medias de mínimos cuadrados ($\alpha=0.05$). Se encontró que, el GC fue quien presentó mayores ($P < 0.05$) niveles de glucosa (95.0 mg dL^{-1}) en comparación con el GE (78.8 mg dL^{-1}). En colesterol total, también se observaron mayores niveles ($P < 0.05$) en el GC (113.5 mg dL^{-1}) vs GE (109.2 mg dL^{-1}). Mientras que, para triglicéridos, el GE fue quien presentó mayores ($P < 0.05$) valores (35.6 mg dL^{-1}) en comparación con el GC (29.8 mg dL^{-1}). No obstante, LDL fue mayor en GC (66.1 mg dL^{-1}) vs GE (49.9 mg dL^{-1}). En cambio, para HDL, el GE presentó mayores ($P < 0.05$) valores (57.9 mg dL^{-1}) en comparación con el GC (39.1 mg dL^{-1}). En cuanto al consumo de alimento comercial, el GC mostró mayor ($P < 0.05$) consumo: $303.7 \text{ kg de alimento cerdo}^{-1}$ durante la etapa de 20 a 100 kg. Mientras que el consumo en el GE fue de $257.4 \text{ kg de alimento cerdo}^{-1}$. En cuanto a la conversión alimenticia, se encontró que el GC fue quien presentó menor eficiencia ($P < 0.05$) en la conversión (3.6:1) en comparación con GE (3.0:1). Aun y cuando se encontraron estas diferencias, el tiempo para alcanzar el peso al mercado (100 kg) fue igual en ambos grupos evaluados ($P > 0.05$): 114 días. En cuanto a las variables post-sacrificio, se encontró que el rendimiento de la canal fue menor ($P < 0.05$) en GE: 76.9% vs 78.8% en GC. Sin embargo, el GE mostró mejores resultados ($P < 0.05$) en: magrez de la canal (52.8%) y grasa dorsal (24.9 mm) comparado con GC: 50.1% de magrez de la canal y 34.3 mm de grasa dorsal. Además, la calidad de la canal fue mayor en el GE ($P < 0.05$): 74.0% de humedad y 20.6 de proteína cruda (PC) vs 70.9% de humedad y 18.2% de PC en GC. De acuerdo con estos resultados, la adición del nopal en la dieta de los cerdos de 20-100 kg provoca cambios en los metabolitos energéticos mismos que generan disminución del consumo de alimento sin afectar el crecimiento de los cerdos ni la calidad de la canal.

Palabras clave: hipoglucemia, hipocolesterolemia, metabolismo, consumo de alimento, peso al mercado

INTRODUCCION

El cerdo doméstico (*Sus escrofa* spp) ha sido explotado en la mayor parte del mundo debido a que las acciones culturales y regionales lo han permitido (Bote, 1999) a tal grado que, en los últimos años, la producción de la carne de cerdo se ha incrementado: en el 2010, esta actividad creció entre 1.5 y 1.6% (Beyli, *et al.*, 2012); en el 2014, se produjeron 1.5 millones de toneladas de carne de cerdo, cifra que permitió estimar un incremento equivalente a 1.9 millones de toneladas para el 2015. Sin embargo, en la actualidad la producción mundial de carne de cerdos la encabezan: China (aporta en este sector el 51.1%), la Unión Europea (aporta el 20.2%) y Estados Unidos (aporta el 9.4%) (Pérez, 2015).

En relación con la producción de cerdos en México, éste ocupa el noveno lugar a nivel mundial, pues su aporte es de 13.5 millones de toneladas al año (FND, 2014). Se estima que el inventario nacional en el 2010 fue de 16.2 millones de cabezas y que, poco más de 2 millones de familias dependen de la porcicultura en el país. Ello significó, 350 mil empleos directos y 1.7 millones de empleos indirectos (Pérez, 2015). Además, la producción de carne de cerdo participa con el 14.0% del valor de la producción pecuaria. Sin embargo, dicha participación está por debajo de la carne de pollo (26.0%), carne de bovino (22.9%), leche de bovino (18.8%) y huevo (15.5%) (FND, 2014). No obstante, la porcicultura nacional se debe eficientar para hacer frente a la creciente demanda de una población en constante crecimiento demográfico.

De acuerdo con la etapa productiva en la que se encuentren los cerdos, las etapas de crecimiento (20 a 50 kg) y la etapa de finalización (50 a 100 kg) presentan mayor costo de alimentación (Pinelli *et al.*, 2004); además, las necesidades nutricionales en cada una de estas etapas son distintas. Por ello, se deben formular dietas específicas para cada etapa para garantizar la mayor eficiencia productiva y económica en la línea de producción de cerdos para abasto (De la Torre, 2010; Padilla, 2010). Aun y cuando, las formulaciones de las dietas están bien determinadas, para cada etapa productiva del cerdo, existe una gran variedad de insumos que pueden cubrir los requerimientos nutricionales de esta especie, mismos que se encuentran distribuidos en regiones agroecológicas bien delimitadas y en donde se asegura el éxito de su producción (Pérez, 2015). No obstante, dichos insumos se caracterizan por sus altos costos de producción (Beyli *et al.*, 2012).

Con relación a los costos de producción, específicamente los generados por la alimentación de los cerdos, en la actualidad las investigaciones se centran en la elaboración de las dietas con insumos nativos para reducir los costos por concepto de acarreo (trasporte) de las materias primas. Ello, sin repercutir de manera negativa sobre la calidad de la dieta (Ruíz *et al.*, 2009), en el crecimiento del animal y en la calidad del producto (Braña *et al.*, 2011). No obstante, en la calidad del producto (carne) no solo interviene la nutrición, también juega un papel importante el genotipo del animal (Rico, 2009). Así, por ejemplo, la magrez de la canal está determinada por el genotipo, edad y alimentación (De la Torre, 2010 y Alarcón, 2005).

El genotipo, la edad y la alimentación de los cerdos durante la etapa de 20 a 100 kg pueden limitar o favorecer las metas de la calidad del producto: canales con 2.5% de

grasa en promedio o dentro de un rango del 1.0 al 13.0% de grasa (Braña *et al.*, 2011). Así, la importancia de la magrez de la canal de los cerdos se debe, en parte, a que la grasa se asocia con contenidos altos de colesterol; componente lipídico que se asocia con efectos negativos sobre la salud del consumidor (Campion, 2013). No obstante, la reducción del contenido del colesterol en el cerdo es posible (Coppo *et al.*, 2016), pero, se debe considerar que este metabolito es esencial como precursor de esteroides y de vitamina D, mismos que son necesarios para la producción de hormonas sexuales y adrenales (Lázaro, 2005).

El colesterol tiene un rol esencial en la producción de ácidos biliares que facilita la digestión y absorción de lípidos (Braña *et al.*, 2011). En este sentido, la manipulación para la obtención de cerdos magros debe enfocarse no solo en la grasa, sino, además, cuidar en no afectar los niveles mínimos necesarios de colesterol para que el cerdo realice sus funciones metabólicas de manera normal (Lázaro, 2005). En este sentido, en la actualidad se utiliza el clorhidrato de ractopamina (β -adrenérgicos) en cerdos en etapa de finalización (dosis de 5 a 20 ppm) con el objetivo de incrementar el crecimiento muscular y aumentar la magrez de la canal, sin afectar su rendimiento (Gómez, 2011).

Al parecer, la ractopamina incrementa el flujo sanguíneo generando hipertrofia muscular, aumenta la síntesis proteica y disminuye la degradación muscular, lo que garantiza (Giraldo *et al.*, 2015) 2 a 3% más en el rendimiento de la canal, de 0.7 a 1.0 mm menos de la grasa dorsal y, 2.5 -3.5 Kg más de aumento en el volumen de carne producida cerdo⁻¹ al finalizar la etapa. Sin embargo, la implementación de esta estrategia no siempre es viable en sistemas de producción porcina a pequeña y

mediana escala, porque el volumen de cerdo producido no justifica el gasto de dicha estrategia.

Otra alternativa poco estudiada, pero no menos importante para mejorar la calidad de la canal, es el uso del nopal (*Opuntia spp*) como complemento de la dieta de los cerdos, debido a que esta cactácea produce los siguientes efectos, hipoglucemia, hipolipidemia e hipocolesterolemia (Bagnis, 2006; Guevara, 2009). Estos efectos se asocian con la fibra, la pectina y el mucilago de nopal, puesto que estos componentes pueden estimular la producción de insulina y, reducir los niveles de glucosa en el plasma. Además de disminuir los niveles de colesterol y triglicéridos: efecto generado principalmente por la fibra y la pectina, que provocan un estímulo en la producción de ácidos biliares que actúan sobre los lípidos y genera menor tejido graso (Valdez, 2011). Debido a estas propiedades del nopal, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de la adición de *O. ficus-indica* a la dieta de cerdos para abasto (20 a 100 kg) sobre glucosa sanguínea, triglicéridos, lipoproteínas de alta (HDL) y baja (LDL) densidad y su relación con calidad de la canal.

1. ANTECEDENTES

1.1 Fines zootécnicos de la producción del cerdo a través del tiempo

El cerdo (*Sus escrofa*) fue domesticado en la edad de media y se utilizó, principalmente para el sacrificio en los rituales de los romanos y los griegos. Mientras que, los germanos lo nombraron como dios del amor y de la fertilidad. Por lo que, posiblemente, su consumo era prohibido (ley Mosaica). Sin embargo, cabe la posibilidad de que dicha prohibición se diera para evitar los problemas de parasitosis en los humanos (Barruecos, 1972). No obstante, los registros históricos señalan que es hasta el siglo IXX, donde se inicia con la selección de esta especie, aun y cuando se sigue criando bajo condiciones de pastoreo (frutas y bellotas) y donde su principal objetivo era alimentar a los soldados. “El uso de instalaciones se reducía al mínimo indispensable y solo se confinaba a los cerdos cuando faltaba alimento en el bosque o para la época de partos; pero, mientras estaban en libertad, eran vigilados cuidadosamente por un pastor” (López, 1999)

Entre 1700 y 1845, durante la revolución industrial, surgen las técnicas de confinamiento y selección de los cerdos, orientadas a reducir la agresividad de este animal y al incremento de su capa de grasa (Eyzaguirre, 2008), puesto que la grasa del cerdo se utilizaba, principalmente, para cocinar (no existía la industria de aceites vegetales) y para la elaboración de pomadas y velas (Nos, 2005); aspectos que no limitaban la crianza de cerdos magros (Eyzaguirre, 2008). En la actualidad, los problemas económicos que causan las enfermedades cardiovasculares, producidas por el consumo excesivo de grasa animal, han obligado a la industria porcina a la producción de cerdos magros a menor costo (Camacho, 2013; Rebollar *et al.*, 2016).

Las exigencias de los consumidores, por alimentos con menor contenido de grasa, son las responsables del cambio morfológico de los cerdos. Cambio que se generó con el uso de las herramientas del mejoramiento animal y de la nutrición (Bobadilla, 2010) y en la actualidad, dicho cambio, se refuerza con aspectos de salud del animal y la salud humana, debido a las políticas internacionales sobre la producción animal, en donde predominan las acciones del bienestar animal que deriven en bienestar social y ambiental (Pérez, 2010). Sin embargo, estas políticas han generado nuevas tendencias que intentan prohibir el consumo de carne y subproductos animales (Veganos y Vegetarianos). Tendencias que pueden acarrear serias consecuencias sobre la producción y consumo de proteína de origen animal (Del, 2010).

La reciente disminución del consumo de carne (cerdo, ave o bovino) no se debe a las recientes modas del cuidado animal y salud humana (animalistas, vegetarianos y veganos) y a la apariencia personal, más bien se debe a las crisis económicas y al aumento en el precio de la proteína animal, sin descartar algunos factores de salud (Camacho, 2013). Pero, a pesar de ello, la tendencia del consumo mundial de proteína de origen animal apunta hacia el consumo de carnes más magras y menos exóticas (conejo, cabrito y pichón) (Aguilar, 2010). Por lo que, la carne de pavo y de cerdo siguen siendo las que encabezan la lista dentro de las preferencias del consumidor, siendo la carne de cerdo la más importante dentro de los países altamente tecnificados (Cerdeño, 2010).

Antes de que los consumidores exigieran menor cantidad de grasa en la carne de cerdo, la grasa dorsal de este animal era de 4.5 a 6 cm de grosor (Rebollar *et al.*, 2016); en tiempos recientes, los cerdos con mayor demanda son los que poseen de

0.8 a 1.2 cm de grasa dorsal (Camacho, 2013). Aguilar (2010) determinó que los cortes primarios del cerdo (chuleta, lomo y pierna) se encuentran en un rango bajo de grasa y colesterol, ello en comparación con algunos cortes magros de pollo y res (Rebollar *et al.*, 2016). Si se considera que en una dieta balanceada para humanos el contenido de colesterol adecuado es de 300 mg diarios, una ración de carne magra de cerdo no aporta ni la tercera parte de la ingesta sugerida (Camacho, 2013). Sin embargo, se sigue creyendo que los cerdos, en su mayoría, son grasa y ello se asocia, inevitablemente, con altos niveles de colesterol (Cedeño, 2010). Esta falta de información y especulaciones sobre la carne de cerdo han llevado a cierta población de consumidores a evitar su consumo, por lo que los productores buscan alternativas alimenticias para mejorar la calidad de la canal y ofertar carnes más magras (Pérez, 2010).

1.2 Panorama actual de la porcicultura

En los últimos años, la producción de la carne de cerdo se incrementó: tan solo en el 2010, esta actividad creció entre 1.5 y 1.6% (Beyli, *et al.*, 2012). En el 2014, se produjeron 1.5 millones de toneladas de carne de cerdo, cifra que permitió estimar un incremento del 0.4% (equivalente a 1.9 millones de toneladas) para el 2015. Actualmente, la producción y el consumo mundial de carne de cerdos la encabeza China, país que aporta a este sector el 51.1% de la carne de cerdo al mercado mundial (Pérez, 2015) y que tiene un consumo de 212.5 millones de toneladas anuales (Echavarrí, 2010).

En relación con la producción de cerdos en México, este ocupa el 9º lugar a nivel mundial, con un aporte de 13.5 millones de toneladas al año (FND, 2014). Se estima que la producción de carne de cerdo en el país participa con el 14.0% del valor de la producción pecuaria, por debajo de la carne de pollo (26.0%), carne de bovino (22.9%), leche de bovino (18.8%) y huevo (15.5%) (FND, 2014). Se ha contabilizado que, en México, más de 2 millones de familias dependen de la porcicultura en el país. Además, este sector genera más de 350 mil empleos directos y 1.7 millones de empleos indirectos (Pérez, 2015). A pesar de ello, México importa 47% de carne de cerdo, principalmente de Estados Unidos de América, para cubrir la demanda nacional (Vadell, 2009). Puesto que, el consumo de carne de cerdo per cápita promedio del mexicano es de 16.6 kg (Pérez, 2015) y, el consumidor nacional, destina el 2.7% del total de sus ingresos al consumo de carne de cerdo (Gutiérrez, 2013).

1.3 Alimentación y Alternativas alimenticias en la producción de cerdos

Dentro de las ventajas de la producción porcina se encuentra que los cerdos pueden alimentarse con una gran diversidad de insumos, lo que asegura una fácil respuesta productiva y económica (Araque, 2009). No obstante, en esta actividad, también existen desventajas en comparación con la producción de otras especies domésticas; entre ellas, el alto costo de operación e inversión y la exigencia de un riguroso control sanitario (Beyli *et al.*, 2012); únicamente, los costos por concepto de alimentación representan el 85% de los costos totales en la producción porcina (Molina, 2007) y es en las etapas de crecimiento (20 a 50 kg) y finalización (50 a 100

kg), donde los costos de alimentación representan el mayor costos de producción (Pinelli *et al.*, 2004).

Dentro de la producción porcina, la etapa de crecimiento corresponde a aproximadamente ocho semanas, periodo en el cual el cerdo de 20 kg debe alcanzar 50 kg de peso vivo; mientras que, la etapa de finalización comprende al rededor de siete semanas para que el cerdo logre 100 kg de peso vivo (Campabadal, 2009). Por ello, las necesidades nutricionales y de espacio (Tabla 1) en cada una de estas etapas son distintas para garantizar la mayor eficiencia productiva y económica en la línea de producción de los cerdos para abasto (De la Torre, 2010; Padilla, 2010).

Tabla 1. Requerimientos de proteína, energía y espacio de acuerdo a peso vivo.

Etapa	Proteína cruda	Energía	m ² /cerdo	cerdos/corral
20-50 kg	16%	3.23 kcal	1.0	15-20
50-100 kg	14%	3.30 kcal	1.2	15-20

Fuente: Alarcón (2005), De la Torre (2010), Padilla (2010).

Se ha establecido (Alarcón, 2005) que los requerimientos nutricionales para una dieta para cerdos de 20-50 kg son los siguientes: proteína 16%, lisina 0.90%, calcio 0.75%, Fosforo aprovechable 0.35% y energía 3.23 kcal. Mientras que, para la etapa de 50-100 kg los requerimientos deben ser: proteína 14%, lisina 0.75%, calcio 0.60, fosforo aprovechable 0.30% y energía 3.30 kcal. Sin embargo, para la formulación de una dieta con dichos requerimientos existen gran variedad de insumos, mismos que se encuentran distribuidos de acuerdo con las regiones geográficas con vocación agrícola para los principales insumos de las dietas de los cerdos (sorgo, maíz, soja). En donde, los efectos del cambio climático han provocado el encarecimiento de estos

productos (Prada, 2009). Por ello, es primordial la elaboración de las dietas con insumos nativos para reducir los costos de acarreo (transporte) de materias primas.

Existen grandes posibilidades de sustituir insumos convencionales de las dietas de los cerdos por insumos nativos. Sin embargo, se debe cuidar que dicha sustitución no repercuta de manera negativa sobre la calidad de la dieta (Ruiz *et al.*, 2009) y, en consecuencia, no se obtenga la ganancia de peso esperada en los cerdos que la consuman (0.487 y 0.724kg promedio día⁻¹ para la etapa 20-50 y 50-100 kg, respectivamente) (Ocampo, 2010). En este sentido, existen alternativas que pueden satisfacer tanto las necesidades nutricionales de los animales como la necesidad de reducir los costos de producción por concepto de alimentación y generar un impacto favorable para el ambiente (García, 2010).

Ante la problemática de la porcicultura nacional, se debe lograr el equilibrio entre animal- alimentación-ambiente-producción. Equilibrio que puede estar en función de las materias primas de las dietas de los cerdos, las cuales, en su conjunto, deben cumplir no solo con las metas para el desempeño productivo del propio sistema de producción (Colina *et al.*, 2010) sino, además, minimizar el impacto ambiental (Ocampo, 2010). Sin embargo, para que ello ocurra, se deben sentar las bases y la infraestructura para el confort del animal; puesto que, el máximo aprovechamiento de los nutrientes está determinado por el estado de salud y el correcto funcionamiento del sistema digestivo del cerdo (Pierozan *et al.*, 2016).

En la implementación de una nueva estrategia nutricional para los animales, se deben ponderar tres aspectos esenciales: I) que la nueva dieta o el nuevo

insumo(s), sea inocuo para los animales y para el consumidor final (Lefaucheur *et al.*, 2011; Pierozan *et al.*, 2016), II) si se trata de un nuevo insumo, que éste 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.

La fuerte demanda hídrica de los insumos de las dietas de los cerdos es un punto prioritario, puesto que el cambio climático y sus efectos negativos sobre la agricultura (disminución de la precipitación pluvial) pueden poner en riesgo la implementación de la nueva estrategia nutricional (Herrera *et al.*, 2013). Además, los retos ante el cambio climático (García *et al.*, 2009) implican estrategias que permitan la supervivencia y productividad de los sistemas agrícolas que abastecen de insumos a la producción porcina, mismos que deben 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 para la alimentación animal, como estrategia para asegurar la productividad de los animales (Hernández *et al.*, 2016) y reducir el impacto ambiental que generan estos sistemas de producción, como lo es la emisión de gas metano (Ramón y Simanca, 2013).

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 comercial. 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).

Prada (2011) encontró que los residuos sólidos y aguas residuales provenientes de la producción de hojuelas de papa (*Solanum tuberosum*) frita son factor de contaminación al desecharse en los ríos. Dicha investigación determinó que, las aguas residuales son un insumo económicamente viable como fuente energética en la fabricación de alimentos balanceados para animales, debido a la gran concentración de almidones de estas aguas residuales. Por el contrario, recientes investigaciones encontraron que la papa cruda es pobre en proteína y en energía; pero, al someterse a una fermentación de 48 horas, se convierte en un excelente alimento energético y proteico para los animales (Moyano, 2014).

Otra alternativa evaluada en la alimentación de los cerdos es la Yuca (*Manihot esculenta*). Misma que al someterse a la técnica del ensilado es más apropiado y de fácil manejo para los productores (Almaguel *et al.*, 2011). Esta planta es rica en carbohidratos y, por ello, es viable para sustituir el maíz, el trigo y el arroz. Sin embargo, se tiene que complementar con otros productos porque presenta un déficit de vitaminas, minerales, grasas y proteína (Almaguel, 2010). El ensilado de raíces y follaje de Yuca puede utilizarse como insumo energético y proteico en la dieta de cerdos en crecimiento y finalización, sin afectar el crecimiento y rasgos de comportamiento productivo de los mismos (Trompiz *et al.*, 2010; Almaguel, 2010; Perdigón, 2014). No obstante, dichas alternativas solo se encuentran en fase experimental, por lo cual no son utilizadas por las grandes empresas para la producción de carne de cerdo (Gómez *et al.*, 2012; Tepper *et al.*, 2012).

1.4 Investigaciones en torno a la obtención de carne magra

En la producción porcina, obtener éxito con una dieta para cerdos que cumpla con los requerimientos nutricionales, por etapa, no solo se verán reflejado en el crecimiento del animal sino, además, en la calidad del producto y sus características (García *et al.*, 2012). El concepto de calidad de la carne en la actualidad muestra un cambio drástico y complejo, principalmente debido a que los países exigen características diferentes y, a que, la perspectiva de calidad de la carne es más visual. El significado de calidad de la canal se enfoca en la relación calidad nutricional-tecnología-consumo (Delgado *et al.*, 2010). Relación que se han convertido en un reto para los porcicultores (De la fuente y Corona, 2010).

La industria porcícola investiga alternativas alimenticias que incidan en la calidad de las canales, entre las que se encuentra la magrez de la misma (Braña *et al.*, 2011). No obstante, dicha particularidad (magrez) está determinada por varios factores como lo son: genotipo, edad y alimentación (De la Torre, 2010 y Alarcón, 2005). Factores que deben responder a metas tales como: canales con 2.5% de grasa en promedio o en un rango del 1.0 al 13.0% de grasa (Braña *et al.*, 2011) y, ello se debe, en parte, a que la grasa se asocia con contenidos altos de colesterol; componente lipídico que posiblemente afecta la salud del consumidor (Campion, 2013).

En torno a la reducción del colesterol del cerdo, el cual se encuentra dentro de un rango 0.09 a 1.13 g/l⁻¹ (Coppo *et al.*, 2016), se ha establecido que dicha reducción es

posible. Pero, se debe considerar que esté metabolito es esencial como precursor de esteroides y de vitamina D, mismos que son necesarios para la producción de hormonas sexuales y adrenales (Lázaro, 2005); así mismo, el colesterol tiene un rol esencial en la producción de ácidos biliares que facilita la digestión y absorción de lípidos (Braña *et al.*, 2011). En este sentido, la manipulación para la obtención de cerdos magros debe enfocarse no solo en la grasa, sino, además, cuidar en no afectar los niveles mínimos necesarios de colesterol para que el cerdo realice sus funciones metabólicas de manera normal (Lázaro, 2005).

Con la finalidad de mejorar la calidad de la canal, se han implementado algunas alternativas que se utilizan en la alimentación porcina, como los aditivos no nutricionales, en los cuales se incluyen: 1) moduladores del rendimiento productivo: promotores de crecimiento, antibióticos y probióticos: 2) moduladores de calidad del alimento: inhibidores de hongos y levaduras y, 3) moduladores de la calidad de la canal: agonistas beta adrenérgicos y hormona del crecimiento (Samsing *et al.*, 2011). Con respecto a los moduladores del rendimiento productivo, los más implementados en la industria porcina son los probióticos y prebióticos; clasificados como moduladores del sistema inmune (Giraldo *et al.*, 2015).

Los probióticos inciden sobre el equilibrio microbiano intestinal de los cerdos (Barzay, 2010). Dentro de los probióticos utilizados en la nutrición animal se encuentran: *Bacillus cereus*, *Bacillus cereus toyoi*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus subtilis*, *Enterococcus faecium*, *Lactobacillus faciminis*, *Pediococcus acidilactici*, con acción positiva en los animales, principalmente, porcinos y rumiantes. Puesto que, el mecanismo de acción de estos es la competencia por nutrientes de la microbiota presente en el tracto

gastrointestinal; es decir, la capacidad de los probióticos se reduce a la competencia con las bacterias patógenas por el espacio epitelial (Lodoño, 2013), además de producir ácido láctico que acidifica la flora intestinal, creando un ambiente hostil y evitando la producción de bacterias patógenas (Samsing *et al.*, 2011).

Con respecto a los prebióticos, su acción se lleva a cabo sobre la estimulación del sistema inmune. De acuerdo con Gómez (2009), el uso de lactobacilos estimula el sistema inmune multiplicando los microorganismos y favoreciendo el reconocimiento de organismos muertos (Lázaro. 2005). Los prebióticos utilizados en la nutrición animal son: fructanos, polisacáridos, glucanos, manano, lactitol, xiloglucanos y oligosacáridos (Lodoño, 2013). Giraldo *et al.* (2015) reportan una mejora en la conversión alimenticia, mayor ganancia de peso y reducción del consumo de alimento (8%) en cerdos a los cuales se les suministró prebióticos.

En relación con los moduladores de la calidad del alimento, estos se centran en la eliminación de sustancias o microorganismos que modifiquen el aprovechamiento del alimento por parte de los animales, como es el caso de hongos que propician la producción de micotoxinas. Quiles, (2009) sugiere que, los métodos químicos utilizados para la erradicación de micotoxinas se centran en el uso de sustancias químicas secuestrantes de las micotoxinas (aluminosilicatos, bentonita, zeolita, carbón activado). Sin embargo, estas sustancias deben ser incorporadas al alimento en grandes dosis para su eficiencia (5-20 mg/kg).

Con respecto a los moduladores de la calidad de la canal, el clorhidrato de ractopamina (β -adrenérgicos), se utiliza en cerdos en finalización (dosis de 5 a 20

ppm) con el objetivo de incrementar el crecimiento muscular y aumentar la magrez de la canal, sin afectar su rendimiento (Gómez, 2011). La ractopamina tiene dichos efectos, al incrementar el flujo sanguíneo generando hipertrofia muscular, aumenta la síntesis proteica y disminuye la degradación muscular. Se ha reportado (Giraldo *et al.*, 2015) que su uso, aumenta el rendimiento de la canal (2 a 3%), disminuye la grasa dorsal (0.7 a 1.0 mm) y, aumenta el volumen de carne producida cerdo⁻¹ al finalizar la etapa: 2.5 - 3.5 Kg más. No obstante, la implementación de esta estrategia no siempre es viable en sistemas de producción porcina a pequeña y mediana escala.

Por otra parte, el empleo de las enzimas en la alimentación de los cerdos ha demostrado tener buenos resultados sobre el rendimiento y la calidad de la canal (Ravindran, 2010). Dentro de dichas enzimas, la más utilizada (70%) es la fitasa, debido a que mejora la digestión del fósforo contenido en las dietas utilizadas en la industria porcina, mineral que interviene en el metabolismo ayudando a la síntesis de proteínas y aminoácidos (García *et al.*, 2011). La fitasa, promueve la digestión del fósforo (P) uniéndose a una molécula de fitato. No obstante, el funcionamiento favorable de esta enzima depende de diferentes factores de la dieta, tales como, la relación calcio-fósforo (Flores *et al.*, 2012). Sánchez *et al.* (2011) demostraron que la fitasa en dietas de sorgo y pasta de soja reduce la excreción de fósforo y calcio. Además, aumenta la digestibilidad y absorción de nutrientes energéticos, sin afectar la digestión de la proteína presente en la dieta. Sin embargo, la absorción de nutrientes energéticos no tiene un impacto favorable en la producción de cerdos (De Moura *et al.*, 2011).

Otra alternativa poco estudiada, pero no menos importante para mejorar la calidad de la canal es el uso del nopal (*Opuntia spp*) como complemento de la dieta de los cerdos, debido a que dicha cactácea produce los siguientes efectos: hipoglucemia, hipolipidemia e hipocolesterolemia (Bagnis, 2006; Guevara, 2009). Estos efectos, al parecer, son producidos por la fibra, la pectina y el mucilago de nopal, puesto que estos compuestos propician el efecto hipoglucémico, al estimular la producción de insulina y, reducir los niveles de glucosa en el plasma. Además de este efecto, también se ha comprobado que el nopal puede disminuir los niveles de colesterol y triglicéridos; efecto generado principalmente por la fibra y la pectina, que provocan la producción de ácidos biliares y cuya consecuencia es la disminución de los niveles de lípidos en la sangre y del peso corporal (Valdez, 2011). Actualmente, Ortiz *et al.* (2014 y 2015) observaron una disminución de glucosa en sangre en cerdas alimentadas con una dieta complementada con nopal. Sin embargo, no hay evidencias sobre el efecto del nopal como complemento de la dieta de los cerdos para abasto (20-100 kg) sobre los niveles de glucosa, colesterol y triglicéridos en estos.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La evolución de la porcicultura se sustenta en la aplicación de los hallazgos de la ciencia, principalmente en el área de la genética y de la nutrición. Evolución que, por lo general, responde a las exigencias de los consumidores. Por los que no es de extrañar que los retos actuales de esta industria se enfocan a cubrir la exigencia, por parte de los consumidores, de mayor magrez de la canal de los cerdos. Puesto que, el contenido de grasa en la carne de cerdo es una de las características que más evalúa el consumidor. Por ello, el incremento en las investigaciones para encontrar estrategias de alimentación que generen mayor calidad de la carne de cerdo a un menor costo. No obstante, el uso de insumos no convencionales para la dieta de los cerdos para abasto, como podría ser el nopal (*Opuntia ficus indica*) no ha sido investigada. El nopal genera cambios metabólicos importantes en el organismo que lo consume: hipoglucemia, hipocolesterolemia e hipotriglicerinemias. Además, mejora la digestión y absorción de los nutrientes de la dieta, debido a su contenido de fibra soluble y calcio. Propiedades que pueden incidir en un mayor aprovechamiento de nutrientes e incrementar la calidad de la carne (rendimiento y magrez de la canal).

3. HIPOTESIS

La adición del 1% de nopal (con base al peso semanal del cerdo) a la dieta de cerdos para abasto (20-100 kg) disminuye los niveles sanguíneos de glucosa, colesterol total, triglicéridos, lipoproteínas de alta y baja densidad, lo cual provoca mejor rendimiento a canal.

4. OBJETIVO GENERAL

- Evaluar el efecto del nopal (*O. ficus-indica*) adicionado a la dieta de cerdos para abasto (20-100 kg) sobre glucosa sanguínea, triglicéridos, lipoproteínas de alta (HDL) y baja (LDL) densidad y su relación con calidad de la canal.

4.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Evaluar el efecto del nopal (*O. ficus-indica*) adicionado a la dieta de cerdos para abasto sobre el consumo de alimento.
- Determinar el efecto del *O. ficus-indica* adicionada a una dieta de cerdos para abasto sobre glucosa sanguínea.
- Establecer el efecto de *O. ficus-indica* adicionada a una dieta de cerdos para abasto sobre triglicéridos sanguíneos.
- Evaluar el efecto de *O. ficus-indica* adicionada a una dieta de cerdos para abasto sobre lipoproteínas de alta (HDL) y baja (LDL) densidad.
- Determinar el efecto de *O. ficus-indica* adicionada a una dieta de cerdos para abasto sobre metabolitos sanguíneos y su relación con la calidad canal.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló en el sector porcino de la Posta Zootécnica de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (FMVZ) de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH). Ubicada en el municipio de Tarímbaro Michoacán a 9.5 Km de la carretera Morelia-Zinapécuaro, localizada al norte del estado en las coordenadas 19°48' de latitud norte y 101°10' de longitud oeste, a una altura de 1,960 msnm (INEGI, 2010).

Para el desarrollo de la investigación, se utilizaron 20 cerdos híbridos (Landrace x Yorkshire x Pietrain), con un peso promedio inicial de 22.4 ± 0.9 kg, seleccionados al azar. Con estos cerdos se formaron dos grupos (G): GC o grupo control (n=10) al cual se le suministró una dieta convencional (alimento balanceado) de acuerdo con la fase productiva (20-50 y 50-100 kg) y, GE o grupo experimental (n=10), grupo de cerdos que fueron sometidos a una dieta convencional (alimento balanceado) de acuerdo con la fase productiva, más la adición del 1% de nopal (*O. ficus-indica*) en base fresca (BF) (Tabla 2). La adición del nopal se realizó con base al peso vivo cerdo⁻¹ semana⁻¹. El total de cerdos fueron alojados de forma individual en corrales de 2 m por 1.2 m.

Tabla 2. Análisis bromatológico del alimento comercial de acuerdo a la fase y a la adición del 1% nopal.

Contenido	Fase de producción				Nopal
	20-50 kg		50-100 kg		
	0% nopal	1% nopal	0% nopal	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

El alimento para ambos grupos se proporcionó en comederos tipo tolva (50 cm de alto x 30 de ancho y 60cm de largo). Dicho alimento fue elaborado en el taller de nutrición de la Posta Zootécnica de la FMVZ-UMSNH de acuerdo con los requerimientos nutricionales de la especie y la fase productiva. Los cladodios de *O. ficus-indica* se obtuvieron de la parcela ubicada cerca de las instalaciones del sector de cerdos de la Posta Zootécnica FMVZ-UMSNH. El nopal se suministró a las 8:00h en trozos de aproximadamente 2 cm³ para facilitar el consumo.

Las variables evaluadas fueron: niveles séricos de colesterol total, triglicéridos, lipoproteína de alta densidad (HDL), lipoproteína de baja densidad (LDL) y Glucosa sanguínea. Así mismo, se determinó: consumo de alimento diario y total, conversión alimenticia y peso semanal y final de los cerdos. Post-sacrificio se evaluó: peso al sacrificio, rendimiento de la canal, grasa dorsal, magrez de la canal y calidad de la canal (humedad, materia seca, extracto etéreo y proteína cruda)

Para determinar los niveles de los metabolitos energéticos (colesterol total, triglicéridos, lipoproteína de alta densidad (HDL) y lipoproteína de baja densidad (LDL) se tomaron muestras sanguíneas (5 cerdos grupo⁻¹) de 10 ml cerdo⁻¹. Para ello, se utilizaron tubos vacutainer® con suero activador de coagulación. Las muestras cerdo⁻¹ grupo⁻¹ se recolectaron a 20, 35, 50, 75 y 100 kg de peso vivo, las muestras se obtuvieron de la vena yugular previo ayuno de 8 h, y 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.

El análisis de las muestras de los metabolitos energéticos fue a través del método enzimático/colorimétrico automatizado en suero, utilizando la metodología propuesta por Cháves *et al.* (1997). Las determinaciones se realizaron a través de métodos enzimáticos adaptados en un Cobas c 111Mira (Roche, Basilea, Suiza). Los reactivos utilizados fueron: CHOL2, para CT (ref. 04 718 917 190, 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.

En cuanto a la determinación de los niveles de glucosa sanguínea, esta fue mediante un glucómetro de uso humano (Accu check performance®), para ello se realizó la punción directa de la vena auricular. Esta metodología fue validada para obtener valores de glucosa sanguínea en cerdos (Ortiz *et al.*, 2014).

El consumo de alimento cerdo⁻¹ día⁻¹ y total grupo⁻¹, se calculó con relación al alimento suministrado diariamente menos el sobrante del día, usando para ello una báscula digital (Dibatec®) con capacidad máxima de 40 kg, con una precisión de 5 gr. Con ello, se calculó el consumo total, tanto del alimento balanceado como el consumo de nopal. 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. Mientras que el peso de los cerdos se realizó al inicio de cada semana, durante las Fases evaluadas, hasta que éstos llegaron a los 100 kg de peso vivo. Para realizar el pesaje se utilizó una báscula® (Rhino, venta) con capacidad de 300 kg y una precisión de ± 100 g. Con la información del consumo

de alimento y el peso de los cerdos se calculó la ganancia de peso y la conversión alimenticia cerdo⁻¹ semana⁻¹ Fase⁻¹.

El rendimiento y la calidad de la canal (cerdo-1 grupo-1) 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 calidad de la canal (cerdo-1 grupo-1) se determinó con base en la grasa dorsal, porcentaje de rendimiento magro; así como, las cualidades fisicoquímicas de la carne de los cerdos evaluados, mismas que fueron determinadas mediante análisis bromatológico del lomo cerdo⁻¹ grupo⁻¹. Para la determinación de la grasa dorsal, primero se seccionó longitudinalmente la canal caliente por la mitad, ello se realizó con una sierra 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 bromatológico, se tomó una muestra (cerdo⁻¹ grupo⁻¹) de 200 g 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 (2010).

La información perteneciente a: niveles séricos de los metabolitos establecidos en la presente investigación, consumo y conversión alimenticia, así como peso de los animales se analizó a través de la metodología de mediciones repetidas (Littell, *et al.*, 2002) mediante los modelos de efectos fijos (MIXED, siglas en inglés) (SAS, 2010). Mientras que para el análisis de las variables post-sacrificio se realizó a través del ANOVA (Littell, *et al.*, 2002) bajo la metodología de modelos lineales generalizados (GLM, siglas en inglés) (SAS, 2010). Las diferencias entre grupos se obtuvieron a través del procedimiento de medias de mínimos cuadrados (LsMeans, siglas en inglés) a un $\alpha = 0.05$.

6. RESULTADOS Y DISCUSION

6.1 Efecto de la dieta completada con nopal (O. ficus-indica) sobre los metabolitos energéticos (glucosa, triglicéridos, colesterol total, triglicérido, lipoproteínas de alta y baja densidad) de los cerdos para abasto (20 a 100 kg de peso vivo)

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, como el nopal, posee efectos hipoglucémico e hipocolesterolémico en los individuos que lo consumen (Ordaz *et al.*, 2017). Al respecto, se encontró efecto de grupo ($P < 0.01$), peso de los cerdos ($P < 0.001$) 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 20 a 100 kg de PV de los cerdos, estos fueron mayores en el grupo de cerdos alimentados con dietas convencionales (GC) ($P < 0.05$): $113.5 \pm 1.3 \text{ mg dL}^{-1}$, $66.1 \pm 3.0 \text{ mg dL}^{-1}$ y $95.0 \pm 4.6 \text{ mg dL}^{-1}$, respectivamente *vs* $109.2 \pm 1.3 \text{ mg dL}^{-1}$, $49.9 \pm 3.0 \text{ mg dL}^{-1}$ y $78.8 \pm 4.6 \text{ mg dL}^{-1}$ para CT, LDL y GS, respectivamente en el grupo de cerdos que consumieron nopal como parte de sus dietas (GE) (Tabla 3). Mientras que, el promedio general de las lipoproteínas de alta densidad (HDL) y Triglicéridos (TG) fueron mayores en el GE ($P < 0.05$) (Tabla 3).

Tabla 3. Medias de mínimos cuadrados de los niveles séricos de metabolitos en cerdos en la etapa de desarrollo.

Indicador (mg dL ⁻¹)	Grupo	
	Control	Experimental
	$\bar{X} \pm E.E.$	$\bar{X} \pm E.E.$
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
Relación LDL:HDL	1.6:1 ^a	0.9:1 ^b
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 ($P < 0.05$) por metabolito entre grupos

Con respecto al efecto de la anidación peso(grupo) sobre los niveles séricos de glucosa, se encontraron diferencias ($P < 0.05$) entre los promedios de GS de acuerdo con el peso (50 a 100 kg). En este sentido, en el GE se observaron los niveles más bajos de GS (65 a 74 mg/dL) en comparación con el GC: 85 a 93 mg/dL (Figura 1).

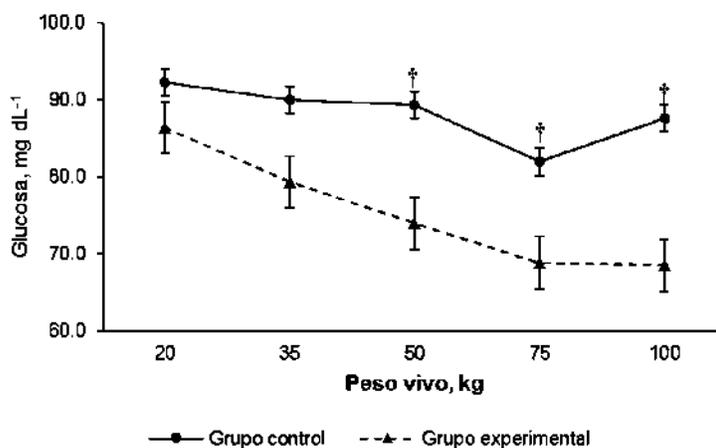


Figura 1. Medias de mínimos cuadrados para los niveles de glucosa sérica de acuerdo con el grupo.

Referente a los resultados de GS obtenidos, Castillo (2006) reportó niveles de glucosa de 66.4 a 116.1 mg dL⁻¹ en cerdos de 60 a 100 kg; resultados que, al compararlos con los grupos evaluados, se encontraron dentro del rango que

presentó el GC. Sin embargo, el GE presentó valores por debajo de lo referido por Castillo (2006) y, además, mostró disminución constante de GS a partir de los 20 kg de peso vivo (Figura 1).

El comportamiento de la GS en el GE fue generado por la ingesta del nopal, puesto que esta planta presenta propiedades hipoglucémicas, debido a la fibra, pectina y mucilago de esta cactácea, quienes estimulan el colon provocando mayor secreción de insulina y en respuesta, los niveles de glucosa en sangre disminuyen (Guevara, 2009; Valdez, 2011). Otro aspecto que puede promover la disminución de GS es el aporte de calcio (Ca^+) del nopal: $2836.00 \pm 157.71 \text{ mg } 100^{-1} \text{ g}$ de materia seca (Villela *et al.*, 2014). Aporte de Ca^+ que pudo generar incremento de la liberación de insulina, a nivel pancreático (Pari y Latha, 2005), provocando que disminuyera la GS.

Almaguel y Cruz, (2012) establecieron que una dieta con altos niveles de energía (4.6 Mcal kg^{-1}) incrementa los niveles de glucosa. En este sentido, la dieta complementada con nopal pudo disminuir el aporte de energía y en consecuencia el GE mostró una reducción de GS. Puesto que, el aporte de energía metabolizable se refleja en los niveles de glucosa sanguínea (Yin *et al.*, 2010; Almaguel y Cruz, 2012). Sin embargo, el análisis bromatológico de las dietas evaluadas (Tabla 2) muestra que el extracto etéreo (EE) disminuyó en 0.4% en la dieta de la fase de 50-100 kg del GE. Mientras que, las dietas para cerdos de 20-50 kg presentaron similar contenido de EE (2.0%) y, los resultados muestran un descenso de GS desde que inicio el consumo de nopal. Lo cual sugiere que la disminución de GS se debe al efecto hipoglucémico del nopal,

La disminución de GS y CT, en los cerdos sometidos a la dieta adicionada con nopal (GE), también pudo 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 estos metabolitos a través de la formación de una capa de gel (pecti-gel) que cubre las sustancias lipídicas del alimento impidiendo su absorción (Liu *et al.*, 2016). El pecti-gel incrementa la producción de ácidos biliares y disminuye la velocidad de tránsito del alimento, por el tracto digestivo, en un intento por degradar los lípidos contenidos en la dieta (Liu *et al.*, 2016). Ante una menor acción metabólica sobre la fuente energética de la ingesta, es posible esperar la reducción de GS y CT, tal como se observó en la presente investigación (Tabla 3, Figura 2)

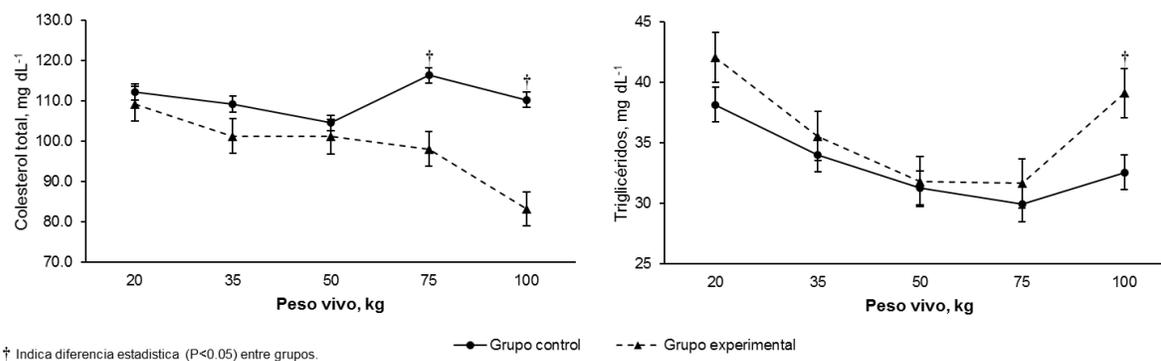


Figura 2. Medias de mínimos cuadrados para los niveles de colesterol total y triglicéridos de acuerdo con el grupo.

Frazer *et al.*, (2001) también observó un cambio de colesterol total al cambiar la fuente energética de la dieta de los cerdos, específicamente sustituyó el 4% de harina de maíz por aceite de coco en la dieta de cerdos de 20 kg de peso vivo. Sustitución que generó que el CT pasara de 90 a 75.4 mg dL⁻¹ ($P < 0.05$). Sin embargo, no todos los insumos considerados como fuente energética provocan cambios en CT; por ejemplo, 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 alteraron 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 ambos grupos mostraron mayor contenido de CT (Figura 2), respecto a lo reportado por Frazer *et al.* (2001). Sin embargo, al compararse los grupos evaluados, se observó que la adición del 1% de nopal a la dieta convencional de estos cerdos provocó menor contenido de CT ($P < 0.05$), pero esto sucedió a partir de los 50 kg de PV (Figura 2).

Morzat *et al.* (2001) y Frazer *et al.* (2001) han establecido que los cerdos de 20-100 kg de PV muestran niveles altos de CT, debido al requerimiento energético que demanda un organismo en crecimiento. Pero, conforme el cerdo se acerca a la edad adulta, el nivel de CT disminuye. Sin embargo, el incremento de CT también se asocia a una dieta rica en lípidos (De Sousa *et al.*, 2013). 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 ($r = -0.23$; $P < 0.01$). Lo que sugiere que a mayor edad y peso del cerdo los niveles sanguíneos de CT disminuyen, ello en respuesta a la ingesta del nopal (GE) (Figura 2, Tabla 3), específicamente a la formación del pecti-gel (producido por la fibra soluble del nopal) y su efecto sobre los lípidos contenidos en la dieta (Liu *et al.*, 2016).

Por otra parte, en la distribución del CT, 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 (1:1) a través de la composición de la dieta.

Al respecto de los resultados de las lipoproteínas, en los cerdos del GE fue mayor ($P < 0.05$) HDL ($57.9 \pm 4.1 \text{ mg dL}^{-1}$) y menor ($P < 0.05$) LDL ($49.9 \pm 3.0 \text{ mg dL}^{-1}$) vs el promedio de HDL ($39.1 \pm 4.1 \text{ mg dL}^{-1}$) y LDL ($66.1 \pm 3.0 \text{ mg dL}^{-1}$) en GC. Valores que pudieron mejorar la relación (0.9:1) LDL:HDL observada en GE (Tabla 3) en contraste con GC (1.69:1). Dichas relaciones sugieren que, el consumo únicamente de alimento balanceado (AB) incrementa el nivel de LDL; mientras que el consumo de AB más nopal mantiene una relación LDL:HDL más cercana al equilibrio.

Finalmente, el incremento de los triglicéridos (TG) observado en el grupo de cerdos que consumieron nopal (GE), pudo ser generado por la formación del pecti- gel en los intestinos del cerdo, el cual provoca que los lípidos, principalmente, permanezcan más tiempo en el intestino. Sin embargo, el incremento de HDL está relacionado con el incremento de TG (González *et al.*, 2011), aspecto que concuerda con los resultados observados en la presente investigación (Tabla 3): en el GE, HDL= 57.9 mg dL^{-1} ; TG= 35.6 mg dL^{-1} . En el GC, HDL= 39.1 mg dL^{-1} ; TG= 29.8 mg dL^{-1} .

Aun y cuando, la adición del 1% de nopal a la dieta de cerdos de los 20-100 kg de PV (GE) 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 ($P < 0.05$), puesto que, los cerdos que consumieron nopal redujeron el consumo de alimento balanceado en cada una de las fases evaluadas, aspecto que se abordara a continuación.

6.2 Efecto de la dieta completada con nopal (*O. ficus-indica*) sobre el consumo de alimento de los cerdos para abasto (20 a 100 kg de peso vivo)

Aun y cuando los cerdos son una especie con excelentes conversiones alimenticias, 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 (PV), 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). En el presente trabajo de investigación se observó efecto de grupo ($P < 0.001$), de fase ($P < 0.001$) y de la anidación grupo(fase) ($P < 0.001$) sobre el consumo de alimento balanceado (AB) cerdo⁻¹ día⁻¹ (Tabla 3).

Con respecto al efecto de grupo sobre el consumo de alimento, Ordaz *et al.* (2017) encontraron efecto similar al evaluar el consumo de alimento de las cerdas lactantes. Sin embargo, en la investigación con cerdas lactantes se estableció un incremento en el consumo de alimento comercial en el grupo de animales que consumieron nopal. Aspecto que no sucedió en el grupo de cerdos para abasto sometidos a la dieta adicionada con nopal (GE), estos mostraron menor consumo de AB ($P < 0.05$),

en comparación con el comportamiento de los cerdos bajo dietas convencionales (GC): 2.2 y 2.6 kg de alimento cerdo⁻¹ día⁻¹ para GE y GC, respectivamente (Tabla 4).

Tabla 4. Medias de mínimos cuadrados para el consumo de alimento balanceado (kg) y nopal (kg) de acuerdo con el grupo.

Indicador	Grupo control		Grupo experimental	
	Fase 1	Fase 2	Fase 1	Fase 2
Consumo alimento (AB) día ⁻¹	1.8 ^a ± 0.06	3.4 ¹ ± 0.06	1.6 ^b ± 0.06	2.8 ² ± 0.06
Consumo AB día ⁻¹ Fase 1 y 2	2.6 ^y ± 0.04		2.2 ^z ± 0.04	
Consumo nopal (CN) día ⁻¹	NC	NC	0.3 ± 0.02	0.6 ± 0.02
Consumo AB total fase ⁻¹	95.8 ^a ± 3.3	207.2 ¹ ± 3.3	84.4 ^b ± 3.3	174.3 ² ± 3.3
CN total fase ⁻¹ BF	NC	NC	13.5 ^q ± 1.3	34.4 ^p ± 1.3
CN total fase ⁻¹ BS	NC	NC	1.9 ± 0.18	4.8 ± 0.18
AB + CN fase ⁻¹	NC	NC	85.5 ^q ± 3.4	178.4 ^p ± 3.3
Consumo AB total	303.7 ^y ± 1.6		257.4 ^z ± 1.6	
CN total BF	NC		48.2 ± 0.6	
CN total BS	NC		6.74 ± 0.1	
AB total + CN total	NC		262.5 ± 1.6	

AB= Alimento balanceado (kg); CN= Consumo de nopal (kg); BF= base fresca; BS= Base seca NC= No consumió nopal

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

^{1, 2} Literales diferentes indican diferencia estadística (P<0.05) dentro de fila: entre grupos Fase 2

^{q, p} Literales diferentes indican diferencia estadística (P<0.05) dentro de fila (grupo experimental) Fase 1 y 2

^{y, z} Literales diferentes indican diferencia estadística (P<0.05) del consumo por grupo en ambas fases

Como ya se mencionó, el consumo de alimento del cerdo durante la etapa 20 a 100 kg es aproximadamente de 2.5 a 3.0 kg de alimento¹. Sin embargo, Cerisuelo *et al.* (2012) reporta un consumo de alimento de 2.2 kg cerdo⁻¹ día⁻¹ promedio durante la etapa de 20 a 100 kg. En este sentido, los resultados encontrados se encuentran dentro de los rangos de consumo normal de los cerdos para abasto. No obstante, el GE mostró mejor comportamiento en dicha variable (2.2 kg de AB cerdo⁻¹ día⁻¹). Aspecto que pudo ser generado por el contenido de fibra (6.3%), humedad (86%) (Tabla 2) y calcio (2836 mg 100⁻¹ g) (Villela *et al.*, 2014).

¹ Etapas y conceptos importantes en la alimentación porcina, [en línea] <http://razasporcinas.com/etapas-y-conceptos-importantes-en-la-alimentacion-porcina/> (Consulta 01 de agosto de 2017)

Las propiedades fisicoquímicas del nopal mencionadas en el párrafo anterior pudieron provocar, por un lado, mayor volumen de la ingesta (nopalm + alimento balanceado) (Jha y Berrocoso, 2015). Además, el contenido de fibra soluble (35%; Tang *et al.*, 2005) del nopal en el tracto gastrointestinal de los cerdos es capaz de inhibir la producción de glucosa sanguínea y de colesterol y provocar 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 (Heimendahl *et al.*, 2009).

En relación con el efecto de la anidación grupo (fase) sobre el consumo de alimento, se encontró que el GC presentó mayor ($P < 0.05$) consumo en ambas fases: 1.8 y 3.4 kg cerdo⁻¹ día⁻¹ para la fase 1 (20-50 kg) y fase 2 (50-100 kg), respectivamente. Mientras que el GE el consumo fue de 1.6 y 2.8 kg cerdo⁻¹ día⁻¹ para la fase 1 y 2, respectivamente (Tabla 4). Consumos que se reflejaron en el consumo total de alimento fase⁻¹: valores mayores ($P < 0.05$) en el grupo de cerdos bajo dietas convencionales: 95.8 y 207.2 kg de AB en la fase 1 y 2, respectivamente (Tabla 4).

En relación con el consumo total de alimento comercial, Moore *et al.* (2016) reportan que los cerdos de 20 a 100 kg sometidos a dietas comerciales de acuerdo a las fases por las que transitan los cerdos en la línea de producción (fase 1, 20 a 50 kg y fase 2, 50 a 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. Este último valor, es menor al que

observaron Rivero *et al.* (2010): consumo de 330.4 kg de alimento comercial durante la etapa de 20 a 100 kg.

En la presente investigación se utilizaron dos dietas comerciales 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 comercial en el GE (257.4 kg de alimento cerdo⁻¹) con respecto al GC (303.7 kg de alimento cerdo⁻¹). Sin embargo, este consumo total de alimento fue mayor al reportado por Moore *et al.* (2016), pero menor al observado por Rivero *et al.* (2010). Diferencias que pudo deberse al tipo de animales y a la calidad de las dietas utilizadas en cada investigación. En este sentido, Herrera (2013) determino que, el consumo de alimento en cerdos de engorda puede ser alterado por el tipo de alimento (tamaño de partícula), protocolo de alimentación, y ambiente. Al respecto ambos grupos evaluados compartieron características de ambiente similares con excepción de la alimentación.

Finalmente, el consumo de nopal por cerdo(fase) mostró un consumo de nopal de 13.5 kg de nopal en BF (1.9 kg de nopal en BS) durante la fase 20-50 kg (Tabla 4). Sin embargo, para la fase 50-100 kg, se observó un consumo de 34.4 Kg de nopal en BF (4.8 kg de nopal en BS) (Tabla 4). En lo referente al consumo de nopal total, se observó un consumo de 48.2 kg de nopal en BF (6.74 kg de nopal en BS) (Tabla 4). Al parecer, independientemente del aporte nutricional que contenga el nopal, la ingestión de esta cactácea es capaz de potencializar el aprovechamiento del alimento comercial y convertirlo en kilogramos de carne, debido a que el consumo de nopal puede incrementar la producción y liberación de insulina (Corte *et al.*, 2011) y, ésta (al igual que la grelina) 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 pudo suceder en los cerdos del GE, debido a la acción del pecti-gel y a la mayor liberación de sales biliares que actúan en la degradación de proteínas y otros nutrientes facilitando su absorción y disponibilidad para que la hormona del crecimiento realice su función.

6.3 Efecto de la dieta completada con nopal (*O. ficus-indica*) sobre conversión alimenticia y peso final de los cerdos para abasto (20 a 100 kg de peso vivo)

Con relación a la conversión alimenticia, se observó efecto de grupo, fase ($P < 0.001$) y anidación grupo(fase) ($P < 0.001$) sobre dicha variable. No obstante, no se encontró efecto de grupo ($P > 0.05$) para las variables: peso final (100 kg), ganancia de peso día⁻¹ y duración de la fase (días) (Tabla 5). Resultados que concuerdan con Pérez *et al.* (2016), quienes también encontraron dichos efectos ($P < 0.001$) en cerdos de 20 a 100 kg de PV.

Tabla 5. Medias de mínimos cuadrados para el desarrollo de los cerdos de acuerdo con el grupo.

Indicador	Grupo control		Grupo experimental	
	Fase 1	Fase 2	Fase 1	Fase 2
Peso inicial (kg)	22.8 ^a ±0.4	53.2 ¹ ± 0.4	21.9 ^a ±0.4	53.4 ¹ ±0.4
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 (g)	559 ^a ±0.2	866 ¹ ±0.1	572 ^a ±0.2	882 ¹ ± 0.1
Ganancia de peso día ⁻¹ (g)	712.5 ^p ±0.1		727.0 ^p ±0.1	
Conversión alimenticia (kg)	3.3 ^a ±0.1	3.9 ¹ ±0.1	2.7 ^b ±0.1	3.4 ² ±0.1
Conversión alimenticia (kg)	3.6:1 ^p		3.0:1 ^q	
Duración fase (días)	52.4 ^a ±0.8	61.6 ¹ ±0.8	53.5 ^a ±0.8	61.4 ¹ ±0.8
Duración fase 1 y 2 (días)	114.0 ^p ±0.6		114.9 ^p ±0.6	

^{a, b} Literales indican diferencias estadísticas ($P < 0.05$) dentro de fila en fase 1

^{p, q} Literales indican diferencias estadísticas ($P < 0.05$) entre grupos

^{1, 2} Numerales indican diferencias estadísticas ($P < 0.05$) dentro de fila en fase 2

De acuerdo con los valores consignados en la Tabla 5, se puede observar que, el GC presentó menor conversión alimenticia (3.6:1) cuando se evaluó este indicador tomado ambas fases en cuenta, ello en comparación al GE (3.0:1). Resultado del GC mayor al observado por Reyes *et al.* (2012), quienes evaluaron cerdos alimentados con dietas convencionales adicionadas con probióticos (*Enterococcus faecium*) y encontraron una conversión alimenticia de 3.3:1; sin embargo, el grupo de cerdos que consumieron nopal (GE) presentaron mayor eficiencia ($P < 0.05$) en la conversión alimenticia (Tabla 5).

Bartoli, (2010) establece que los factores principales que pueden provocar la disminución de la conversión alimenticia son: el tamaño de la partícula y la disminución de nutrientes en la dieta, el cual revela que si es mayor el tamaño de la partícula existe un menor aprovechamiento de nutrientes y por lo tanto una menor conversión alimenticia. No obstante, Caballero (2010) sugiere que entre más pequeña sea la partícula del alimento, los animales son más propensos a presentar ulcera gástrica, lo que provocará una disminución en el consumo y crecimiento del cerdo. Con respecto a lo anterior, el tipo alimento y calidad nutricional, pueden provocar cambios metabólicos relevantes en los cerdos que probablemente afecten o favorezcan la producción (Reyes *et al.*, 2012), cambios metabólicos observados en esta investigación (glucosa, colesterol, triglicéridos, lipoproteínas de alta y baja densidad), los cuales ya fueron discutidos al inicio de este apartado.

Otro factor que pudo contribuir con la eficiencia de la conversión alimenticia y el crecimiento de los cerdos que consumieron nopal (GE), independientemente que su consumo haya sido menor al del GC, pudo deberse a la modificación de la velocidad

del tránsito del alimento por el tracto digestivo. 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 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 la evaluación de Wilfart *et al.* (2007) no se encontró efecto del nivel de fibra sobre la velocidad de tránsito ($P > 0.05$): 29.7 y 33.7 h, respectivamente. Por lo que estos investigadores sugieren que la falta de efecto sobre dicha variable (velocidad de tránsito) 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 y, 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 velocidad de tránsito del alimento por el tracto gastrointestinal, b) mayor degradación y absorción de los nutrientes presentes en la dieta y c) desarrollo (kg) normal de los cerdos del GE, a pesar de la disminución del consumo de alimento balanceado (Tabla 5).

6.4 Efecto de la dieta completada con nopal (*O. ficus-indica*) sobre la calidad de la canal de los cerdos para abasto (20 a 100 kg de peso vivo)

Un elemento importante en la evaluación de nuevos insumos en las dietas de los animales, además, de ser inocuos para estos, es que no alteren negativamente: el rendimiento y calidad de la canal. Al respecto, se ha establecido que tanto el rendimiento como la calidad de la canal son afectados por la composición y calidad

de la dieta (Ly *et al.*, 2014). En el presente trabajo se encontró diferencia ($P < 0.05$) entre grupos en el rendimiento de la canal (RC) (Tabla 6), siendo el GC quien mostro mejor comportamiento ($78.8 \pm 0.5\%$) vs GE ($76.9 \pm 0.5\%$). Ricalde (2012) y Rebollar *et al.* (2014), reportan 80% como valor optimo en rendimiento en canal. Mientras que, Gritano *et al.* (2012), al suministrar cebada granulada a la dieta convencional observó un RC de hasta 83%.

Tabla 6. Medias de mínimos cuadrados para indicadores de rendimiento (RC) y calidad de la canal (CC) de acuerdo con el grupo.

Indicador	Grupo control	Grupo experimental
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, %	50.11 ^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

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

De acuerdo con los valores consignados en la Tabla 6, los cerdos alimentados con *O. ficus-indica* (GE) mostraron mayor magrez de la canal, menor grasa dorsal y mayor contenido de proteína en los lomos analizados ($P < 0.05$). La posible respuesta al mayor efecto en la magrez en el GE puede estar relacionado con una reducida absorción de lípidos de la dieta por efecto del pecti-gel (Jha y Berrocso, 2015) producido por la fibra del nopal. Además, el cambio metabólico energético por el efecto hipoglucémico e hipocolesterolémico provocado por la ingesta de nopal posiblemente hace que la insulina circulante compense el gasto energético con los triglicéridos del tejido graso y, ello provocó magrez de la canal (Muñoz *et al.*, 2014).

Respecto a los valores de la calidad de la canal, los lomos de cerdo del GE presentaron mayor ($P < 0.05$) cantidad de proteína cruda (20.6%) y humedad (74.0%) (Tabla 6). Fenómeno que también se ha observado al someter a los cerdos a dietas con niveles altos de proteína (20.8%) y en donde se observó, disminución de la humedad (69.7%) de la canal ($P < 0.05$) e incremento ($P < 0.05$) del contenido de proteína (19.8%) de la canal (García *et al.*, 2009). Al respecto, el alimento suministrado a los cerdos de GC (Tabla 1) contenía mayor proteína (19.3% en la Fase 1 y 17.7% en la Fase 2) comparada con la dieta de GE (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 GE, más no el mayor porcentaje de proteína de la canal.

La mejoría observada en la proteína de la canal de los cerdos del GE 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 musculo, cuyos componentes principales son moléculas de agua y aminoácidos (Moore *et al.*, 2016).

Como se ha discutido en los párrafos 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. Sin embargo, la disminución del consumo de alimento comercial sin efecto en el crecimiento de los cerdos sometidos a la dieta adicionada con nopal es un hallazgo importante; 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 y la obtención de carne de cerdo de calidad (Herrera *et al.*, 2013). Aspectos que se cumplen con la adición del nopal a la dieta de cerdo para abasto (20-100 kg).

Por último, 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, la importancia de los resultados encontrados en esta investigación.

7. CONCLUSIONES

- La adición de nopal en cerdos en crecimiento provoca cambios metabólicos importantes, puesto que disminuye los niveles de glucosa sanguínea (GS), colesterol total (CT), triglicéridos (TG), y lipoproteína de baja densidad (LDL), ello provocado por las propiedades nutricionales aportadas por el nopal, que generan una disminución en el consumo de alimento y un mayor aprovechamiento de nutrientes, sin afectar el crecimiento de los cerdos.
- La adición de nopal a la dieta de los cerdos para abasto provoca un mejor aprovechamiento de nutrientes y reduce la deposición de grasa en el organismo, lo cual asegura menor cantidad de grasa dorsal y mayor magrez de la canal.
- La adición del nopal a la dieta de los cerdos para abasto es una alternativa nutricional para cualquier sistema de producción porcina puesto que, coadyuva a reducir los costos de producción sin afectar el crecimiento y la calidad organoléptica de la canal de los cerdos.

8. LITERATURA CITADA

- Aguilar Pérez, C. (2010). Producción y calidad de leche y carne en sistemas silvopastoriles. In *II Congreso sobre Sistemas Silvopastoriles Intensivos* (Vol. 8, No. 9).
- Alarcón Martínez, A. N. E. L., Ayala Ortega, M. Y. R. N. A., Dueñez Alanís, J. O. S. E., & Pérez Romero, L. U. I. S. (2015). Degradación de la proteína mediante digestibilidad in-vitro de alimento para cerdas lactantes con 10% y 20% de desperdicio deshidratado de comedero.
- Alianiello, C., & Aldo, F. (2002). *Evaluación de tres dietas para cerdos en crecimiento* (Bachelor's thesis, Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana, 2014.).
- Almaguel, R. E. (2011). Utilización del ensilaje artesanal de yuca como fuente energética en dietas para cerdos de engorde. *Livestock Research for Rural Development*, , vol. 23, no 1.
- Almaguel, R. E. (2010). Comportamiento productivo de cerdos en crecimiento ceba alimentados con ensilado enriquecido de yuca (*Manihot esculenta* Crantz). *Revista Computadorizada de Producción Porcina*, 2010, vol. 17, no 3, p. 247-252.
- Araque, H., & Porcinos, L. S. (2009). Sistema de producción de cerdos. *Universidad central de Venezuela. Campus Maracay, Facultad de Agronomía. Instituto y Departamento de producción animal. Venezuela.*
- Bagnis, G., Rabaglino, M. B., Raviolo, J. M., & Schleef, N. (2006). Estudio histopatológico, etiológico e inmunohistoquímico de lesiones compatibles con neumonías intersticiales en el ganado porcino. *Revista Electrónica de Veterinaria REDVET*, 7(09).
- 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
- Berruecos, J. M. (1972). Análisis de la variación genética y ambiental en una población de cerdos cruzados: II. Índices de herencia. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 1(25), 15.
- Bártoli, F. J. (2010). Factores que afectan la conversión alimenticia en cerdos. *Informe de actualización técnica. EEA Marcos Juárez*, (20).
- Barzay, J. M. S., Soares, R. T. R. N., Souza, J. C. D., Nery, V. H., & Ferreira, R. A. (2010). Probiótico y prebiótico en la alimentación de cerdos en crecimiento y terminación. *Archivos de zootecnia*, 55(211), 305-308.
- Bauza, R. (2011). Evaluación de dietas para cerdos en recría incluyendo forraje y suero de queso. *Revista Argentina de Producción Animal*, 2014, vol. 25, no 1-2, p. 11-18.

- Bauza, R., González, A., Panissa, G., Petrocelli, H., & Miller, V. (2014). Evaluación de dietas para cerdos en recría incluyendo forraje y suero de queso. *Revista Argentina de Producción Animal*, 25(1-2), 11-18.
- Beyli, M. E., Brunori, J., Campagna, D., Cottura, G., Crespo, D., Denegri, D., ... & Giovannini, F. (2012). Buenas prácticas pecuarias (BPP) para la producción y comercialización porcina familiar. *Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)*, 19-33.
- Bobadilla Soto, E. E., Espinoza Ortega, A., & Martínez Castañeda, F. E. (2010). Dinámica de la producción porcina en México de 1980 a 2008. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 1(3), 251-268.
- Bote, C. L., Isabel, B., & Rey, A. I. (1999). Efecto de la nutrición y del manejo sobre la calidad de la grasa en el cerdo. *Avances en nutrición y alimentación animal*, 223-252.
- Braña, V. D., Ramírez, R. E., Rubio, L. M. S., Sánchez, E. A., Torrescano, U. G., Arenas, M. M. L., ... & Ríos, R. F. G. (2011). Manual de análisis de calidad en muestras de carne. *Centro Nacional de Investigación. Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal. Folleto técnico*, (11).
- Campabadal, C. (2009). Guía técnica para alimentación de cerdos. *Costa Rica: Asociación Americana de Soya-IM*.
- Castillo, R. G., Gumecindo, J. V., Reza, R. M., Garza, J. R. K., & Chavira, J. S. (2006). Metabolitos en suero sanguíneo de cerdos alimentados con dietas suplementadas con Cromo-L-metionina. *Mesoamerican Agronomy*, 17(2), 161-165.
- Camacho Rea, M. D. C., Arechavaleta Velasco, M. E., Braña Varela, D., & Ramírez Ramírez, F. J. (2013). Factores genéticos que influyen en la calidad de la carne de cerdo.
- Campion, D. S. (2013). Calidad de la carne porcina según el sistema de producción. *Trabajo Final de Ingeniería en Producción Agropecuaria. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Católica Argentina*.
- Cerdeño, Víctor J. Martín. (2010). Consumo de carne y productos cárnicos. *Distribución y consumo*, vol. 20, no 111, p. 5-23.
- Chaves-Chavarría, A., Vargas-Umaña, M., Schosinsky-Neveermann, K., & Jiménez-Díaz, M. (1997). Evaluación de un método enzimático colorimétrico para la cuantificación de colesterol sérico. *Revista Costarricense de Ciencias Médicas*, 18(1), 30-43.
- Cerdeño, M. V. J. (2010). Consumo de carne y productos cárnicos. *Distribución y consumo*, (111), 5-23.

- Coppo, N. B., Coppo, J. A., & Lazarte, M. A. (2016). Intervalos de confianza para colesterol ligado a lipoproteínas de alta y baja densidad en suero de bovinos, equinos, porcinos y caninos. *Revista Veterinaria*, 14(1), 3-10.
- 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. *Nutrition Hospitalaria*, 26(5): 1052-1058
- Del Greco, N. (2010). Estudio sobre tendencias de consumo de alimentos. *Primera parte-Generalidades y casos. Datos relevantes para la toma de decisiones en la Agroindustria de Alimentos y Bebidas*.
- Delgado Suárez, E. J., Rubio-Lozano, M. S., Toledo-López, V. M., Torrescano-Urrutia, G. R., Ponce-Alquicira, E., & Huerta-Leidenz, N. (2016). Quality traits of pork semimembranosus and triceps brachii muscles sourced from the United States and Mexico. *Meat Science*, 122, 125-131.
- De la Fuente Salcido, N. M., & Corona, J. E. B. (2010). Inocuidad y bioconservación de alimentos. *Acta universitaria*, 20(1), 43-52.
- De Moura, R. S., Saliba, E. O. S., Almeida, F. Q., Lana, A. M. Q., Moreira, D. C. A., Silva, V. P., ... & Rezende, A. S. C. (2011). Digestibilidad aparente de dietas con probióticos o fitasa para potros Mangalarga Marchador. *Archivos de zootecnia*, 60(230), 193-203.
- 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.
- De la Torre, P. M., & Fuentetaja, A. (2010). Efecto del perfil genético, del sexo, del peso al sacrificio y de la alimentación sobre la productividad y la calidad de la canal y de la carne de cerdos grasos. In *Avances en nutrición y alimentación animal: XVI*.
- 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.
- Etherton, T.D. (2009) ASAS Centennial Paper: Animal growth and development research: Historical perspectives. *J. Anim Sci*, 89(9): 3060-3064.
- Eyzaguirre, José Roger. (2008). Obtención y purificación de la manteca de cerdo: diseño y formulación de bases dermocosméticas para la incorporación de extractos vegetales.
- Feliciano Alfonso, J. E., Mendivil, C. O., Ariza, I. D. S., & Pérez, C. E. (2010). Cardiovascular risk factors and metabolic syndrome in a population of young students from the National University of Colombia. *Revista Da Associacao Medica Brasileira*, 56(3), 293-298.

- Fernández, P., Teutsch, P., Maldonado, M. J., Moreno-Montañés, J., Rodríguez, J. A., & García-Layana, A. (2001). cambios ultraestructurales del epitelio pigmentado retiniano en cerdos alimentados con una dieta rica en grasas ultrastructural changes of the retinal pigment epithelium in pigs fed a fat rich diet.
- Financiera Nacional de Desarrollo Agropecuario, Rural, Forestal y Pesquero (FND). Secretaria de Hacienda y Crédito Publico (SHCP). (2014). Panorama Porcino. México. P.p 1-4
- Flores, A. I. S., Landín, G. M., Rosales, S. G., & Ibargüengoytia, J. A. C. (2012). Efecto de la adición de enzimas fibrolíticas y una fitasa para cerdos en crecimiento sobre la digestibilidad de nutrientes. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 47(1), 1-14.
- 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.
- Foxcroft, L. (2012). *Calories and Corsets: a history of dieting over two thousand years*. Profile books.
- Garavito, A., & Puerta, G. I. (2000). *Utilización del mucílago de café en la alimentación de cerdos*.
- García Castillo, Ramón F. (2010). Efecto de la suplementación de lisina sobre la ganancia de peso y características cárnicas y de la canal en cerdos en iniciación. *Revista Científica*, vol. 20, no 001.
- García, R., Ramírez, J. F., Lara, L. M., Salinas, J., Valdéz, A., Hernández, J. D., & Kawas, J. R. (2011). Efecto de la suplementacion de fitasa en dietas para cerdos en engorde. *Revista Computadorizada de Producción Porcina Volumen*, 18(3).
- García-Contreras, A. C., Ortega, Y. D. L., Yagüe, A. P., González, J. G., & Artiga, C. G. (2012). Alimentación práctica del cerdo. *Revista Complutense de Ciencias Veterinarias*, 6(1), 21-50.
- Garitano, I., Liébana, C., de Vargas, E. F., Daza, A., & Bote, C. L. (2012). Efecto de la sustitución del pienso convencional por cebada granulada, durante el periodo de acabado, sobre los resultados productivos, calidad de la canal, de la carne y de la grasa intramuscular de cerdos destinados a la producción de jamón de Teruel. *Información Técnica Económica Agraria*, 108(3), 241-255.
- Giraldo, Carmona, J., Narváez-Solarte, W., & Díaz-López, E. (2015). Probióticos en cerdos: Resultados contradictorios. *Revista Biosalud*, 14(1), 81-90.

- Gaxiola, H. R. G., Rubio, J. A. R., Valdez, J. M. R., Acosta, H. R., López, J. M. U., Camacho, S. A. F., ... & Camacho, S. M. G. (2011). Efecto de la adición de cromo a la dieta en el desempeño productivo y características de la canal del cerdo en crecimiento-finalización. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 12(3), 1-11.
- Gómez Alamilla, R. E. N. A. N., & Moreno Avalos, M. S. (2011). Efecto del uso de ractopamina en cerdos
- Gómez, H. J., Aguirre, D., & Ramírez, C. (2009). Caracterización de bacterias probióticas aisladas del intestino grueso de cerdos como alternativa al uso de antibióticos. *Revista MVZ Córdoba*, 14(2), 1723-1735.
- Gómez, A. R., Mendoza, V. G. P., Uribe, A. B., Cardona, H. J. C., & Ibarguengoytia, J. A. C. (2012). Pasta de canola como suplemento proteico en dietas para la finalización de cerdos. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 39(3).
- González-Chávez, A., Simental-Mendía, L. E., & Elizondo-Argueta, S. (2011). Relación triglicéridos/colesterol-HDL elevada y resistencia a la insulina. *Cirugía y Cirujanos*, 79(2).
- Guevara, J. C. A. (2009). Efectos biofuncionales del Nopal y la Tuna. *Horticultura internacional*, (71), 18-19.
- Gutiérrez, J. P. (2013). Clasificación socioeconómica de los hogares en la ENSANUT 2012. *salud pública de México*, 55, S341-S346.
- Guzmán Loayza, D., & Chávez, J. (2007). Estudio bromatológico del cladodio del nopal (*Opuntia ficus-indica*) para el consumo humano. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 73(1), 41-45.
- 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.
- 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
- 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
- Harris, K. B., Cross, H. R., Pond, W. G., & Mersmann, H. J. (2003). Effect of dietary fat and cholesterol level on tissue cholesterol concentrations of growing pigs selected for high or low serum cholesterol. *Journal of animal science*, 71(4), 807-810.
- INEGI, (2010). Inventario nacional de las emisiones de gases de efecto invernadero 1990-2010. En colaboración con Conde, L.; Salas, G.; Centeno, S.; Aviña, F.; Escalona, V.; Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), Global Environment Facility (GEF) y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). México.

- 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.
- Medel, P., & Fuentetaja, A. (2001). Efecto del perfil genético, del sexo, del peso al sacrificio y de la alimentación sobre la productividad y la calidad de la canal y de la carne de cerdos grasos. *Factores que afectan en la producción de cerdo graso. XVI Curso de Especialización FEDNA. Madrid, España.*
- Mendoza, G. T., Franco, L. S., Correa, J. C. S., Acosta, F. T., & Ricalde, R. H. S. (2012). Comportamiento productivo, características de la canal y peso del tracto gastrointestinal de cerdos alimentados con aceite de palma africana (*Elaeis guineensis*). *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 42(2), 181-192.
- Molina, M. R., Esquivel Valverde, V. J., Brenes, G., Bendaña, R. A., González, G., ... & VE Jarquín, R. (2007). *Alimentación de los animales monogástricos: cerdo, conejo, aves* / *l'alimentation des animaux monogastriques: porc, lapin, volailles* (No. 636.085 F811). Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial, Guatemala (Guatemala) Asociación Nacional del Café, Guatemala (Guatemala) Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Guatemala (Guatemala).
- 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 of animal science*, 92(4), 1512-1523.
- Monteiro, A. N. T. R., Bertol, T. M., de Oliveira, P. A. V., Dourmad, J. Y., Coldebella, A., & Kessler, A. M. (2017). The impact of feeding growing-finishing pigs with reduced dietary protein levels on performance, carcass traits, meat quality and environmental impacts. *Livestock Science*, 198, 162-169.
- 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.
- Morel, P.C.H., Sirisatien, D., Wood, G.R. 2012. Effect of pig type, costs and prices, and dietary restraint on dietary nutrient specification for maximum profitability in grower-finisher pig herds: A theoretical approach. *Livestock science* 148:255-267.
- Moyano Bautista, Mónica Andrea. (2014). Fermentación en estado sólido (fes) de la papa (*Solanum Tuberosum*), como alternativa tecnológica para la alimentación animal.
- 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. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*. 5, 139-144
- NOM-033-ZOO-1995. Norma Oficial Mexicana para el Sacrificio humanitario de los animales domésticos y silvestres.
- Nos, R. N., & Andreu, J. P. 2005. El consumo de proteínas animales en Barcelona entre las décadas de 1830 y 1930: evolución y factores condicionantes. *Investigaciones de Historia Económica*, 1(3), 101-134.
- 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.
- Lázaro, C. A. (2005). *Efecto de la inclusión de probióticos en el alimento de marranas antes del parto y durante la lactación sobre los parámetros productivos en lechones lactantes* (Doctoral dissertation, Tesis de Médico Veterinario. Facultad de Medicina Veterinaria, Univ. Nacional Mayor de San Marcos. Lima).
- Llanos, R. R., & Tapia, E. A. (2013). Desempeño productivo de cerdos inmunizados contra *Mycoplasma hyopneumoniae* y *Circovirus Porcino Tipo2* (PCV2).
- 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
- Littell, C.R., Stroup, W.W., Freund, J.R. (2002). SAS® for Linear Models, Fourth Edition. Cary, NC: SAS Institute Inc. USA. 191-194.
- 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
- López, Espinoza, A., & Martínez, H. (1999). Efectos de dos programas de privación parcial sobre el peso corporal y el consumo total de agua y comida en ratas. *Acta Comportamentalia: Revista Latina de Análisis del Comportamiento*, 9(1).
- Londoño, A., & Alexandra, M. (2013). Uso de probióticos en la nutrición de monogástricos como alternativa para mejorar un sistema de producción.
- Horwitz, W. (2016). *Instructions for inserting: Official methods of analysis of AOAC International*. AOAC internacional.

- Ocampo-Durán, Á. (2010). Comportamiento de Cerdos de Engorde en un Sistema de Cama Profunda Utilizando Racimos Vacíos de Palma de Aceite *Elaeis guineensis* Jacq. *Orinoquia*, 14(2), 147-159.
- 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., 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. Sochipa. A.G. que se llevó acabo del 9 al 13 de noviembre en Puerto Varas Chile.
- Padilla, J. A., Portilla, F. J., Salazar, J., Parejo, J. C., Martínez-Trancón, M., Rabasco, A., ... & Hernández-García, F. I. (2010). Detección múltiple de SNPs relacionados con crecimiento y calidad de carne en porcino. *Archivos de zootecnia*, 59(226), 233-244.
- Perdigón, Pedro Lezcano. (2015) Yuca ensilada como fuente de energía para cerdos en crecimiento. *Avances en Investigación Agropecuaria*, p. 41-47.
- Pérez, J. R. (2016). Panorama agroalimentario Carne de Porcino. *Edición FIRA. Colombia*.
- 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*.
- Pérez Canal, J. A. (2010). Posibles tendencias para el comportamiento de los consumidores y la distribución. *Distribución y consumo*, (111), 36-38.
- Pérez, S. L., & Suescún, J. P. (2015). efecto de la adición de cepas probióticas sobre metabolitos sanguíneos en cerdos en crecimiento. *Revista Mexicana de ciencias biológicas*,. 13(2).
- 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.
- Pinelli-Saavedra, A., Acedo-Félix, E., & Hernández-López, J. E. Manual de Buenas Prácticas de Producción en Granjas Porcícolas. (2004). *SENASICA-CIAD. México*.
- Prada, Ospina, Ricardo. (2012). Alternativa de aprovechamiento eficiente de residuos biodegradables: el caso del almidón residual derivado de la

- industrialización de la papa Bogotá, 180-192. *Revista EAN*, no 72, p. 182-192.
- Quiles, S. A. (2005). Efecto de las micotoxinas en la producción porcina. *Salud y Cría*, 1(2), 42-49.
- Ramón, A. J., Romero, F. L., & Simanca, J. (2013). Diseño de un biodigestor de canecas en serie para obtener gas metano y fertilizantes a partir de la fermentación de excrementos de cerdo. *Revista Ambiental agua, aire y suelo*, 1(1).
- Ravindran, V. (2010). Aditivos en alimentación animal: presente y futuro. *FEDNA*, 26, 3-26.
- Rebollar Alfredo. (2010). Crecimiento y especialización regional del sector pecuario en México, 1994 a 2013. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, vol. 7, no 3, p. 391-40
- Rebollar Rebollar, S., Gómez-Tenorio, G., Callejas-Juárez, N., Guzmán-Soria, E., & Hernández-Martínez, J. (2014). Óptimos técnicos y económicos en cortes de carne de cerdo en dos regiones de México. *Agronomía Mesoamericana*, 25(1).
- Reyes, I., Figueroa, J. L., Cobos, M. A., Sánchez-Torres, M. T., Zamora, V., & Cordero, J. L. (2012). Probiótico (*Enterococcus faecium*) adicionado a dietas estándar y con baja proteína para cerdos. *Archivos de zootecnia*, 61(236), 589-598.
- Rico, D., Colina, J., Araque, H., Rossini, M., Rueda, E., & León, M. (2009) Comportamiento productivo de cerdos en crecimiento alimentados con harina integral de pijiguao (alimentados con harina integral de pijiguao (*Bactris gasipaes* *Bactris gasipaes* HBK) y lisina.
- Ricalde, R. H. S., Lizama, W. T., & Hernández, W. O. (2011). Rendimiento de la canal y desarrollo de los órganos torácicos y abdominales de los 25 a los 45 kg en cerdos criollos pelones. *Revista Científica*, 21(5).
- Rivero, J. C., Molina, H. A., Timaure, N. J., & Barreto, D. R. (2010). Crecimiento y características de la canal de cerdos en engorde alimentados con harina de pijiguao (*Bactris gasipaes* HBK) y lisina. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 27(2).
- Rodríguez, Licea, G., & del Moral, L. E. (2010). Perspectivas del sector porcícola mexicano para 2010: recuperación de los efectos de la crisis económica y de la influenza (A) H1/N1. *Revista Trimestral de Análisis de Coyuntura Económica*, 3(2).
- Rojo Gómez, A., Pérez Mendoza, V. G., Bayardo Uribe, A., Correa Cardona, H. J., & Cuarón Ibarquengoytia, J. A. (2010). Pasta de canola como suplemento proteico en dietas para la finalización de cerdos. *Técnica Pecuaria en México*, 39(3).

- Ruíz-Sesma, B., Belmar-Casso, F. R., Mendoza-Nazar, P., Rivera-Lorca, J. A., Trejo-Lizama, W., Herrera-Haro, J. G., ... & Pérez-Sato, M. (2009). Evaluación del frijol terciopelo (*Stizolobium deeringianum*) remojado, en dietas para cerdos en crecimiento. *Universidad y ciencia*, 25(2), 141-150.
- Saavedra, A. P., del Carmen García, A., Ortega, G. D. L., Yagüe, A. P., Roberto, M. C., Devessi, B., & Sanchez, M. Y. P. (2004). Manejo de alimentación y agua.
- Sánchez, Torres, E., Barrera-Silva, M., Cervantes-Ramírez, M., Morales-Trejo, A., Landero-Viera, J. L., Araiza-Piña, B., & Yáñez-Hernández, J. 2011. Digestibilidad de proteína, aminoácidos, fósforo, calcio y energía en dietas sorgo-pasta de soya adicionadas con fitasa en cerdos jóvenes. *Agrociencia*, 45(3), 315-324.
- Samsing, M. S. (2011). *Engorde de cerdos a base de promotores de crecimiento orgánicos y químicos en el cantón Santo Domingo*. Quevedo (Bachelor's thesis, Quevedo: UTEQ).
- SAS. (2000) Statistical Analysis System. Institute Inc. North Caroline. USA.
- 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.
- Tepper, R., González, C., Figueroa, R., Araque, H., & Sulbarán, L. (2012). Efecto de la alimentación con recursos alternativos sobre la cría de cerdos en cama profunda. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 16(2), 23-33.
- Trómpiz, J., Ventura, M., Esparza, D., Del Villar, A., & Aguirre, J. (2010). Utilización de la harina de follaje de yuca (*Manihot esculenta crantz*) en cerdos en crecimiento. *Revista Científica*, 10(4).
- Torres A. (2011) Composición química del nopal y sus implicaciones en la nutrición de rumiante s. *Rev Salu Públ Nutr*, 5: 143-151
- Vadell, A. (2009). Producción de cerdos a campo en un sistema de mínimos costos. *V Encuentro sobre Nutrición y Producción de Animales Monogástricos*. Maracay. Venezuela, 54-67.
- Valdez-C, R. D., Blanco-Macías, F., Magallanes-Quintanar, R., Vázquez, Alvarado, R. E., & Reveles-Hernández, M. (2011). Avances en la Nutrición del Nopal en México. *Memorias del VIII Simposium-Taller Nacional y 1º Internacional "Producción y Aprovechamiento del Nopal"*. Universidad Autónoma de Nuevo León. México.
- Villela, A. (2014). Digestión y absorción de los lípidos. *Diplomado en grasas y aceites en la nutrición humana*.

Tesis: "Efecto de la adición del nopal (*O. ficus-indica*) a la dieta de cerdos de 20-100 kg sobre glucosa sanguínea, triglicéridos, lipoproteínas de alta (HDL) y baja (LDL) densidad y su relación con calidad de la canal"

Vela Girón, Á. M. (2012). *Efecto de la Inmunocastración y Castración Quirúrgica en los Parámetros Productivos de Cerdos* (Bachelor's thesis).

Yin, Y., Yao, K., Liu, Z., Gong, M., Ruan, Z., Deng, D., ... y Wu, G. (2010). El suplemento de L-leucina a una dieta baja en proteínas aumenta la síntesis de proteína tisular en cerdos destetados. *Aminoácidos* ,