



---

---

**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO**

**FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA**

**TESIS**

**EFFECTO DE LA ADICIÓN DE NOPAL (*Opuntia ficus-indica*) A LA  
DIETA DE CERDOS PARA ABASTO (20-100 kg de peso vivo) SOBRE  
LA MORFOMETRÍA E HISTOLOGÍA INTESTINAL.**

**Que presenta:**

**PMVZ. Dulce Alicia Galíndez Espinosa**

**Para obtener el Título de Médico Veterinario Zootecnista**

**Julio, Morelia, Michoacán 2018**





---

---

**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO**

**FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA**

**TESIS**

**EFFECTO DE LA ADICIÓN DE NOPAL (*Opuntia ficus-indica*) A LA  
DIETA DE CERDOS PARA ABASTO (20-100 kg de peso vivo) SOBRE  
LA MORFOMETRÍA E HISTOLOGÍA INTESTINAL.**

**Que Presenta:**

**PMVZ. Dulce Alicia Galíndez Espinosa**

**Para obtener el Título de Médico Veterinario Zootecnista**

**Asesor de Tesis: MC. Ruy Ortiz Rodríguez**

**Co-asesor de Tesis: Dr. Gerardo Ordaz Ochoa**

**Julio, Morelia, Michoacán 2018**



---

---

## **DEDICATORIA**

*A Ian Emiliano*

*Recuerda que un título no te definirá como persona, lo que te definirá será el carácter, la perseverancia y el esfuerzo para concluir lo que te propongas.*

## **AGRADECIMIENTOS**

*A mis Padres, Hildelisa Yolanda Espinosa Ramos y Pedro Galíndez Mundo por su amor, comprensión, apoyo, por enseñarme a estar de pie y afrontar cualquier adversidad que me ponga la vida y, sobre todo, por haberme dado lo mejor que un hijo puede tener, a mis hermanas y habernos enseñado a ser siempre unidas y apoyarnos. Y ¡Felicidades! sé que no es fácil sacar adelante a tres hijas y nunca rendirse, por eso, estaré eternamente agradecida.*

*A mis hermanas, Deyli Anaid y Daniela Galíndez Espinosa, por ser mis pilares y modelos de vida, por enseñarme todo lo bueno y lo malo, abrirme camino, estar siempre presentes, nunca dejarme caer y a que inconscientemente, siempre han logrado que me esfuerce más cada día de mi vida para parecerme a ellas. A Ian García Dávila por siempre hacerme poner mis pies en la tierra y hacerme crecer con cada uno de sus consejos y a Ramiro Niño Pantoja por creer en mí y siempre tenerme fe.*

*A Carmina Livier Sandoval Román, por enseñarme que uno puede lograr todo lo que se proponga, por ser mi persona, por siempre apoyarme en todas mis decisiones, por crecer conmigo y sobre todo*  
*Gracias por confiar en mí.*

*A mi Asesor MC. Ruy Ortiz Rodríguez por su paciencia y comprensión en mi formación como Médico Veterinario Zootecnista y en la realización de esta tesis, sobre todo porque se lo difícil que puede ser enseñar a alumnos como yo, y aunque él probablemente no lo recuerde, nunca olvidaré las palabras de aliento que me ofreció en momentos difíciles: “Lo que sea que te haya pasado, que nunca te robe esa personalidad y esa luz que tienes”. ¡Gracias Doc!*

---

---

---

---

## AGRADECIMIENTOS

*A mis profesores y sinodales MC. Manuel López Rodríguez y MC. Víctor Manuel Sánchez Parra por sus enseñanzas y paciencia en mi formación profesional como Médico Veterinario Zootecnista y en la realización de esta tesis.*

*A mis profesores de la universidad MC. Darwin Cabrera Jiménez y MVZ. José Farías Mendoza por alentarme a seguir estudiando y exigirme a ser una mejor estudiante en mi formación como Médico Veterinario Zootecnista.*

*A mi co-asesor Dr. Gerardo Ordaz Ochoa por sus consejos, paciencia y apoyo en la realización de mi tesis. Al Dr. Héctor Eduardo Martínez Flores por permitirme realizar los análisis de mi tesis en el Laboratorio de Investigación y Desarrollo de Alimentos de la Facultad de Químico Farmacobiología*

*A mis amigos de la carrera Claudia Arreola, Lilitiana García, Sandra Rodríguez, Perla Sánchez, Daniela Moreno, Armando Flores y Elías Lemus por su amistad, haberme dado experiencias únicas y por ser un apoyo en mi formación personal y profesional.*

*A Paola Ramírez, Ernesto Lemus e Isai Pérez, gracias por su amistad, por escucharme, ayudarme o hacerme bullying, así como hacerme reír en esos momentos de estrés y frustración. Y a Lauro Antonio Sánchez, Betania Gaytán y Alejandro Orozco por sus consejos y apoyo en la realización de esta tesis.*

*A la Familia Román Aragón por siempre abrirme las puertas de su hogar, y hacerme sentir como un miembro más de su familia, por todo su cariño y comprensión. Los quiero.*

*A todos mis amigos y compañeros de la universidad (Hiram, Anahí, Cele, Maharba, Fer, Mau), y a los que conocí fuera de ella, por haberme acompañado en mi formación y que de alguna manera me apoyaron en algún momento.*

*Y a todas las personas que vieron mi proceso de realización de tesis, y que en el algún momento me dieron palabras de aliento para seguir adelante con este proceso*

---

---



## INDICE

	<b>Pag.</b>
<b>RESUMEN</b>	
<b>ABSTRAC</b>	
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	1-3
<b>2. ANTECEDENTES</b>	4
2.1. <i>Situación actual de la porcicultura en México</i>	4,5
2.1.1. <i>Situación actual de la porcicultura en Michoacán</i>	5,6
2.1.2. <i>Problemáticas de la producción porcina mexicana</i>	6,7
2.2. <i>Factores no alimenticios que condicionan la productividad en cerdos en la etapa 20-100 kg</i>	7, 8
2.3. <i>Alimentación en cerdos de acuerdo a la etapa 20-100 kg</i>	8,9
2.3.1. <i>Alimentación durante la Fase de Crecimiento (20-50 kg)</i>	9,10
2.3.2. <i>Alimentación durante la Fase de Finalización (50-100 kg)</i>	10,11
2.3.3. <i>Factores que influyen el consumo voluntario de alimento de cerdos en la etapa 20-100 kg</i>	11-13
2.3.4. <i>Utilización de insumos no convencionales en la etapa 20-100kg</i>	13-15
2.3.5. <i>Importancia de la adición de fibra a la dieta de los cerdos sobre la fisiología, metabolismo y salud intestinal</i>	15
2.3.5.1. <i>Definición, clasificación y propiedades físico-químicas de la fibra</i>	15-17
2.3.5.2. <i>Efectos de la fibra sobre la microbiota, fisiología y salud intestinal de los cerdos</i>	17-20
2.4. <i>Nopal (<i>Opuntia ficus-indica</i>) y sus características fisicoquímicas</i>	21,22
2.4.1. <i>Efectos biofuncionales del nopal</i>	22,24
2.4.2. <i>Utilización del Nopal en la producción porcina.</i>	24,25
<b>3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	26
<b>4. HIPOTESIS</b>	27
<b>5. OBJETIVOS</b>	27
5.1. <i>Objetivos Específicos</i>	27



---

<b>6. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	28
6.1. <i>Locación</i>	28
6.2. <i>Animales</i>	28
6.3. <i>Dietas y Análisis Bromatológico</i>	28-30
6.4. <i>Consumo Diario de Alimento</i>	30
6.5. <i>Ganancia Diaria de Peso</i>	30
6.6. <i>Conversión Alimenticia</i>	31
6.7. <i>Morfometría Intestinal</i>	31
6.8. <i>Histología Intestinal</i>	31,32
<b>7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	33-51
<b>8. CONCLUSIÓN</b>	52
<b>9. BIBLIOGRAFÍA</b>	53-65

---



<b>INDICE DE TABLAS Y FIGURAS.</b>	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1.</b> <i>Parámetros productivos y requerimientos nutricionales en la fase 20-50 kg de peso vivo.</i>	10
<b>Tabla 2.</b> <i>Parámetros productivos y requerimientos productivos en cerdos de 50-100 kg de peso vivo.</i>	11
<b>Tabla 3.</b> <i>Composición Nutricional de Nopal (<i>Opuntia ficus indica</i>), dieta control (Grupo Control) y dieta experimental (Grupo Experimental) en fases 20-50 kg y 50- 100 kg.</i>	29
<b>Tabla 4.</b> <i>Análisis de varianza para el peso (Kg) de los cerdos durante las fases 20-50 kg. y 50-100 kg.</i>	33
<b>Tabla 5.</b> <i>Análisis de varianza para consumo de alimento (kg) día<sup>-1</sup> (CAD) de los cerdos durante las Fases 20-50 kg y 50-100 kg.</i>	37
<b>Tabla 6.</b> <i>Media de Mínimos Cuadrados para el Consumo de Alimento (kg) día<sup>-1</sup> (CAD) de los cerdos de acuerdo con el grupo y la Fase.</i>	38
<b>Tabla 7.</b> <i>Análisis de Varianza de Ganancia Diaria de Peso (Kg) de los cerdos las fases 20-50 kg y 50-100 kg.</i>	41
<b>Tabla 8.</b> <i>Media de Mínimos Cuadrados para Ganancia (kg) Diaria de Peso (GDP) de los cerdos de acuerdo con el Grupo y Fase.</i>	42
<b>Tabla 9.</b> <i>Media de Mínimos Cuadrados para la Conversión Alimenticia de los cerdos de acuerdo al grupo y fase.</i>	43
<b>Tabla 10.</b> <i>Análisis de varianza para peso y longitud del Intestino Delgado y Grueso de acuerdo al grupo.</i>	46
<b>Tabla 11.</b> <i>Media de Mínimos Cuadrados para parámetros de morfometría e histología intestinal cerdo<sup>-1</sup> grupo<sup>-1</sup>.</i>	47
<b>Figura 1.</b> <i>Sistema metabólico de control del consumo voluntario de los cerdos.</i>	13
<b>Figura 2.</b> <i>Clasificación de los componentes de la fibra dietaría.</i>	17
<b>Figura 3.</b> <i>Efectos de la fibra dietaría sobre la fisiología gastrointestinal del cerdo.</i>	20
<b>Figura 4.</b> <i>Efectos biofuncionales del nopal en el organismo del cerdo.</i>	24
<b>Figura 5.</b> <i>Pesos promedio de los cerdos de acuerdo con el grupo, Fase de producción y Edad (semana) de los mismos</i>	34
<b>Figura 6.</b> <i>Longitud de las vellosidades intestinales de los cerdos en porción duodeno.</i>	48
<b>Figura 7.</b> <i>Longitud de las vellosidades intestinales de los cerdos en porción yeyuno.</i>	49
<b>Figura 8.</b> <i>Longitud de las vellosidades intestinales de los cerdos en porción ciego.</i>	50
<b>Figura 9.</b> <i>Longitud de las vellosidades intestinales de los cerdos en porción colon.</i>	51



## RESUMEN

Se determinó el efecto de la adición del 1% de nopal (*Opuntia ficus-indica*) a la dieta convencional de cerdos para abasto de 20-100 kg de peso vivo (PV) sobre la morfometría e histología intestinal. Se seleccionaron al azar 46 cerdos (Yorkshire x Landrace x Pietrain) de  $22.8 \pm 2.14$  kg de PV, con los cuales se formaron dos grupos: Grupo Control o G1 (23 cerdos) y Grupo Experimental o G2 (23 cerdos). Los cuales se monitorearon durante las Fases de 20-50 y 50-100 kg de PV. Ambos grupos recibieron una dieta convencional; y con respecto al G2, se adicionó el 1% de *O. ficus-indica* (con respecto al PV cerdo<sup>-1</sup>) a la dieta convencional. En cada cerdo se evaluó: consumo diario de alimento (CAD), ganancia diaria de peso (GDP), conversión alimenticia (CA), morfometría intestinal (longitud y peso del intestino delgado y grueso) e histología intestinal (longitud de las vellosidades intestinales) (LVI). Se encontró efecto de Grupo ( $P < 0.0001$ ) sobre el CAD, siendo mejor el del G2 (2.300 kg cerdo<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>) vs G1 (2.791 kg cerdo<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>). La CA fue afectada por el Grupo ( $P = 0.001$ ): en G2 la conversión fue de 3.1:1 kg/kg vs 3.9:1 kg/kg en G1. En el peso del intestino delgado (PID) y grueso (PIG) se encontró mayor peso ( $P < 0.05$ ) en cerdos del G2: 2.4 kg para PID y 2.5 para PIG vs 2.1 y 2.1 kg para PID y PIG, respectivamente en el G1. En cuanto a la longitud del intestino delgado (LID) y grueso (LIG), se encontró 19.0 y 5.5 kg para LID y LIG, respectivamente en el G1. Mientras que en G2, los valores fueron 18.8 m para LID y 4.9 m para LIG. Únicamente se observó diferencia ( $P < 0.05$ ) entre grupos: G2 presentó mayor ( $P < 0.05$ ) LVI cerdo<sup>-1</sup> (2265.05  $\mu\text{m}$ ) vs 1853.02  $\mu\text{m}$  en G1. El mismo comportamiento se encontró en LVI: G2 mostró mayor ( $P < 0.05$ ) LVI en duodeno, ciego y colon vs G1. La adición del 1% de nopal (de acuerdo al PV de los cerdos) a la dieta convencional de cerdos para abasto de 20-100 kg genera cambios en la morfometría e histología intestinal; lo que provoca un incremento en la absorción de los nutrientes contenidos en el bolo alimenticio.

**Palabras clave:** Alimentación, Fibra, Consumo de Alimento, Tracto Gastrointestinal, Vellosidades intestinales



## ABSTRAC

The effect of the addition of 1% cladode of cactus (*Opuntia ficus-indica*) to the conventional diet of fattening pigs from 20 to 100 kg of body weight on intestinal morphometry and histology was determined. Forty-six pigs (Yorkshire x Landrace x Pietrain) of  $22.8 \pm 2.14$  kg were randomly selected, with which two groups were formed: Control Group or G1 (23 pigs) and Experimental Group or G2 (23 pigs). Which were monitored during the Phases 20-50 and 50-100 kg of BW. Both groups received a conventional diet, and respect with G2 it was added 1% cladodes of *O. ficus indica* (with respect to BW pig<sup>-1</sup>). In each pig was evaluated: daily feed intake (DFI), daily weight gain (DWG), feed conversion ratio (FC), intestinal morphometry (length and weight of small and large intestine) and intestinal histology (length of intestinal villi) (LIV). It was found effect of Group ( $P < 0.0001$ ) on DFI, being better the G2 (2.300 kg pig<sup>-1</sup> day<sup>-1</sup>) vs G1 (2.791 kg pig<sup>-1</sup> day<sup>-1</sup>). FC was influenced by the Group ( $P = 0.001$ ): in G2 the conversion was 3.1:1 kg/kg vs 3.9:1 kg/kg in G1. In small intestine weight (SIW) and large intestine weight (LIW) it was found greater weight ( $P < 0.05$ ) in the G2: 2.4 kg for SWI and 2.5 for LIW vs 2.1 and 2.1 kg to SIW and LIW, respectively in G1. As for the length of small intestine (LSI) and large intestine (LLI), it was found 19.0 and 5.5 kg for LSI and LLI, respectively in G2. Whereas in G2, the values were 18.8 m for LSI and 4.9 in LLI. Only it was observed differences ( $P < 0.05$ ) between groups on length of intestinal villi: G2 showed bigger ( $P < 0.05$ ) LIV pig<sup>-1</sup> (2265.05  $\mu$ m) vs 1853  $\mu$ m in G1. The same behavior where found in LVI: G2 showed bigger length ( $P < 0.05$ ) in duodenum, cecum and colon vs G1. The addition of 1% of Nopal (according to BW pig<sup>-1</sup>) to the conventional diet in fattening pigs from 20 to 100 kg generates changes in the morphometry and intestinal histology, which causes an increase in absorption of the nutrients in the food bolus

**Key words:** Feeding, Fiber, Daily Feed Intake, Gastrointestinal Tract, Intestinal Villi1.

---



## **INTRODUCCIÓN.**

El incremento en la demanda de carne de cerdo ( $19.0 \text{ kg persona}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) en México ha provocado un aumento en la producción de este producto (1.67 millones de toneladas en el 2017) en la última década (Villamar *et al.*, 2006; FIRA, 2017). Estos sistemas de producción porcina logran: un inventario de más de 19.8 millones de cabezas de ganado logrando mantener económicamente a dos millones de familias (FIRA, 2015). Este aumento en la demanda de carne de cerdo se debe a: i) menor precio en comparación con la carne de res:  $\$85.1^{\text{MN}}$  vs  $\$130.00^{\text{MN}} \text{ Kg}^{-1}$ , respectivamente; ii) mejora en la composición nutrimental de este tipo de carne: menor contenido de grasa y, iii) minimización de tabúes sobre el consumo de este producto (Celma, 2015; FIRA, 2017).

Con respecto a la producción de cerdos en el estado de Michoacán, este se mantiene en el 7° lugar nacional de producción con 44,934 toneladas de carne de canal a finales del 2017 (SIAP, 2017), el cual aporta el 3.3% de la producción nacional (SIAP, 2017). Sin embargo, los sistemas de producción porcina nacional, no son capaces de cubrir la demanda nacional de la carne de cerdo, principalmente por factores que limitan el desarrollo de la porcicultura mexicana, el más importante es la competencia con las importaciones (SAGARPA, 2010), debido a que, el precio de carne de cerdo importada está por debajo del precio nacional (Bobadilla *et al*, 2010).

Actualmente los retos por incrementar la productividad en el país se centran en: i) búsqueda de insumos alternativos nacionales para no depender del mercado extranjero, y ii) desarrollar estrategias enfocadas a incrementar la productividad para



reducir los costos de producción y competir globalmente (Martínez *et al.*, 2015; Alonso *et al.*, 2017). En dichas estrategias se debe considerar los factores no alimenticios y alimenticios puesto que presentan efecto(s) en la productividad de los cerdos en la etapa de engorda (20-100 Kg) (Alves *et al.*, 2009; Lindstrom *et al.*, 2016). Los factores nutricionales son más significativos debido a que la alimentación representa hasta el 80% de los costos de producción (DeRouchey *et al.*, 2007; García *et al.*, 2012; Andretta *et al.*, 2016) y dentro de este porcentaje, los costos de alimentación en la etapa de engorda (20-100 Kg) se encuentra entre el 75 al 80%; por ello la utilización eficiente del alimento, en esta etapa es clave para la rentabilidad del sistema.

Modular los esquemas nutricionales y alimenticios de los sistemas de producción no es una actividad fácil, puesto que hay factores internos y externos que inciden en la modificación constante de los requerimientos de la dieta, necesarios en la producción de cerdos (DeRouchey *et al.*, 2007; García *et al.*, 2012; Andretta *et al.*, 2016), y el consumo voluntario de alimento de los cerdos es uno de los factores y parámetros productivos más importantes, ya que representa un impacto significativo en la eficiencia productiva de los cerdos y económica de la producción. Por lo que controlar este parámetro es la forma directa para influir en la tasa de crecimiento, eficiencia alimenticia y calidad de la canal (Nyachoti *et al.*, 2004; Qingyun, 2016). Dentro de la alimentación de estos animales, las dietas convencionales a base de maíz-soya o sorgo-soya, independientemente del éxito que han tenido en la industria, han disminuido su utilización, debido a las fluctuaciones en el costo y disponibilidad de estos insumos. Aspectos que generan una fuerte dependencia de materias primas extranjeras (Argenti *et al.*, 2007; Estévez, 2016).



La dependencia y altos costos de las materias primas extranjeras ha obligado a los productores y a expertos en nutrición a investigar nuevas alternativas nutricionales que cumplan con los requerimientos nutricionales de los cerdos sin modificar el comportamiento de los indicadores productivos (Argenti *et al.*, 2007; Estévez, 2016). Dentro de estas estrategias se encuentra la adición de El nopal (*O. ficus-indica*) a la dieta de los cerdos en diferentes etapas productivas (Gaytán, 2017; Ortiz *et al.*, 2017; Ordaz *et al.*, 2017).

*O. ficus-indica*, es una cactácea endémica de México, (Hernández *et al.*, 2010; Kaur *et al.*, 2012; Nuñez *et al.*, 2013; Méndez, 2014; Hwan *et al.*, 2017) y es un recurso con un alto potencial agro tecnológico, que se utiliza en la industria alimenticia tanto humana y animal, ya que es una fuente importante de minerales (6-18%) como Calcio (2.01% u 18-57 mg/100 gr), (Hernández *et al.*, 2010; Chávez, 2012; Gutiérrez, 2012; Arroyo, 2014; Torres *et al.*, 2015), y presenta múltiples efectos biofuncionales que han sido previamente estudiados en el organismo de los animales y los humanos, los principales son: efecto hipoglucémico, hipocolesterolémico, antioxidante y con actividad prebiótica (Guevara, 2009; Hernández *et al.*, 2010; Kaur, *et al.*, 2012; Gutiérrez, 2012; Nuñez *et al.*, 2013; Hwan *et al.*, 2017). Sin embargo, es necesario evaluar la adición de esta cactácea a la dieta convencional de cerdos para abasto de 20-100 kg, específicamente su efecto sobre la morfometría e histología intestinal y su efecto sobre los parámetros productivos como CAD, GDP y CA.



## 2. ANTECEDENTES

### 2.1. Situación actual de la porcicultura en México

Durante la última década, el incremento en la demanda de carne de cerdo en el mercado nacional ha provocado un aumento en la producción de este producto (2.2% anual), de acuerdo a Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA) en México, pasando de 1.38 millones de toneladas en 2006 a 1.67 millones de toneladas en el 2016, y un preliminar de 1.43 millones de toneladas en el 2017 (Villamar *et al.*, 2006; FIRA, 2017). Los sistemas de producción porcina logran: un inventario de más de 19.8 millones de cabezas de ganado con lo que logran: mantener económicamente a dos millones de familias aproximadamente; generar 320 mil empleos directos y más de 1.7 millones de empleos indirectos (FIRA, 2015). La producción porcina mexicana está integrada desde la inseminación artificial hasta plantas de procesamiento de alimentos, instalaciones de sacrificio y tiendas de minorista para la venta del producto final (FIRA, 2017).

La producción porcina continúa creciendo debido al mejoramiento de la bioseguridad en granjas y la introducción de nuevas líneas genéticas con el objetivo de aumentar el número de lechones y aumentar el inventario general. Lo cual se refleja en el consumo nacional, que continúa creciendo, el cual se estableció en el 2016 con 2.03 millones de toneladas y un preliminar de 2.11 millones de toneladas en 2017. Este aumento en la demanda de carne de cerdo ( $19.0 \text{ kg persona}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) se debe a: i) menor precio en comparación con la carne de res:  $\$85.1^{\text{MN}}$  vs  $\$130.00^{\text{MN}} \text{ Kg}^{-1}$ , respectivamente; ii) mejora en la composición nutrimental de este tipo de carne: menor contenido de grasa



y, iii) minimización de tabúes sobre el consumo de este producto (Celma, 2015; FIRA, 2017).

Lo cual genera que las importaciones crezcan (800 mil toneladas), y posiciona a México en el 2° destino para exportaciones estadounidenses. En el 2016 se importaron 754.7 mil toneladas y se exportaron 105.0 mil toneladas, y los principales destinos de exportación mexicana son: Japón (73.3%), Corea del Sur (13.1%) y E.U.A. (9.2%), y el 2017 se estableció en 116.0 mil toneladas de exportación. El factor que favorece las exportaciones son las estrictas medidas de bioseguridad y tecnificación, que permiten a productores mexicanos a aumentar las exportaciones (FIRA, 2017).

### **2.1.1. Situación actual de la porcicultura en Michoacán**

La porcicultura en Michoacán genera más de 100 mil empleos fijos (equivalente al 8.6% de la participación económicamente activa del estado (Plan de Desarrollo Integral del Estado de Michoacán 2012-2015). La porcicultura en el estado se mantiene en el séptimo lugar nacional de producción con 44,934 toneladas de carne de canal a finales del 2017 (SIAP, 2017) y apenas un acumulado en marzo de 2018 de 3.675 toneladas de carne de canal (SIAP, 2018), la cual aporta el 3.3% de la producción nacional (SIAP, 2017). Aún, con la potencialidad del estado para esta actividad, no se alcanza la autosuficiencia de la producción ante el consumo debido a la falta de agregación de valor, lo que genera tener un mercado local y un bajo precio (Plan de Desarrollo Integral del Estado de Michoacán 2012-2015).



Michoacán cuenta con 758 mil 925 cabezas de ganado porcino, siendo los municipios de La Piedad, Zamora y Morelia, en donde se registra la mayor actividad productiva porcícola, y en el estado existen 35 mil 907 unidades de producción pecuaria de ganado porcino (SAGARPA, 2014). Así mismo las diferentes dependencias de gobierno del estado como la Secretaría de Desarrollo Rural y Agroalimentario (SEDRUA) han implementado programas para incrementar la porcicultura del estado, con el objetivo de impulsar e instalar un complejo agroindustrial que prevé general más de 12 mil empleos directos cuya meta es exportar poco más de 350 toneladas de carne hacia E.U.A., China y Japón, así como abrir mercado a Corea y Canadá. (SEDRUA, 2016).

### **2.1.2. Problemáticas de la producción porcina mexicana**

Los sistemas de producción porcina nacional no son capaces de cubrir la demanda nacional de la carne de cerdo; puesto que, aún existen factores que limitan el desarrollo de la porcicultura mexicana, entre ellos: la competencia con las importaciones (SAGARPA, 2010), debido a que, el precio de carne de cerdo importada está por debajo del precio nacional (Bobadilla *et al*, 2010). Durante el 2016 las importaciones de carne de cerdo alcanzaron la cifra de 754,700 toneladas (FIRA, 2017). Por lo que, para evitar la introducción de carne de cerdo al país es necesario mejorar aún más el estatus sanitario de la porcicultura en los diversos estados de México, y, ello solo se logrará con eficientes prácticas de inocuidad para incrementar los estándares sanitarios y el valor agregado al producto cárnico (Plan de Desarrollo Integral del Estado 2012-2015).



Aunado a lo descrito en el párrafo anterior, también se requiere que: la productividad de la cerda sea eficiente (lechones producidos cerda<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>), implementar estrategias nutricionales para minimizar los costos de producción y competir por los mercados nacionales ante la industria porcina internacional (Mejía *et al.*, 2007).

## **2.2. Factores no alimenticios que condicionan la productividad de cerdos en la etapa 20-100 kg**

Ante los retos por incrementar la productividad de las piaras del país actualmente las investigaciones se centran en: i) búsqueda de insumos alternativos nacionales para no depender del mercado extranjero, y ii) desarrollar estrategias enfocadas a incrementar la productividad para reducir los costos de producción y competir globalmente (Martínez *et al.*, 2015; Alonso *et al.*, 2017). Sin embargo, también se debe tomar en cuenta que, en dichas estrategias se debe considerar aspectos tales como la genética, ambiente, prácticas zootécnicas y sanidad, que se definen como los factores no alimenticios que presentan efecto/s sobre la productividad de los cerdos en la etapa de engorda (20-100 Kg) (Alves *et al.*, 2009; Lindstrom *et al.*, 2016).

Se consideran factores no alimenticios a aquellos que tienen relación con la nutrición, como lo son: genética y ambiente (Den Hartog *et al.*, 2005), por ejemplo, la relación nutrición-genética es la base para el rendimiento productivo del cerdo: prolificidad, crecimiento, magrez, precocidad, ganancia de peso, conversión alimenticia (Da Silva, 2013; Díaz, 2015; FIRA, 2016). Así mismo, la relación nutrición-genética-ambiente, es un factor clave para la producción, puesto que cada vez los animales se alejan de su estado de confort se afecta la expresión del potencial genético de los animales ya que



modifica su fisiología, mecanismos metabólicos y endocrinos obligando al animal a utilizar la energía proveniente del alimento para mantener su confort lo que afecta la prolificidad, ganancia de peso y conversión alimenticia; así como, ocasiona incremento o disminución del consumo de alimento e incremento de edad a sacrificio (Alves *et al.*, 2009; Bártoli, 2010; Van Hees, 2012; Da Silva, 2013; Forcada *et al.*, 2014; Lehotayová *et al.*, 2016).

Otro factor que impacta los indicadores productivos obtenidos a través de la nutrición es la sanidad, puesto que esta influye en cómo se aprovechen los nutrientes; dependiendo del sistema de bioseguridad, se pueden mejorar o disminuir los parámetros productivos de los cerdos y lo cerdos podrán o no, expresar su potencial genético y sus consecuencias, se reflejaran en los costos de producción (Van Hees, 2012; Pérez, 2013).

### **2.3. Alimentación en cerdos de acuerdo a la etapa 20-100 kg**

Los factores nutricionales en los sistemas de producción porcina son lo más significativos para la productividad y rentabilidad de estos; debido a que la alimentación representa hasta el 80% de los costos de producción (DeRouche *et al.*, 2007; García *et al.*, 2012; Andretta *et al.*, 2016) y dentro de este porcentaje, los costos de alimentación en la etapa de engorda (20-100 Kg) se encuentran entre el 75 al 80%; por ello la utilización eficiente del alimento, en esta etapa es clave en la rentabilidad del sistema; puesto que la reducción del consumo de alimento debido a un mayor aprovechamiento del mismo o a la obtención de canales de mayor calidad garantizan el valor agregado (Campabadal, 2009). No obstante, para modular los esquemas



nutricionales y alimenticios de los sistemas de producción se debe tener en cuenta los siguiente: genotipo, edad, consumo de alimento, absorción de nutrientes, tipo de sistema de producción, metas productivas. oferta-demanda, disponibilidad y costos de insumos y ambiente (DeRouchey *et al.*, 2007; García *et al.*, 2012; Andretta *et al.*, 2016).

La etapa de engorda (20-100 Kg) comienza cuando el sistema digestivo de los cerdos, es capaz de utilizar dietas simples y soportar situaciones de estrés (Campabadal, 2009; García, 2010; NRC 2012). Convencionalmente, a los cerdos en esta etapa se les permite consumir su alimento *ad libitum*, por lo cual se recomienda dividir esta etapa en fases (Campabadal, 2009; Meisinger, 2010; NRC, 2012; García *et al.*, 2012): fase de 20-50 y de 50 a 100 kg. Puesto que, conforme crece (kg) el cerdo cambia los patrones de consumo de alimento y la utilización de nutrientes ingeridos (Den Hartog *et al.*, 2005).

Los errores más comunes en la etapa 20-100 Kg. en los programas de nutrición son: una comprensión inadecuada de la producción y la respuesta económica al momento de cambiar los niveles de energía en la dieta, balancear erróneamente los niveles de aminoácidos con los niveles de energía de la dieta; proporcionar más aditivos y micronutrientes de los requeridos; usar un tamaño de partícula inadecuado, no tener alimento disponible en los comederos y ajustar agresivamente la dieta (DeRouchey *et al.*, 2007).

### **2.3.1. Alimentación durante la Fase de Crecimiento (20-50 Kg)**

Esta fase, en los cerdos, comienza a los 20 kg de peso vivo y es cuando presentan un tracto gastrointestinal desarrollado para metabolizar dietas simples. Sin embargo, es



uno de los periodos más críticos e importantes en la vida productiva de los cerdos, ya que es donde existe mayor síntesis de tejido magro y ganancia de peso ( $1.1 \text{ kg d}^{-1}$ ). Por ello, se recomienda proporcionar una dieta balanceada y de calidad que al menos contenga entre 16 y 18% de proteína (Tabla 1) como mínimo, (Campabadal, 2009; García, 2010; Otero, 2012; NRC, 2012).

Tabla. 1. Parámetros productivos y requerimientos nutricionales en la fase 20-50 kg de peso vivo.

	Campabadal, 2009	García <i>et al.</i> , 2012	NRC, 2012
Periodo de tiempo (d)	30	42	NR
Peso Vivo (Kg)	20-50	21-50	20-50 Kg
Consumo de alimento ( $\text{Kg día}^{-1}$ )	2.0	1.5	1.855
Proteína bruta (%)	16	16.5 – 26	18
EM Kcal/Kg	3200	2350 – 3330	3265
Fibra Bruta (%)	NR	3 - 5.5%	1-10%

<sup>NS</sup>=No reportan. EM= Energía metabolizable.

### 2.3.2. Alimentación durante la Fase de Finalización (50-100 Kg)

La fase de finalización comienza a los 50 kg de peso vivo de los animales y concluye cuando el cerdo alcanza el peso al mercado (90-100 kg) o es enviado a sacrificio. En esta fase es donde el animal alcanza su mejor conversión alimenticia ( $2.6:1 \text{ kg/kg}$ ) y ganancia de peso ( $0.967 \text{ a } 1.2 \text{ kg d}^{-1}$ ). Pero también, en este periodo existe mayor deposición de tejido adiposo, y a la deposición de 1 kg de grasa, requiere de 4 ó 5 veces más energía (procedente de la dieta) en comparación con la deposición de 1 kg de carne. Así, el alimento extra no utilizable para deposición de proteína se canaliza para deposición de grasa y ello ocurre generalmente después de que el cerdo alcanza los 100 kg de peso vivo (Den Hartog, 2005; Campabadal, 2009; Otero, 2012; NRC, 2012); de aquí que, el porcentaje de proteína contenida en el alimento (Tabla 2) sea



menor al de la fase 20-50 kg. Además de que, en la fase 50-100 kg sea indispensable maximizar la eficiencia de la producción de tejido muscular en relación al tejido graso de la canal; es decir, producir carne magra (Otero, 2012; NRC; 2012; Ramón, 2016).

Tabla 2. Parámetros productivos y requerimientos productivos en cerdos de 50-100 kg de peso vivo.

	Campabadal, 2009	García <i>et al.</i> , 2012	NRC, 2012
Periodo de tiempo (d)	50-60	63	NR
Peso Vivo (Kg)	50-90	50 - 100	50-120 Kg
Consumo de alimento (Kg día <sup>-1</sup> )	3	2 - 3.5	2.5 - 3.0
Proteína bruta (%)	14	12.71 – 18.5	115.5-13.2
EM Kcal/Kg	3250	2250 – 3300	3265
Fibra Bruta (%)	NR	3 - 6%	1-10%

NR= No reportan. EM= Energía metabolizable.

### 2.3.3. Factores que influyen el consumo voluntario de alimento en la etapa 20-100 Kg.

El consumo voluntario de los cerdos es uno de los parámetros productivos más importantes para los productores, ya que este representa un impacto significativo en la eficiencia productiva de los cerdos y en la económica del sistema de producción (Nyachoti *et al.*, 2004; Qingyun, 2016); el 80% de los costos de producción pertenece al rubro de la alimentación (DeRouchey *et al.*, 2007; Campabadal, 2009; García *et al.*, 2012; Andretta *et al.*, 2016) y controlar este parámetro representa un medio directo no solo para influir en la tasa de crecimiento, eficiencia alimenticia y calidad de la canal, si no además para disminuir los costos de producción (Nyachoti *et al.*, 2004; Qingyun, 2016). No obstante, se debe tener en cuenta que, el consumo voluntario de alimento esta influenciado por el genotipo, ambiente, estado de salud del animal, y el tipo de dieta que se ofrece (Nyachoti *et al.*, 2004; NRC, 2012)



El consumo voluntario de alimento es regulado principalmente por el hipotálamo, quien es capaz de mediar efectos sobre esta variable a corto o largo plazo (Tauson, 2012; González *et al.*, 2016; Qingyun, 2016); obviamente en relación directa con los nutrientes presentes en el alimento y con la microbiota intestinal (Atta, 2017). Así, los carbohidratos, lípidos y proteínas, además de la digestión microbiana, afectan la liberación de hormonas provenientes del tracto gastrointestinal y páncreas, misma que, también terminan regulando el consumo de alimento (Nyachoti *et al.*, 2004; Tauson, 2012; González *et al.*, 2016; Qingyun, 2016)

El principal control metabólico que presenta un efecto a largo plazo sobre el consumo de alimento es a través de dos sistemas opuestos de control de energía: 1) el sistema de Adenina de Monofosfato Activado de Proteína Quinasa (AMPK, siglas en inglés); 2) mediante la vía de Diana de Rapamicina en Células de Mamífero (mTOR, siglas en inglés). Ambos sistemas actúan en conjunto en el sistema periférico y central junto con el hipotálamo (Figura 1) (Tauson, 2012; Qingyun, 2016).

La “sensación de hambre” se debe a un incremento en la expresión de péptidos orexigénicos y disminución de péptidos anorexigénicos, transmitidas por vías nerviosas del centro del cerebro; lo cual estimula el consumo de alimento. No obstante, el incremento en el paso de nutrientes no digeribles o los productos de la fermentación microbiana (ácidos grasos de cadena corta o ácidos grasos volátiles) a través del intestino grueso de los cerdos, resulta a largo plazo en una depresión del consumo de alimento en conjunto con la acción de péptidos liberados en el tracto gastrointestinal (Tauson, 2012; González *et al.*, 2016; Qingyun, 2016).

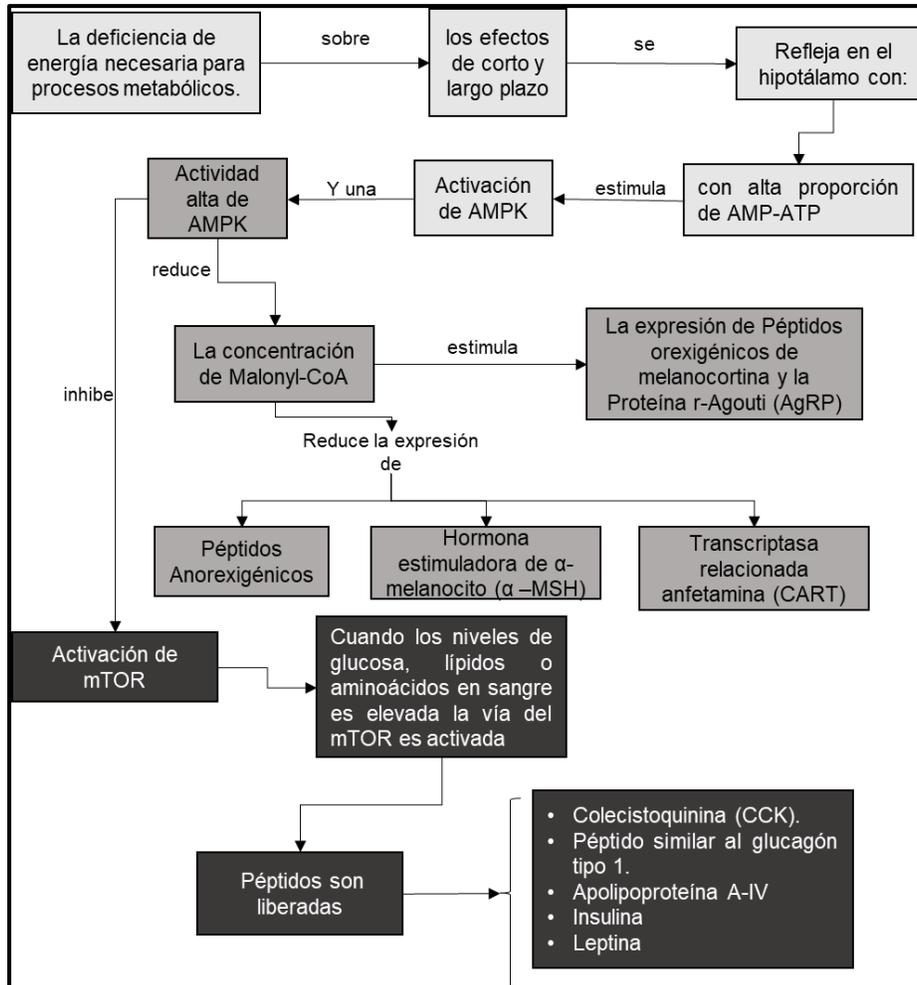


Figura 1. Sistema metabólico de control del consumo voluntario de los cerdos

Fuente: Tauson (2012); Frost *et al.* (2014); Qingyun (2016).

#### 2.3.4. Utilización de insumos no convencionales en la etapa 20-100 Kg

La producción porcina está estrechamente relacionada con la utilización de alta tecnología; así como de altos volúmenes de cereales y fuentes proteicas que, por lo general, no se producen en cantidades suficientes (Argenti *et al.*, 2007). Por ello, dentro de la alimentación de los cerdos, las dietas convencionales a base de maíz-soya o sorgo-soya, independientemente del éxito que han tenido en la industria, ha disminuido su utilización, debido a las fluctuaciones (costo y disponibilidad) de estos



insumos. Pero, además, este tipo de dietas generan una fuerte dependencia de materias primas extranjeras y ello, a provocado el interés por nuevas alternativas económicas y locales que puedan ser susceptibles de cubrir los requerimientos nutricionales de los cerdos sin modificar el comportamiento de los indicadores productivos (Argenti *et al.*, 2007; Estévez, 2016).

Actualmente existen bastantes estudios sobre insumos de uso no convencional en cerdos para abasto (Almaguel *et al.*, 2010; Cabrera *et al.*, 2012; Kallabis *et al.*, 2012; Hernández *et al.*, 2016; Aguilar, 2017; Gutiérrez *et al.*, 2017) y, la mayoría de estos estudios están enfocados en las propiedades nutricionales de dichos insumos (Hernández *et al.*, 2016) así como en el rendimiento productivo de cerdo y características de la canal.

Como insumos no convencionales para las dietas de los cerdos se ha evaluado el uso de subproductos agroindustriales y residuos agrícolas: caña de azúcar, esquilmos de arroz y trigo, tubérculos (yuca, zanahoria, camote), frutas (aguacate, banano, pulpa de naranja) granos de destilería con solubles (DDGS) (Campabadal, 2009; Cerisuelo *et al.*, 2010; López, 2012; Van Hees, 2012; Hernández *et al.*, 2016 Gutiérrez *et al.*, 2017). Sin embargo, se sugiere que la utilización de subproductos de la producción agrícola, son el medio factible para reducir los costos de producción y, además, garantiza la sostenibilidad de la producción y el bienestar ambiental (Hernández *et al.*, 2016). No obstante, estos subproductos agrícolas, presentan un alto nivel de humedad y de contenidos de fibra, por lo cual no se deben utilizar en niveles altos ya que pueden disminuir la digestibilidad y absorción de los nutrimentos provenientes de la dieta



(Campabadal, 2009), aun y cuando también son alternativas para promover la salud intestinal y reducir la utilización de antibióticos (Van Hees, 2012)

### **2.3.5. Importancia de la adición de fibra a la dieta de los cerdos sobre la fisiología, metabolismo y salud intestinal.**

La fibra es probablemente el componente menos entendido en las dietas de los cerdos (Kerr *et al.*, 2013). No obstante, este componente presenta un rol importante en las dietas de los cerdos (Kerr *et al.*, 2013; Lindberg, 2014; Atta *et al.*, 2017). Por lo cual hay que tomar en cuenta que la implementación de la fibra a la dieta de los cerdos también presenta efectos benéficos: estimula la salud intestinal; incrementa la saciedad; modifica el comportamiento y en general mejora el bienestar del cerdo (NRC, 2012; Lindberg, 2014). Así, un nivel mínimo de fibra debe ser incluida para mantener las funciones fisiológicas normales de tracto gastrointestinal, ya que la inclusión de altos niveles de fibra (>10%) a la dieta se asocia con una disminución de la utilización de los nutrientes y una disminución de los valores de la energía. Sin embargo, los impactos negativos de la fibra serán determinados por las propiedades de la misma, que difiere dependiendo de la fuente. (Castillo, 2006; Lindberg, 2014; Atta *et al.*, 2017).

#### **2.3.5.1. Definición, clasificación y propiedades físico-químicas de la fibra**

La definición inicial de la fibra tanto como en la nutrición humana como en la nutrición animal era: “*La suma de lignina y polisacáridos de la pared celular que son resistentes a la hidrólisis enzimática en el sistema digestivo humano*”, sin embargo, esta definición presenta sus limitaciones, debido a que los componentes de la pared celular, varían, son complejos en su composición físico-química y en sus efectos fisiológicos y



metabólicos. Por lo que, durante los últimos años se optó por definir a la fibra como: “Polímeros de carbohidratos con 10 o más unidades de monómeros que no son hidrolizados ni absorbidos en el intestino delgado humano” , esta definición no solo incluye lo que clásicamente se considera “fibra dietética” es decir la suma de los Polisacáridos No Amiláceos (NSP, siglas en inglés) y lignina, sino que también incluye carbohidratos con propiedades fisiológicas y nutricionales similares a la de la fibra, como el almidón resistente y los oligosacáridos no digestibles (Kerr *et al.*, 2013.; Bach, 2013, Lindberg, 2016; Atta *et al.*, 2017).

La fibra se encuentra en la pared celular de las plantas, la cual se constituye de una serie de NSP que representan el 90% de la pared celular, sus componentes principales son: 1) Celulosa, polímero lineal de uniones de glucosa con enlaces  $\beta$ -(1  $\rightarrow$  4); 2) Pectinas, uniones de ácido glucurónicos unidos en cadenas por  $\alpha$ -(1 $\rightarrow$ 4); 3) Hemicelulosa, matriz de polisacáridos compleja que incluye, xilosas, arabinosa, galactosa, manosa, ácido glucurónico y  $\beta$ -glucanos. Estos NSP adoptan un gran número de formas tridimensionales y están unidos a la lignina, un polímero fenólico que hincha la pared celular de los polisacáridos y proporciona una superficie hidrofóbica que cohesionan las paredes, lo cual lo hace resistente a la digestión enzimática y a la fermentación por la microbiota intestinal (Figura 2). Además, los NSP se dividen en dos grupos: NSP solubles e insolubles, a grandes rasgos la fracción insoluble, incluye celulosa y fracciones de hemicelulosa. Mismas que retrasan el tiempo de tránsito intestinal. Mientras que la fibra soluble incluye, pectinas, gomas y  $\beta$ -glucanos, los cuales son más fáciles de fermentar e incrementan la viscosidad de la digesta (Atta *et al.*, 2017; Bach, 2013; Kerr, 2013).

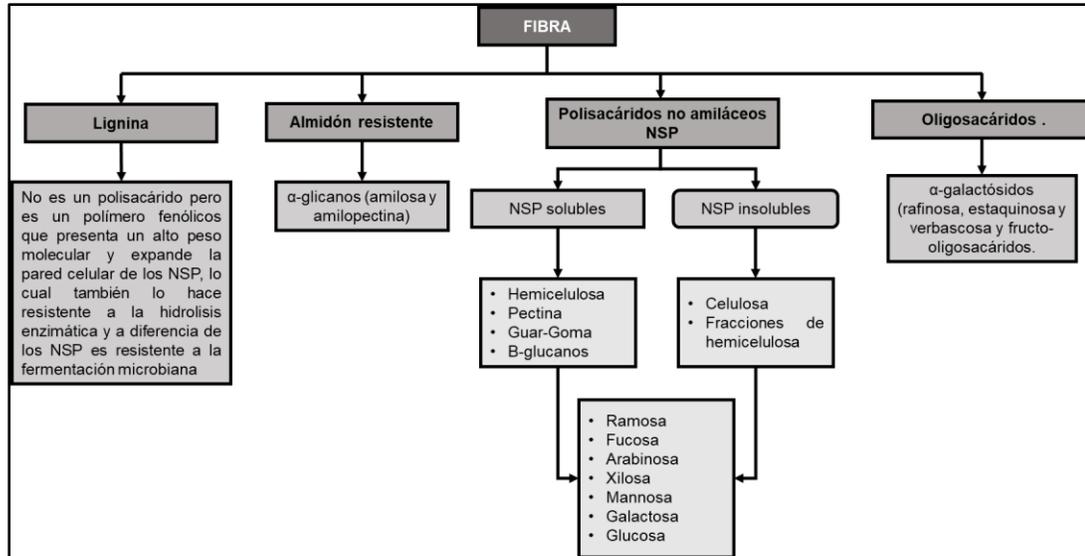


Figura 2. Clasificación de los componentes de la fibra dietaria.

Fuente: Bach (2013); Kerr (2013); Lindberg (2014); Atta *et al.* (2017).

### 2.3.5.2. Efectos de la fibra sobre la fisiología, microbiota y salud intestinal de los cerdos.

Como se mencionaba anteriormente la fibra en la dieta de los cerdos en la etapa 20-100 kg, así como en otras etapas productivas (Sementales, Gestantes y Destete) es un tema que ha sido ampliamente discutido en los últimos años, y se conoce que niveles altos de fibra, como parte de la dieta de estos animales, disminuye la energía metabolizable del alimento, lo que propicia que los cerdos tengan ajusten su consumo de alimento para satisfacer la demanda de energía (NRC, 2012; Lindberg, 2014) Por ello el NRC (2012) recomienda que la fibra contenida en la dieta de los cerdos no sobrepase el 10%.

Entre los efectos “negativos” que presenta la utilización de grandes cantidades de fibra en la dieta de los cerdos están: a) La disminución de la energía metabolizable de los nutrientes, lo que genera que el cerdo tenga que ajustar su consumo de alimento para



suplir esta disminución de energía; b) Disminución de la digestibilidad del almidón, lípidos y proteína, que son sustratos para la producción de energía, lo que resulta en una disminución de energía digestible, y como consecuencia aumenta las pérdidas endógenas. Principalmente esto sucede por la viscosidad y el grado de fermentación de la fibra (Van Hees, 2012; Bach, 2013; Kerr *et al.*, 2013 Lindberg, 2014; Gao *et al.*, 2015; Atta *et al.*, 2017). Sin embargo, la fibra puede contribuir al suministro de energía mediante la fermentación microbiana en el intestino grueso. No obstante, la cantidad de energía que aporta varía dependiendo de los ingredientes de la dieta, tipo de fibra y su interacción con otros factores alimenticios. Ya que los productos finales de la fermentación microbiana son los Ácidos Grasos Volátiles (o ácidos grasos de cadena corta, AGV), principalmente, ácido butírico, acético y propiónico, (Hooda *et al.*, 2010; Bach, 2013; Kerr *et al.*, 2013; Lindberg, 2014; Jha *et al.*, 2015; Gao *et al.*, 2015; Atta *et al.*, 2017)

Los AGV's son metabolizados a través de una serie de reacciones anaeróbicas de suministro de energía que producen adenosín trifosfato (ATP), el cual se usa para la producción de energía. Y la absorción de AGV pueden suministrar hasta el 28% de energía para mantenimiento requerida por los cerdos. El número de moles de ATP producidos por el acetato, propionato y butirato es de 10, 18 y 28, respectivamente, y la hidrólisis de 1 mol de ATP en adenosín difosfato (ADP) libera 7.3 Kcal de energía. Entonces el potencial de energía que se absorbe por la fermentación de la fibra (en este caso la celulosa), puede aproximadamente proveer el 70% de energía que es producida cuando la glucosa es oxidada (Atta *et al.*, 2017).



Otros efectos de la fibra sobre el tracto gastrointestinal son: 1) generalmente incrementa el peso total del tracto gastrointestinal e incrementa las secreciones gastrointestinales 2) proliferación celular: la proliferación celular del epitelio intestinal es estimulado, aumentando el grado de apoptosis celular de enterocitos y células caliciformes, el butirato es utilizado como fuente de energía para la proliferación celular del colon, el propionato conjunto al butirato es usado por la gluconeogénesis, la proliferación celular en el epitelio de la mucosa, promueve la longitud del intestino, el peso y la altura de las vellosidades, lo que incrementa la superficie intestinal e incrementa la capacidad de absorción. Estos incrementos de peso pueden ser en estómago, ciego y colon, así como en el largo del colon; 3) Aumenta la secreción de fluidos endógenos de las glándulas salivales, estómago y páncreas; 4) Requerimiento de energía de mantenimiento: por los cambios en las características de los órganos del tracto gastrointestinal, el requerimiento de energía para mantenimiento aumenta debido a la demanda extra de nutrientes necesario para el desarrollo y mantenimiento de los órganos; 5) Llenado gástrico y saciedad: la goma guar y la pectina incrementa la viscosidad de la digesta y la retención de agua, la fibra contribuye a una temprana saciedad, debido a un incremento el volumen de la digesta en el estómago, lo que aumenta el tiempo de tránsito (Barszcz *et al.*, 2011; Bach, 2013; Kerr *et al.*, 2013; Lindberg, 2014; Rieger *et al.*, 2015; Atta *et al.*, 2017).

Con respecto a la microbiota intestinal esta está constituida principalmente por bacterias, arqueas, protozoarios y hongos, los cuales son provistos de sustratos provenientes de la dieta como los componentes provenientes del animal como mucina, células epiteliales y enzimas. (Kerr *et al.*, 2013; Lindberg, 2014; Rieger, 2016; Atta *et*



al., 2017). La fibra promueve el crecimiento de esta microbiota intestinal principalmente por el efecto prebiótico que esta presenta, el concepto de los prebióticos es “*ingredientes alimenticios no digeribles que benéficamente afecta al animal, mediante la estimulación selectiva del crecimiento y/o activación de una o un limitado número de bacterias en el colon, y estos mejoran la salud intestinal del animal*”. Los prebióticos resisten la digestión y absorción enzimática, y son fermentados por la microbiota que existe en tracto gastrointestinal, y selectivamente estimulan el crecimiento y/o activación de una o un limitado número de bacterias. La inclusión de NSP solubles a la dieta estimula el crecimiento de la microbiota, e incrementa la producción de ácidos grasos volátiles y los NSP insolubles aumentan el tiempo de tránsito, lo que provee sustratos que lentamente son degradados por la microbiota en el intestino grueso y modula la morfología intestinal mediante el incremento de la altura de las vellosidades (Lindberg, 2014; Gao *et al.*, 2015)

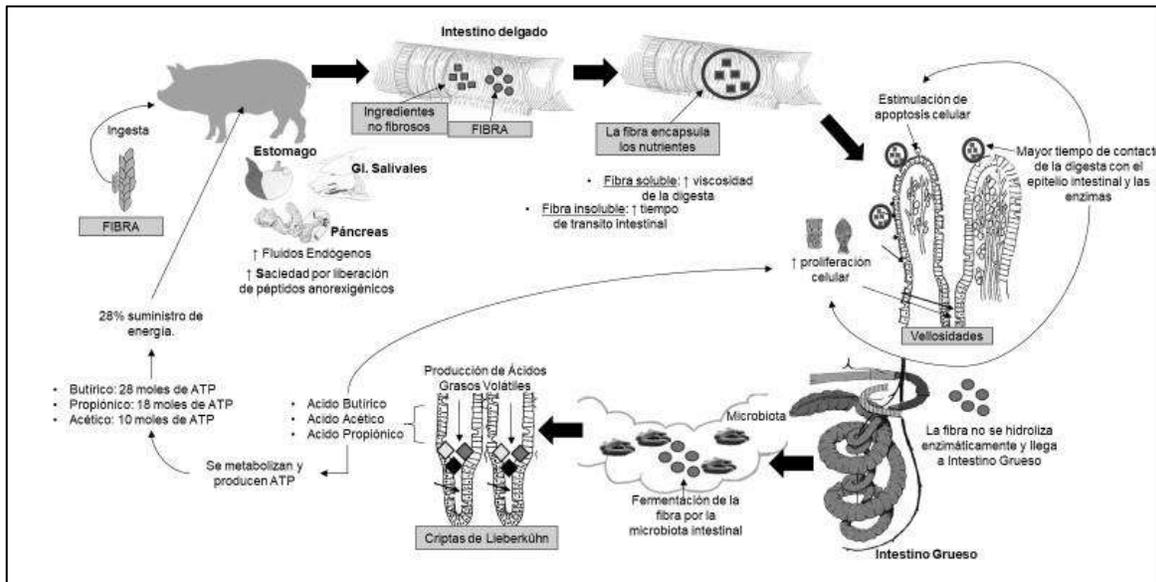


Figura 3. Efectos de la fibra dietaria sobre la fisiología gastrointestinal del cerdo.



## 2.4. Nopal (*Opuntia ficus-indica*) y sus características fisicoquímicas

El nopal (*O. ficus-indica*), es un recurso que presenta un alto potencial agro-tecnológico, tanto como cultivo alimenticio, como base para productos derivados, que se utilizan en la industria alimenticia tanto humana y animal, la farmacología, medicina e industria agropecuaria. En México existen tres millones de hectáreas de nopal nativo y alrededor de 233 000 hectáreas de nopal cultivado. Aparte que es una planta idónea para utilización en programas de reforestación, por su capacidad de crecimiento en suelos pobres e inapropiados para otros cultivos por su potencial para captar parte del incremento del CO<sub>2</sub> (Castillo *et al.*, 2013; Méndez, 2014; Torres *et al.*, 2015).

*O. ficus-indica* pertenece a la familia *Cactaceae*, por lo cual es una cactácea con características adaptativas en su anatomía, morfología y fisiología, que le permite sobrevivir, crecer y reproducirse en ambientes áridos y semiáridos (Kaur *et al.*, 2012; Castillo *et al.*, 2013; Méndez, 2014). Se caracteriza por ser plantas arborescentes, arbustivas, rastreras o simples, con tronco bien definidos, de una altura aprox. de 1.7 m de altura, cladodios carnosos o leñosos, elípticos, circulares, ovados, oblongos u rómbicos de aprox. 32 a 44 cm de largo en cladodios de 2 a 3 años de edad y por lo general la *O. ficus-indica* no presenta espinas (Chávez, 2012; Arroyo, 2014).

El nopal (*O. Ficus-indica*) presenta un alto contenido de agua (84-96%). Además, es rico en vitamina C, β-Carotenos, tiamina, riboflavina y niacina. Las proporciones de los nutrientes en base seca, cambian dependiendo de la especie, el cultivo, las condiciones ambientales y técnicas de cultivo (Torres *et al.*, 2015) Es una fuente importante de minerales (6-18%): Calcio (2.01% u 18-57 mg/100 gr), Potasio (0.11%),



Sodio (2 mg en Base Húmeda) y Hierro (56.66µg/g), cantidades que cambian con la edad (Hernández *et al.*, 2010; Chávez, 2012; Gutiérrez, 2012; Arroyo, 2014; Torres *et al.*, 2015). El contenido de proteína cruda en esta cactácea, oscila entre 3.5 a 6.4%. En cuanto a los carbohidratos no estructurales presentes en *O. ficus-indica* se ha determinado que es de 61-79%. (Chávez, 2012; Méndez, 2014; Torres *et al.*, 2015). En lo referente al contenido de fibra del nopal, esta como en la mayoría de las plantas, incrementa con la edad: la fibra insoluble incrementa de 40.14 a 56.82g de los 40 a 135 días de edad, respectivamente y la fibra soluble disminuye de 25.4 gr a los 40 días a 9.8 gr a los 135 días. (Hernández *et al.*, 2010).

La fracción insoluble contiene 11% celulosa, 8% hemicelulosa y 3.9 de lignina y con respecto a la fracción soluble, es rica en polímeros que contienen carbohidratos como el mucilago que se conforma de azúcares simples como: arabinosa (24.6-42%), xilosa (22-22.2%), galactosa (21-40.1%), ácidos galacturónicos (8-12.7%) y ramnosa (7-13.1%). (Gutiérrez, 2012; Di Lorenzo *et al.*, 2017). Las cadenas de polisacáridos no amiláceos se localizan en la pared celular y son los componentes de la fibra dietaria (celulosa, hemicelulosa, pectinas y mucilago), cuyos contenido cambian durante el desarrollo y el ambiente en el que se encuentran el *O.ficus-indica* (García *et al.*, 2018).

#### **2.4.1. Efectos biofuncionales del nopal.**

El nopal presenta múltiples efectos biofuncionales que han sido previamente estudiados en el organismo de los animales y los humanos, los principales son: efecto hipoglucémico, hipocolesterolémico, antioxidante, analgésico-antiinflamatorio, promotor de la cicatrización, antiulcerogenico y actividad prebiótica (Guevara, 2009;



Hernández *et al.*, 2010; Kaur, *et al.*, 2012; Gutiérrez, 2012; Nuñez *et al.*, 2013; Hwan *et al.*, 2017). Sin embargo, el más estudiado es el efecto hipoglucémico, el cual es causado por los NSP presentes y sus compuestos hidrosolubles, debido a que el nopal reduce la absorción del contenido de agua en la fibra soluble por la interrupción de la absorción de la glucosa en el intestino, sin afectar los niveles de insulina, debido a la producción de AGV's durante la fermentación de la fibra en el colon, lo que estimula la producción de insulina, reduciendo los niveles de glucosa. (Guevara, 2009; Nuñez, 2013; Hwan *et al.*, 2017).

Con respecto al efecto hipocolesterolémicos, este es debido a la acción de las pectinas presentes en el nopal, producto de un mecanismo que estimula la producción de ácidos biliares, reduciendo los niveles bilis y lípidos en colon, lo que genera que el ciclo enterohepático se modifique, reduciendo la concentración de lípidos y colesterol, mediante un control sobre los niveles de glucosa en sangre que controla los niveles de triglicéridos y colesterol total en suero. Todo este mecanismo del metabolismo energético genera una disminución en los niveles de lipoproteínas de baja densidad (LDL) y triglicéridos. Mientras que las lipoproteínas de alta densidad (HDL) se incrementan; cambios que provocan, la disminución de lípidos en sangre (Guevara, 2009; Gutiérrez, 2012; Arroyo, 2014)

Los NSP de las plantas *Opuntia*, son usados como agente muco-protectores, debido a su capacidad para formar una red molecular y retener grandes cantidades de agua, entonces pueden actuar como una capa protectora en la superficie de la mucosa acelerando la re-epitelización (Guevara, 2009; Di Lorenzo *et al.*, 2017). Además, la acción muco-protectora en sinergia con su acción prebiótica (por la presencia de



pectin-oligosacáridos y mucilago-oligosacáridos) estimulan el desarrollo de bifidobacterias e incrementan en el desarrollo de lactobacilos y, en consecuencia, aumentan la producción de AGV's (Figura 4) los cuales son esenciales para la salud intestinal del animal (Guevara, 2009).

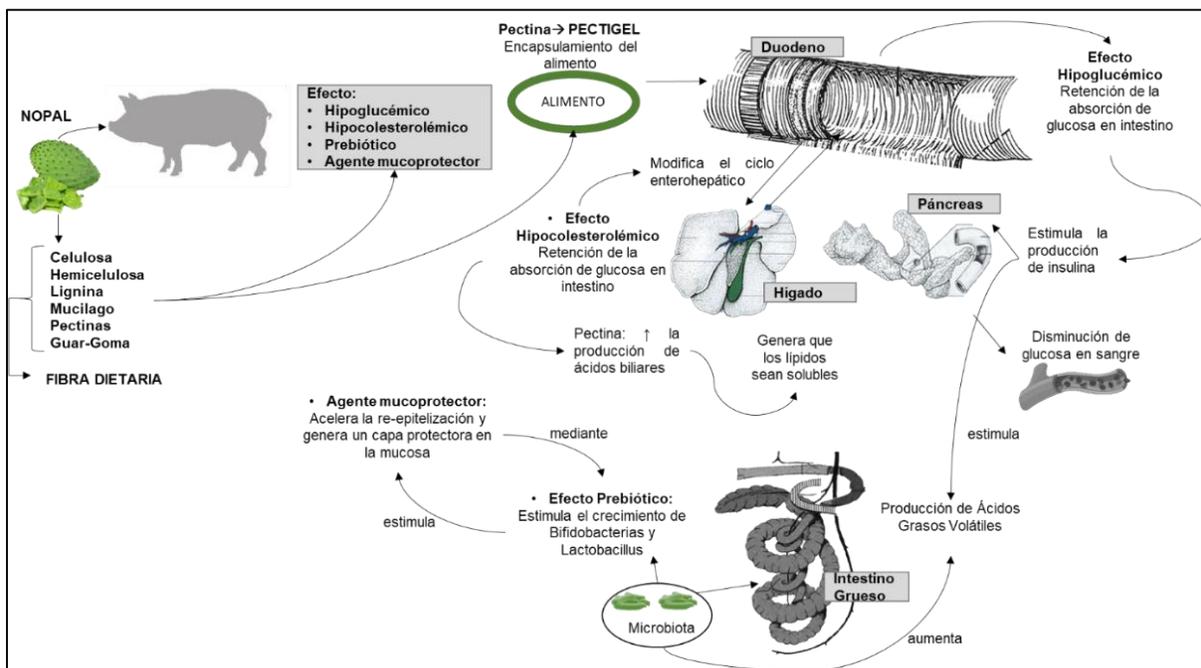


Figura 4. Efectos biofuncionales del nopal en el organismo del cerdo.

### 2.4.3. Utilización del Nopal en la producción porcina.

El nopal se ha utilizado en conjunto (adición) con la dieta de cerdos en diferentes etapas productivas. Ordaz *et al.* (2017) al adicionar de 1% de Nopal *O. ficus-indica* (porcentaje con base al peso vivo de cerdas) a la dieta de cerdas lactantes, encontraron una reducción en los niveles de glucosa en sangre durante los 21 días de lactación (de 70.9 a 55.2 mg/dL). Reducción que generó un incremento en el consumo voluntario de alimento (de 4.7 a 5.5 kg d<sup>-1</sup>) así como una disminución en la pérdida de peso durante la lactación (7.4%) vs cerdas que no consumieron nopal como parte de su dieta (16.8% de pérdida de peso corporal). En consecuencia, la menor pérdida de



peso corporal provocó una reducción en el intervalo destete estro (5.3 días en cerdas que consumieron nopal vs 6.1 días en cerdas control). Ortiz *et al.* (2017) al adicionar 1% de Nopal *O. ficus-indica* a la dieta de cerdas lactantes demostraron que la ingesta de nopal no afectó ( $P < 0.001$ ) la producción ( $7.4 \text{ kg}^{-1}$ ) y calidad nutrimental de la leche de las cerdas (Proteína 4.5%, Lactosa 6.6%, Grasa 7.6%), y permitió el desarrollo normal de los lechones durante la fase de lactancia (5.1 kg por lechón al destete).

Méndez (2014), adicionó nopal (género *Robusta*) en base seca a cerdos para abasto, y encontró un mayor de consumo de alimento en los cerdos ( $1634 \text{ g día}^{-1}$ ); ganancia diaria de peso igual ( $P > 0.05$ ) al de los cerdos del grupo control (0% de nopal); modificación en su conducta: mayor tiempo postrados (72.5%) y mayor tiempo para comer (78%), disminución en las peleas; disminución en la grasa dorsal (15.5 mm vs 5.9mm grupo experimental) y mesentérica (1777 g vs 905 gr en el grupo experimental). Gaytán (2017) al evaluar la adición de 1% nopal (*Opuntia ficus-indica*) de acuerdo al peso vivo de cerdos para abasto, encontró: disminución en colesterol total (109.2 vs  $113.5 \text{ mg/dL}^{-1}$  en el grupo control), lipoproteínas de baja densidad ( $49.9 \text{ vs } 66.1 \text{ mg/dL}^{-1}$  en grupo control) y en glucosa sanguínea ( $78.8 \text{ vs } 95.0 \text{ mg/dL}^{-1}$  grupo control); aumento en lipoproteínas de alta densidad ( $57.9 \text{ vs } 39.1 \text{ mg/dL}^{-1}$  en grupo control) y en triglicéridos ( $35.6 \text{ vs } 29.8 \text{ mg/dL}^{-1}$  en grupo control); mejora en el rendimiento de la canal (78.8 vs 76.8% en el grupo control), así como una disminución en la grasa dorsal (24.9 vs 34.3 mm en el grupo control); aumento en el porcentaje de proteína de la carne de cerdo (20.6 vs 18.2% grupo control) y contenido de cenizas (5.3 vs 4.6% en el grupo control) y disminución en el contenido de grasa en la carne ( $11.0 \text{ vs } 13.5\%$  en el grupo control).



### 3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente, los investigadores se han centrado en buscar alternativas nutricionales en la producción porcina, principalmente debido a que los insumos tradicionalmente utilizados presentan fluctuaciones en costos y disponibilidad. Una reciente estrategia utilizada en la alimentación de cerdos es la adición de nopal (*O. ficus-indica*) a las dietas convencionales utilizadas en las diferentes etapas de producción de estos animales (Gaytán, 2017; Ortiz *et al.*, 2017; Ordaz *et al.*, 2017). Gaytán, 2017, al evaluar la adición del nopal a la dieta de cerdos para abasto encontró, una disminución en el consumo de alimento, mejora en la conversión alimenticia y calidad y rendimiento de la canal. Todo ello, sin afectar ( $P>0.005$ ) el desarrollo y crecimiento de los cerdos que consumieron nopal como parte de su dieta. También, encontró: disminución de glucosa en sangre, colesterol total y lipoproteínas de baja densidad y, un incremento en lipoproteínas de alta densidad y triglicéridos. Aspectos, que explican parcialmente las ventajas de utilizar nopal en la dieta de cerdos de 20 a 100kg de peso vivo. Al adicionar nopal a la dieta de los cerdos se otorga un mayor aporte de fibra a la misma y ello, genera menor consumo de alimento sin afectar el desarrollo de los cerdos, puesto que, la fibra dietética puede alterar la morfometría del tracto gastrointestinal (Lindberg, 2014; Rieger *et al.*, 2015; Atta., *et al.*, 2017) y provocar una mejor absorción de los nutrientes contenidos en la dieta. Por ello, es necesario evaluar el efecto de la adición de nopal a la dieta de cerdos para abasto (20-100 kg) sobre la morfometría e histología de los intestinos de estos animales.



#### **4. HIPOTESIS**

La adición del 1% de nopal (de acuerdo al peso vivo del cerdo) a la dieta convencional de cerdos para abasto de 20-100kg, genera cambios en la morfometría e histología intestinal, cuya consecuencia es una mayor absorción de los nutrientes en el alimento.

#### **5. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el efecto de la adición del 1% nopal (*Opuntia ficus-indica*) a la dieta convencional de cerdos para abasto de 20-100kg sobre la morfometría e histología intestinal.

##### **5.1. Objetivos Específicos**

- ✓ Determinar el efecto de la adición de nopal (*Opuntia ficus-indica*) a la dieta convencional de cerdos en la fase 20-50 kg y 50-100 kg, sobre el consumo de alimento, ganancia de peso y conversión alimenticia.
- ✓ Medir el efecto de la adición del nopal (*Opuntia ficus-indica*) a la dieta convencional de cerdos para abasto de 20-100kg sobre el peso y longitud del intestino delgado e intestino grueso.
- ✓ Analizar el efecto de la adición de nopal (*Opuntia ficus-indica*) a la dieta convencional de cerdos para abasto de 20-100 kg sobre el longitud de las vellosidades intestinales.



## **6. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **6.1. Locación**

La investigación se desarrolló en el sector porcino de la Posta Zootécnica de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, ubicada en el municipio de Tarímbaro, Michoacán a 9.5 Km de la carretera Morelia-Zinapécuaro, con coordenadas geográficas 19° 40' 00'' latitud norte y 102° 9' 30'' de longitud oeste, con una altura aproximada a nivel del mar de 1,857 m y una temperatura promedio de 14°C. (INEGI, 2009).

### **6.2. Animales**

Se seleccionaron al azar 46 cerdos híbridos (Yorkshire x Landrace x Pietrain) con un peso promedio inicial de  $22.8 \pm 2.14$  kg. Con el total de los cerdos se formaron dos grupos: Grupo control o G1 (23 cerdos) y Grupo Experimental o G2 (23 cerdos). Los cerdos de ambos grupos fueron alojados en corrales individuales de 1.2 x 2.0 m, con un comedero tipo tolva (5.0 kg de capacidad) y bebedero automático tipo chupón. Donde se monitorearon a partir de los 20 Kg y hasta que estos alcanzaron los 100 Kg de peso vivo.

### **6.3. Dietas y Análisis Bromatológico de las Dietas**

Para determinar el efecto del suministro de dietas suplementadas con nopal sobre el consumo diario de alimento (CAD), ganancia de peso (GDP) y conversión alimenticia (CA), se formaron dos grupos: Grupo Control o G1 (23 cerdos) el cual recibió una alimentación convencional (alimento balanceado) de acuerdo a los requerimientos de la etapa productiva (Tabla 3) y Grupo Experimental o G2 (23 cerdos), los cuales



recibieron una dieta convencional más la adición de 1% de nopal (*Opuntia ficus-indica*) en base fresca. Las dietas, tanto la convencional como la experimental y el nopal fueron analizados bromatológicamente mediante la Metodología Oficial de Análisis de AOAC Internacional (AOAC, 2009). Donde se evaluó porcentaje de Materia Seca, Proteína, Fibra Cruda, Cenizas, Extracto Etéreo, y Carbohidratos (Tabla 3).

Tabla 3. Composición Nutricional de Nopal (*Opuntia ficus indica*), dieta control (Grupo Control) y dieta experimental (Grupo Experimental) en fases 20-50 kg y 50- 100 kg.

Composición Nutricional gr/100gr	Fase 20- 50 kg		Fase 50- 100 kg		Nopal ( <i>Opuntia ficus indica</i> )
	Grupo Control <sup>1</sup>	Grupo Experimental <sup>2</sup>	Grupo Control <sup>1</sup>	Grupo Experimental <sup>2</sup>	
Humedad %	11.53	17.31	11.4	19.36	81.57
Materia Seca %	88.46	82.68	88.59	80.63	18.42
Proteína <sup>3</sup> %	21.53	19.21	20.01	17.91	6.69
Fibra Cruda <sup>3</sup> %	1.99	2.01	2.79	3.31	24.19
Carbohidratos <sup>3</sup> %	70.8	72.95	70.05	70.49	51.26
Cenizas <sup>3</sup> %	3.47	3.48	5.32	5.99	16.27
Grasa <sup>3</sup> %	2.19	2.33	1.8	2.27	1.57

<sup>1</sup>Las dietas control están formuladas a base de: Sorgo, Pasta de Soya, Pasta de Canola, Carbonato de Calcio, Fosfato Dicalcio, Sal, Vitaminas, Minerales y Lisina.

<sup>2</sup>La adición de Nopal (*Opuntia ficus indica*) a las dietas experimentales, fue al 1% del peso vivo de los cerdos en ambas fases.

<sup>3</sup>La composición nutricional del Nopal (*Opuntia ficus indica*) y las dietas control y las dietas con la adición de nopal al 1 % de peso vivo, se determinó en base seca gr/100gr.

El porcentaje de nopal (1%) adicionado a la dieta de los cerdos se estableció con relación al peso vivo cerdo<sup>-1</sup> semana<sup>-1</sup> fase<sup>-1</sup> (Fase: 20-50 kg de peso vivo y Fase: 50-100 kg de peso vivo). Dichas fases se establecieron de acuerdo con las dietas elaboradas en el sistema de producción porcina donde se desarrollo la presente investigación. Para el suministro de nopal, los cladodios fueron únicamente fragmentados en trozos de aproximadamente 2 x 2 centímetros, puesto que *O. ficus-indica* carece de espinas.



Una vez fragmentados los cladodios se pesaron para proporcionar la ración correspondiente de nopal junto con la cantidad de alimento balanceado requerido por cerdo. Esta actividad se realizó diariamente a las 8 horas.

En ambos grupos se evaluó: Consumo diario de alimento cerdo<sup>-1</sup>(CAD), Ganancia diaria de peso cerdo<sup>-1</sup>(GDP), y Conversión alimenticia cerdo<sup>-1</sup> fase<sup>-1</sup>(CA), Morfometría intestinal: Peso de intestino delgado y grueso (PID y PIG) y Largo de intestino delgado y grueso (LID y LIG), e Histología intestinal: Largo de vellosidades intestinales (LIV)

#### **6.4 Consumo Diario de Alimento**

El consumo diario de alimento (CAD) se determinó mediante la resta entre la cantidad de alimento suministrado a cada cerdo por la mañana menos la cantidad de alimento sobrante de cada cerdo al día siguiente. Las cantidades de alimento suministrado (Kg) y de alimento sobrante se pesaron con una báscula (Dibatec<sup>®</sup> con capacidad para 40 kg y una precisión de  $\pm 5.0$  g).

#### **6.5. Ganancia Diaria de Peso**

Para determinar la Ganancia Diaria de Peso (GDP) en los cerdos, en cada fase, los cerdos fueron pesados al inicio de cada semana desde los 22.8 Kg hasta que estos llegaron a un peso promedio final de  $101.32 \pm 2.96$ . Para realizar el pesaje se utilizó una báscula (Rhino<sup>®</sup> con capacidad de 300 kg y una precisión de  $\pm 100$  g).



## **6.6. Conversión Alimenticia**

Para determinar la Conversión Alimenticia (CA) se dividió la suma de el total de consumo de alimento cerdo<sup>-1</sup> entre la suma de la ganancia de peso cerdo<sup>-1</sup>, de los datos de la base de datos de Consumo diario de alimento y Ganancia Semanal de Peso.

## **6.7. Morfometría Intestinal**

Para evaluar la morfometría intestinal, la cual se determinó post sacrificio ( $101.32 \pm 2.96$  kg). Al respecto, los cerdos fueron sacrificados en apego a la norma oficial mexicana (NOM) NOM-033-ZOO-1995 para el sacrificio humanitario de los animales domésticos. Se determinó en todos los cerdos sacrificados (46 cerdos) el peso (PID) y la longitud del intestino delgado (LID) como también el peso (PIG) y longitud de intestino grueso (LIG). Antes de realizar las mediciones, se eliminó el contenido de los intestinos con agua. Los cuales se pesaron con una báscula (Dibatec®) (40 Kg  $\pm$  5.0 capacidad) y la longitud de los mismos se obtuvo con una cinta métrica de 10 m  $\pm$  1 mm de precisión.

## **6.8. Histología Intestinal**

Para determinar la longitud de las vellosidades intestinales (LVI) se tomaron muestras de 14 cerdos (siete cerdos grupo<sup>-1</sup>). Las muestras se tomaron después de limpiar los intestinos con agua. Se consideraron seis porciones, tres del intestino delgado (duodeno, yeyuno e íleon) y tres del intestino grueso (ciego, colon trascendente y descendente). Además, se tomaron tres muestras de cada porción<sup>-1</sup> cerdo<sup>-1</sup> grupo<sup>-1</sup>. Las muestras de intestino se sumergieron inmediatamente en formol al 10%; 48 horas



después de la obtención de las muestras de intestino<sup>1</sup>, fueron procesadas para los correspondientes estudios histológicos. Para ello, las muestras se prepararon mediante la técnica de inclusión en parafina y posteriormente se realizaron cortes de 7  $\mu\text{m}$  de espesor, los cuales se fijaron en un portaobjetos, para visualizar las vellosidades, estas se tiñeron con hematoxilina y eosina. Para poder realizar la medición longitudinal de las vellosidades se utilizó un microscopio y un software de imágenes Leica LAS V3.5 (Alemania) con un objetivo 4 x.

La información recabada sobre las variables CAD, GDP, CA, PID, LIG, PIG, LIG y LVI se analizó estadísticamente a través de la metodología de Modelo Lineal Generalizado (GLM) [SAS® 2000] y las diferencias entre grupos a través de Medias de Mínimos Cuadrados (LsMeans por sus siglas en inglés) a una probabilidad  $\alpha = 0.05$  (Litell *et al.*, 1998).



## 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

No se encontró efecto de grupo ( $P=0.327$ ) sobre el promedio general del peso semanal<sup>1</sup> de los cerdos durante la fase experimental (18 semanas). Sin embargo, la anidación Semana(Grupo) y Fase(Grupo) si afectó, el peso de estos ( $P<0.001$ ) (Tabla 4). En este sentido, el efecto de dicha anidación únicamente fue observado conforme transcurrieron las semanas dentro de cada grupo y de una fase a otra (Figura 5).

Tabla 4. Análisis de varianza para el peso (Kg) de los cerdos durante las fases 20-50 kg. y 50-100 kg.

<b>F de V</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>
<b>Grupo</b>	1	22.8715	22.8715 <sup>NS</sup>
<b>Fase(Grupo)</b>	2	1670.7635	835.3817 <sup>**</sup>
<b>Semana(Grupo)</b>	34	111600.6830	3282.3730 <sup>**</sup>
<b>Error</b>	718	17075.5890	23.7822
<b>Promedio</b>		57.195	
<b>D.E.</b>		4.876	
<b>C.V.</b>		8.5	
<b>R<sup>2</sup></b>		0.96	

<sup>\*\*</sup>=Altamente Significativo ( $P<0.001$ ); <sup>NS</sup>= No significativo ( $P>0.05$ ).

Los resultados en torno al efecto de Grupo sobre el peso de los cerdos a lo largo de las fases evaluadas (20-50 y 50 a 100 kg) y en los cuales la adición de nopal a la dieta de estos no afectó ( $P>0.05$ ) el peso vivo durante las 18 semanas de la fase experimental, sugieren que la ingesta de nopal no produce retraso en el crecimiento de los cerdos, a pesar de que esta planta posee efectos hipoglucémicos e hipocolesterolémicos (Guevara, 2009; Kaur *et al.*, 2012; Nuñez *et al.*, 2013; Hwan *et al.*, 2017). Al respecto, los cerdos de ambos grupos iniciaron la etapa 20-50 kg con un peso de  $27.656 \pm 1.27$  y  $26.707 \pm 1.31$  kg, para el grupo control (dieta convencional) y



para el experimental (dieta adicionada con nopal), respectivamente y culminaron la etapa (50 kg), ambos grupos, siete semanas después de iniciada la fase experimental con un peso promedio de  $50.558 \pm 1.20$  kg y  $50.455 \pm 1.26$  kg para el grupo control y experimental, respectivamente; once semanas después de iniciada la etapa de 50-100 kg (Figura 5). En síntesis, los cerdos de ambos grupos lograron el peso comercial (90-100 kg) en 25 semanas después de su nacimiento (Figura 5).

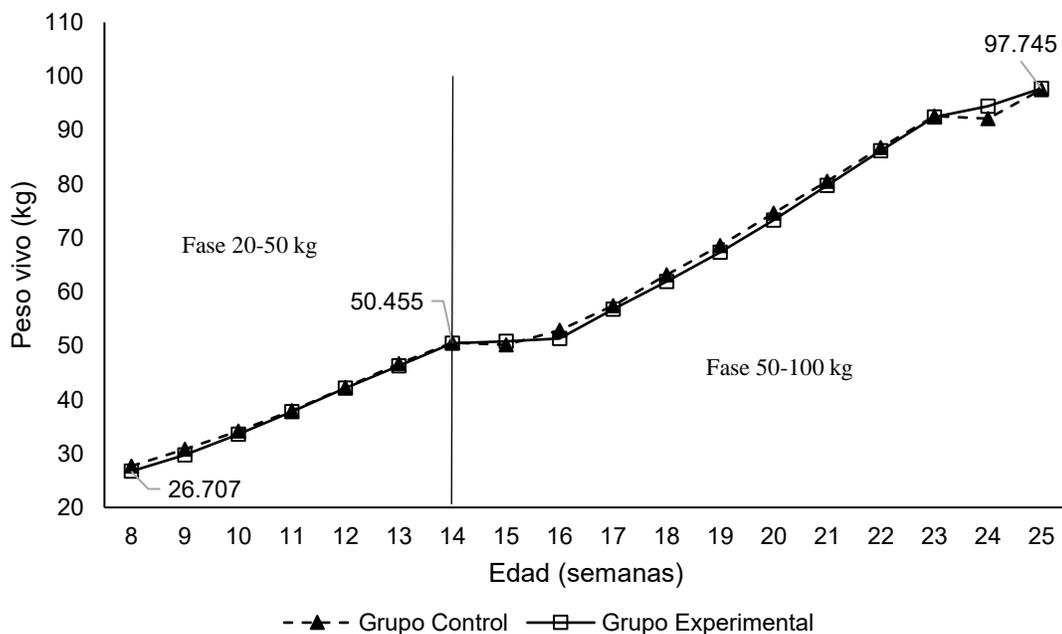


Figura 5. Pesos promedio de los cerdos de acuerdo con el Grupo, Fase de producción y Edad (semana) de los mismos.

Méndez (2014) al incluir nopal (*O. robusta*) a la dieta convencional de los cerdos durante la etapa de iniciación a la finalización (20-100 kg) en diferentes niveles de inclusión (0, 5, 10 y 15%) a cerdos para abasto (Landrace x York) y cuya duración de la fase experimental fue de 19 semanas encontró pesos finales de 103.2, 100.8, 97.5 y 92.7 kg para cerdos que consumieron dietas con inclusión de 0, 5, 10 y 15% de nopal, respectivamente; observando diferencias ( $P < 0.05$ ) entre los pesos promedios de los



cerdos que consumieron con 0 y 5% de inclusión vs 10 y 15%. En este sentido, el grupo experimental evaluado en la presente investigación alcanzaron  $97.745 \pm 2.57$  kg en 18 semanas a partir de que estos alcanzaron los 20 kg de peso vivo (Figura 5). Mientras que, Kallabis *et al.* (2012) evaluaron una dieta rica en fibra (dieta convencional + 9 % de lignocelulosa) y no encontraron efecto ( $P > 0.05$ ) sobre los pesos de los cerdos que consumieron una dieta rica en fibra vs los pesos de los cerdos que consumieron la dieta convencional: Fase 25-50 kg, peso final de 43.4 y 42.7 kg cerdo<sup>-1</sup> para la dieta convencional y dieta convencional + 9% de lignocelulosa, respectivamente y, en la Fase 50-125 kg, el peso final fue de 94.7 y 92.4 kg cerdo<sup>-1</sup> para la dieta convencional y dieta convencional + 9% de lignocelulosa, respectivamente.

El nopal (*Opuntia ficus-indica*) es una cactácea que presenta propiedades hipoglucémicas e hipocolesterolémicas, así como un contenido alto de fibra y energía digestible, la cual se ha utilizado previamente en humanos, ratas, bovinos y cerdos (Hernández *et al.*, 2010; Nuñez, *et al.*, 2013; Méndez, 2014; Ortiz *et al.*, 2015; Ortiz *et al.*, 2017; Ordaz *et al.*, 2017; Hwan *et al.*, 2017), por ejemplo, en cerdas lactantes reduce los niveles de glucosa en sangre durante los 21 días de lactación (de 70.9 a 55.2 mg/dL), generando un incremento el consumo voluntario de alimento (de 4.7 a 5.5 kg d<sup>-1</sup>) así como la disminución en el porcentaje de pérdida de peso durante la lactación (7.4%) vs 16.8% en cerdas que no consumieron nopal como parte de su dieta (Ordaz *et al.*, 2017). Esta disminución de glucosa y su relación con el incremento de consumo de alimento y menor pérdida de peso corporal podrían relacionarse con el comportamiento similar en el peso de los cerdos alimentados con dietas



convencionales más nopal y cerdos alimentados con dietas convencionales, analizados en la presente investigación (Figura 5). Sin embargo, el grupo de cerdos que recibió nopal, como parte de su dieta, mostró un menor consumo de alimento durante las Fases evaluadas ( $P < 0.05$ ); resultado que se abordara en este trabajo más adelante.

Otra de las características nutricionales más significativas del nopal, es el nivel de calcio que posee esta planta: 2.01% (Chávez, 2012) o 18-57 mg de Ca /100g de nopal en BS (Arroyo, 2014). Este mineral se asocia a diferentes procesos metabólicos y fisiológicos, mismos que influyen en el crecimiento de los animales (Breves *et al.*, 2010; Bai *et al.*, 2017). Aspecto que podría explicar por qué no se encontró efecto de la inclusión de nopal a la dieta de los cerdos sobre el peso de los mismos ( $P > 0.05$ ) (Figura 5). Además, el nopal por su contenido de fibra (24.19 gr/100 gr en BS) puede considerarse como prebiótico; ya que, al no poder ser digerida enzimáticamente, es fermentada por la microbiota intestinal (Kerr *et al.*, 2013; Lindberg, 2014; Gao *et al.*, 2015). Aunado a ello, los prebióticos mejoran la homeostasis del calcio y, con ello, se incrementa la concentración de ácidos grasos volátiles (AGV) (Breves *et al.*, 2010).

Lo relevante de la presente investigación, además de que no se modificó el comportamiento del crecimiento (peso vivo) de los cerdos que consumieron nopal como parte de su dieta en las Fases de 20-50 y 50-100 kg, fue la reducción ( $P < 0.05$ ) del consumo de alimento cerdo<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> (CAD) (2.300kg) vs el CAD (2.791 kg) en cerdos alimentados convencionalmente (Tabla 6). No solo se encontró efecto de grupo sobre



el CAD ( $P < 0.0001$ ), también se encontró efecto ( $P = 0.001$ ) de las anidaciones de Fase (Grupo) y Semana(Grupo) (Tabla 5).

Tabla 5. Análisis de varianza para consumo de alimento (kg) día<sup>-1</sup> (CAD) de los cerdos durante las Fases 20-50 kg y 50-100 kg.

<b>F de V</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>
<b>Grupo</b>	1	29.7243780	29.7243780**
<b>Fase(Grupo)</b>	2	2.3367291	1.1683646*
<b>Semana(Grupo)</b>	34	110.9352826	3.2628024**
<b>Error</b>	718	121.1038676	
<b>Promedio</b>		2.467	
<b>D.E.</b>		0.410	
<b>C.V.</b>		16.6	
<b>R<sup>2</sup></b>		0.80	

\*\*= Altamente Significativo ( $P < 0.001$ ); \*=Significativo ( $P < 0.05$ ).

Independientemente del efecto del grupo sobre el CAD (Tabla 5), DeRouchey *et al.* (2007) establecen un CAD promedio de 2.100 kg en cerdos de 20 a 100 kg, promedio menor a lo observado en la presente investigación, tanto para el grupo control como para el experimental. Sin embargo, estos consumos promedio pueden variar por diferentes factores: genotipo de los animales, calidad del alimento y ambiente (Nyachoti *et al.*, 2004; Tauson, 2012; González *et al.*, 2016; Qingyun, 2016), desarrollo del tracto gastrointestinal, velocidad de tránsito de la ingesta por el tracto gastrointestinal (Souza *et al.*, 2012; Everaert *et al.*, 2017), etapa o fase de crecimiento (NRC, 2012). En este sentido se reporta un menor de CAD por kg/PV y mayor aprovechamiento de este (mejor conversión alimenticia) en cerdos en la etapa de finalización puesto que tienen más desarrollado su sistema gastrointestinal y mayor actividad celulítica, todo esto resulta en una mejor capacidad para digerir la fibra



presente en el alimento, así como otros nutrientes presentes en el mismo (Lindberg, 2014).

Tabla 6. Media de Mínimos Cuadrados para el Consumo de Alimento (kg) día<sup>-1</sup> (CAD) de los cerdos de acuerdo con el grupo y la Fase.

Fase	Grupo		Diferencia (kg) Grupo Experimental vs Control
	Control	Experimental	
20-50 kg	Promedio ± E.E. 2.604 <sup>a1</sup> ± 0.08	Promedio ± E.E. 2.134 <sup>a2</sup> ± 0.08	-0.470
50-100kg	Promedio ± E.E. 2.978 <sup>b1</sup> ± 0.05	Promedio ± E.E. 2.466 <sup>b2</sup> ± 0.05	-0.512
Promedio (20-100 kg)	Promedio ± E.E. 2.791 <sup>1</sup> ± 0.02	Promedio ± E.E. 2.300 <sup>2</sup> ± 0.02	-0.491

Literales <sup>a, b</sup> indican diferencias (P<0.05) dentro entre Fases dentro de grupo. Numerales <sup>1, 2</sup> indican diferencias (P<0.05) entre grupos dentro de cada Fase.

Aun y cuando, el NRC (2012) recomienda, para la alimentación de los cerdos, dividir en Fases, tal como sigue: 20-50; 50-80 y 80-120 kg, en el sistema donde se evaluó el efecto de las dietas (convencional vs convencional más nopal) la alimentación de los cerdos solo implica la fase de 20-50 y 50-100 kg, lo cual concuerda únicamente en la primera fase recomendada por la NRC (20-50 kg) y en donde el CAD promedio establecido es de 1.855 kg de alimento cerdo<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>; consumo menor al encontrado en esta investigación, tanto para el grupo control (2.604 ± 0.08 kg cerdo<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>) como para el grupo experimental (2.134 ± 0.08 cerdo<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>). Mientras que para Campabadal (2009) y García *et al.* (2012) encontraron en fase 50-100 kg un CAD de 3.0 kg de alimento cerdo<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>; consumo similar al observado en el grupo control (2.978 ± 0.05 kg) y mayor al CAD de los cerdos que consumieron nopal (2.466 ± 0.06 kg) como parte de su dieta (Tabla 6). No obstante estas diferencias, sobre todo en lo que concierne a la Fase 20-50 kg, se pudo establecer que el grupo experimental consumió menos alimento comercial (0.470 kg de alimento menos cerdo<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>) en dicha fase, lo mismo ocurrió en la fase 50-100 (0.512 kg de alimento menos cerdo<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>) y, en



consecuencia, el consumo de alimento comercial promedio en la etapa 20-100 kg también fue menor (0.491 kg de alimento menos cerdo<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>) (Tabla 6).

En investigaciones (Méndez, 2014) similares a la presente, se encontró menor consumo de alimento convencional cuando a dicha dieta se le adicionó nopal (*Opuntia robusta*) al 5%, 10% y 15% cuyos consumos fueron 1.785, 1.725, 1.634, respectivamente vs 1.825 kg de alimento consumido cerdo<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> con una dieta con adición del 0% de nopal. Por el contrario, Almaguel *et al.* (2010), al incluir ensilado de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) a cerdos para abasto, obtuvieron un CAD de 2.430 kg cerdo<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> durante la etapa 20-100 kg, promedio mayor al obtenido en la presente investigación en el grupo de cerdos que consumieron nopal (2.300 kg). Sin embargo, los cerdos que recibieron *Manihot esculenta* Crantz como parte de su dieta alcanzaron el peso comercial (90-100 kg) en menor tiempo (14 semanas) en comparación con las 18 semanas requeridas por los cerdos evaluados en la presente investigación (Figura 5). De igual forma, la evaluación de otros insumos no convencionales incluidos en la dieta de los cerdos para abasto, tal como: el ensilado de pupa de cítricos (Cerisuelo *et al.*, 2010) determinó que en la fase 50-100 kg el CAD fue de 3.72 kg cerdo<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> cuando se incluyó 5% de dicho ensilado y de 4.03 kg cerdo<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> cuando la inclusión fue de 10%; consumos mayores al encontrado en el grupo de cerdos que consumieron nopal durante la misma fase (2.466 kg cerdo<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>) (Tabla 6).

Existen diferentes fuentes de fibra (Almaguel *et al.*, 2010; Cerisuelo *et al.*, 2010; Millet *et al.*, 2010; Aguilar, 2017) y, cada una de ella, presentan propiedades particulares y con efectos distinto. Sin embargo, la fibra dietética en general es resistente a la digestión enzimática (Kerr *et al.*, 2013; Bach, 2013; Lindberg, 2014; Atta *et al.*, 2017)



debido a las propiedades que presente. En cuanto a la fibra del nopal, esta produce viscosidad y propicia encapsulación de nutrientes del bolo alimenticio, encapsulando principalmente los compuestos lipídicos (Liu *et al.*, 2016). Además, el mucilago puede incrementar el volumen de la ingesta, creando un efecto de saciedad temprana (Montagne *et al.*, 2014). Liu *et al.* (2016) señalan, que el consumo de fibra provoca menor absorción de energía de la dieta, compensándola con la producción de ácidos grasos volátiles, principalmente acético, butírico y propiónico, y estimula la producción de colesterol hepático para mayor producción de bilis que ayude a la degradación de la grasa del alimento. Además, la fibra genera una mayor producción de hormonas que están involucradas en la regulación del consumo de alimento, mismas que provocan la liberación de péptidos anorexigénicos; lo que dan como resultado, un efecto de saciedad temprana (Bach, 2013; Lindberg, 2014; Chen *et al.*, 2014, Qingyun, 2016 y Atta *et al.*, 2017), aspecto que podría explicar el por qué los cerdos del grupo experimental evaluados mostraron menor ( $P < 0.05$ ) CAD que los cerdos alimentados convencionalmente (Tabla 6).

A pesar de que la adición de nopal (1% con base al peso vivo de los cerdos) a la dieta de los cerdos redujo ( $P < 0.001$ ) el CAD, no se encontró efecto ( $P = 0.803$ ) en la ganancia diaria de peso (GDP) de estos durante la fase experimental (18 semanas) (Tabla 7). Dicha GDP fue de  $0.754 \text{ kg cerdo}^{-1} \text{ día}^{-1}$  para los cerdos del grupo control y de  $0.759 \text{ kg cerdo}^{-1} \text{ día}^{-1}$  para el grupo experimental (Tabla 8).



Tabla 7. Análisis de Varianza de Ganancia Diaria de Peso (Kg) de los cerdos las fases 20-50 kg y 50-100 kg.

<b>F de V</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>
<b>Grupo</b>	1	0.00237397	0.00237397 <sup>NS</sup>
<b>Fase(Grupo)</b>	2	0.50149761	0.25074881*
<b>Semana(Grupo)</b>	32	10.35543700	0.32360741**
<b>Error</b>	674	25.93626156	0.03848110
<b>Promedio</b>		0.745	
<b>D.E.</b>		0.19	
<b>C.V.</b>		26.33	
<b>R<sup>2</sup></b>		0.50	

<sup>NS</sup>=No Significativo (P>0.05); \*\*= Altamente Significativo (P<0.001); \*=Significativo (P<0.05)

DeRouchey *et al.* (2007) establecen una GDP en cerdos de 20-100 kg de 0.743 kg cerdo<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>; similar a la observada en ambos grupos analizados (Tabla 8). Con respecto a las anidaciones, Semana(Grupo) (P=0.0001) y Fase (Grupo) (P=0.0016), estas presentaron efecto sobre GDP. En cuanto a los promedios entre grupos por fases (20-50 o 50-100 kg), no se encontraron diferencias (P>0.05) (Tabla 8). El NRC (2012), establece que en la Fase 20-50 kg los cerdos logran GDP de 1.1 kg, ganancia mayor a la observada en la presente investigación (0.663 y 0.688 kg cerdo<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> para el grupo control y experimental, respectivamente). Mientras que para la Fase 50-80 y 80-120 kg, el NRC (2012) determinó una GDP de 0.967 y 1.2 kg, respectivamente; lo que promediaría 1.083 kg cerdo<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> en una fase 50-120 kg, aun así, la GDP establecida por el NRC, es mayor a la observada en los cerdos de ambos grupos evaluados en esta investigación (Tabla 8).



Tabla 8. Media de Mínimos Cuadrados para Ganancia (kg) Diaria de Peso (GDP) de los cerdos de acuerdo con el Grupo y Fase.

Fase	Grupo	
	Control	Experimental
	Promedio ± E.E.	Promedio ± E.E.
20-50 kg	0.663 <sup>a1</sup> ± 0.04	0.688 <sup>a1</sup> ± 0.04
50-100kg	0.845 <sup>b1</sup> ± 0.02	0.830 <sup>b1</sup> ± 0.02
Promedio (20-100 kg)	0.754 <sup>1</sup> ± 0.01	0.759 <sup>1</sup> ± 0.01

Literales <sup>a, b</sup> indican diferencias (P<0.05) dentro entre Fases dentro de grupo.

Numerales <sup>1, 2</sup> indican diferencias (P<0.05) entre grupos dentro de cada Fase.

De acuerdo con la Tabla 8, la GDP del Grupo experimental (adición de nopal a la dieta) no se afectó (P>0.05) puesto que fueron similares a la GDP del Grupo control. Al respecto, Méndez (2014) observó GDP en cerdos durante la etapa 20-100 kg de 0.650, 0.623, 0.586 kg cuando a estos se les suministró una dieta convencional adicionada con nopal (*O. robusta*) al 5, 10, 15%; promedios de GDP diferentes entre sí (P<0.05), pero, menores a las obtenidas (≥0.754 kg) en los grupos evaluados en la presente investigación (Tabla 8). Diferencias que pudieron deberse a genotipo de los animales, calidad del alimento, y ambiente (Nyachoti *et al.*, 2004; Tauson, 2012; González *et al.*, 2016; Qingyun, 2016), desarrollo del tracto gastrointestinal, velocidad de tránsito de la ingesta por el tracto gastrointestinal (Souza *et al.*, 2012; Everaert *et al.*, 2017) etapa o fase de crecimiento (NRC, 2012). Así, por ejemplo, la utilización (cantidad y calidad) de los insumos para dieta pueden ser un actor clave para la eficiencia de la GDP. Gutiérrez *et al.* (2017), al utilizar Plátano verde (*Musa x paradisiaca*); Zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza*) y Camote (*Ipomea batatas*) vs una dieta convencional, encontraron mayores GDP en los cerdos alimentados con la dieta convencional (1.07 kg) y plátano verde (1.04 kg) en comparación con zanahoria (0.940 kg) y camote (0.910 kg). No obstante, dichas ganancias son mayores a las obtenidas en el grupo alimentado con la dieta convencional más nopal (0.759 kg: Grupo Experimental). El



plátano, la zanahoria y el camote posiblemente aumentan la GDP de los cerdos debido a que estos insumos contienen altos niveles de almidón en comparación con el nopal, y, por lo tanto, al adicionarlo a la dieta de los cerdos se proporciona mayor energía; lo cual permite, mayor GDP (Van Hees, 2012).

Aún y cuando no se encontró efecto de grupo para GDP, se pudo observar que, la adición del nopal a la dieta de los cerdos mejoró ( $P < 0.05$ ) la conversión alimenticia (CA) de estos (Tabla 9), la cual fue de 3.090 kg/kg vs 3.819 kg/kg en el grupo control. La conversión alimenticia reportada por Cabrera *et al.* (2012) durante la etapa 20-100 kg es mayor (3.7 kg/kg) a la observada en los cerdos del grupo experimental y menor a la del grupo control (Tabla 9). No obstante, Méndez (2014) reporta conversiones alimenticias mayores (2.74, 2.77 y 2.78 kg/kg) a las obtenidas en la presente investigación al adicionar a la dieta convencional 5, 10 y 15% de nopal (*O. robusta*). Lo mismo refiere Chen *et al.* (2014), al incluir fibra de guisante: la CA fue de 2.580 kg/kg, CA también mayor a la obtenida en el grupo experimental (3.09 kg/kg). Por el contrario, Gutiérrez *et al.* (2017), obtuvieron menor CA al incluir Plátano verde; Zanahoria blanca y Camote: 3.16, 3.49 y 3.57 kg/kg, respectivamente.

Tabla 9. Media de Mínimos Cuadrados para la Conversión Alimenticia de los cerdos de acuerdo al grupo y fase.

Fase	Grupo	
	Control	Experimental
	Promedio $\pm$	Promedio $\pm$
20-50 kg	4.301 <sup>a1</sup> $\pm$ 0.22	3.233 <sup>a2</sup> $\pm$ 0.22
50-100kg	3.337 <sup>b1</sup> $\pm$ 0.14	2.950 <sup>a2</sup> $\pm$ 0.14
Promedio	3.819 <sup>1</sup> $\pm$ 0.16	3.091 <sup>2</sup> $\pm$ 0.16

Literales <sup>a, b</sup> indican diferencias ( $P < 0.05$ ) dentro entre Fases dentro de grupo.

Numerales <sup>1, 2</sup> indican diferencias ( $P < 0.05$ ) entre grupos dentro de cada Fase.



Aun y cuando, la adición del 1% de nopal a la dieta de cerdos de 20-100 kg (Grupo experimental) pudo mostrar efecto hipoglucémico e hipocolesterolémico en estos animales, tal vez, dicho porcentaje de adición no fue suficiente como para que la hipoglucemia provocara el incremento del consumo de alimento, como se ha demostrado en cerdas en lactancias por efecto de la dieta adicionada con nopal (Ordaz *et al.*, 2017). Sin embargo, el hecho de que en los cerdos para abasto (20-100 kg) no se haya afectado su crecimiento (kg) debido a un menor consumo de alimento (Figura 5, Tabla 8) y que este menor consumo haya contribuido con una mejor CA, fue un hallazgo favorable, sobre todo cuando en la actualidad las investigaciones en la nutrición están enfocadas en reducir los costos de alimentación perjudicar el tiempo y el peso al mercado de los cerdos (Herrera *et al.*, 2013). Es posible que, la dieta adicionada con nopal provocara cambios en el estatus metabólico de los cerdos que la consumieron, aspecto que favoreció la digestión y absorción de los nutrientes presentes en dicha dieta (Gaytán, 2017) a tal grado que, no se encontró efecto de grupo sobre la duración (semanas) y el peso de los cerdos en cada una de las Fases evaluada ( $P < 0.05$ ).

De acuerdo con lo discutido en el párrafo anterior, es importante establecer la existencia de cambios en la morfometría e histología intestinal de los cerdos alimentados con una dieta a la cual se le adicionó nopal; puesto que, en estas porciones del tracto gastrointestinal es donde se lleva a cabo la mayor parte de la absorción y digestión de los nutrientes proporcionados en la dieta, y ello, ofrecería una mejor explicación del comportamiento productivo de los cerdos sometidos a la dieta adicionada con nopal. Se sabe que el tracto gastrointestinal del cerdo alcanza su



madurez a las 12 semanas de edad (Souza *et al.*, 2012), tiempo en el cual esta especie es capaz de utilizar dietas simples (Campabadal, 2009; García, 2010; NRC, 2012) Por lo cual, la fibra (en este caso del nopal no es susceptible de ser digerida por los cerdos, pues esto no secretan enzimas para hidrolizar los polisacáridos no amiláceos presentes en la fibra. Ello, en consecuencia, requiere de la fermentación microbiana, lo cual ocurre principalmente en el ciego y colon, y comienza en la parte distal del íleon. La microbiota intestinal fermentan la fibra en la dieta y esto genera ácidos grasos volátiles (AGV) o ácidos grasos de cadena corta, principalmente ácido acético, propiónico y butírico (Lindberg, 2014; Jha *et al.*, 2015; Gao *et al.*, 2015; Atta *et al.*, 2017; Zhang *et al.*, 2017).

Los AGV's son el producto de la fermentación microbiana y son fuente de energía para la proliferación celular y la regeneración de enterocitos y células caliciformes. Dicha proliferación y regeneración celular aumenta la longitud y peso del intestino, la altura de las vellosidades. Además, incrementa: el área de la superficie intestinal, la capacidad de absorción de nutrientes y el metabolismo (Barszcz *et al.*, 2011; Souza *et al.*, 2012; Kerr *et al.*, 2013; Bach, 2013; Qingyun, 2016; Atta *et al.*, 2017). En este sentido (longitud y peso del intestino) se encontró efecto de grupo ( $P=0.05$ ) sobre el peso del intestino delgado (PID), grueso (PIG) y longitud de intestino grueso (LIG) (Tabla 10); mismos que, presentaron diferencias ( $P<0.05$ ) de acuerdo con el grupo: El PID de los cerdos del grupo experimental (dieta convencional más nopal) fue mayor ( $P<0.05$ ) respecto al PID de los cerdos del grupo control, lo mismo ocurrió con la LIG (Tabla 10). Rieger (2016), establece que en cerdos adultos el intestino delgado presenta una longitud de 18.5 m y el intestino grueso 5.0 m. Betscher (2010), determinó



que el intestino mide en total 22.3 m; de los cuales, 18 m pertenecen al intestino delgado y 4.3 m al intestino grueso.

Tabla 10. Análisis de varianza para peso y longitud del Intestino Delgado y Grueso de acuerdo al grupo.

F de V	GL	PID	PIG	LID	LIG
		CM	CM	CM	CM
<b>Grupo</b>	1	0.55571102*	0.38184005*	1.24439360 <sup>NS</sup>	2.43148522*
<b>Error</b>	29	0.09040374	0.05557615	1.92108787	0.35944511
<b>Promedio</b>		2.248387	2.238710	19.13226	5.192581
<b>D.E.</b>		0.3	0.2	1.3	0.5
<b>C.V.</b>		13.3	10.53044	7.2	11.5
<b>R<sup>2</sup></b>		0.17	0.19	0.02	0.18

PID= Peso de Intestino Delgado; PIG: Peso de Intestino Grueso; LID: Largo de Intestino Delgado, LIG: Largo de Intestino Grueso.

\*=Significativo(P<0.05); <sup>NS</sup>=No Significativo (P>0.05)

De acuerdo con las diferencias (P<0.05) observadas en PID, PIG y LIG, estos se encuentran dentro de los rangos establecidos por diferentes investigadores (PID entre 1.7 a 2.5 kg) (Serena *et al.*, 2008; Aguilar, 2017; Camino *et al.*, 2017). Sin embargo, en el grupo experimental el PID promedio cerdo<sup>-1</sup> fue mayor (P<0.05) que en el grupo control (Tabla 11). Aspecto que concuerda con Méndez (2014), quien al incluir nopal (*O. robusta*) en la dieta de los cerdos el peso intestinal de estos aumentó (P<0.05), llegando incluso a pesar 2.5 kg. Sin embargo, el LID (19 m) de los cerdos del grupo experimental no mostró diferencia (P>0.05) con respecto a al LID promedio cerdo<sup>-1</sup> del grupo control (P<0.05) (Tabla 11), longitud mayor al reportado por Serena *et al.* (2008) (15.7 m) y por Aguilar (2017) (17.6 m); pero menor al encontrado por Camino *et al.* (2017) (21.7 m).



Tabla 11. Medias de Mínimos Cuadrados para parámetros de morfometría e histología intestinal cerdo<sup>-1</sup> grupo<sup>-1</sup>.

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

<sup>a, b</sup> = Literales diferentes indican diferencia (P<0.05) dentro de fila entre grupos.

<sup>1, 2, 3</sup> = Literales diferentes indican diferencias (P<0.05) dentro de columna entre grupos

En cuanto al PIG y al LIG, también se encontraron dentro de los rangos establecidos (Serena *et al.*, 2008; Aguilar, 2017; Camino *et al.*, 2017) para este órgano (PIG entre 2.2 a 2.7 kg y LIG entre 5.9 a 6.2 m). Una posible explicación para el mayor (P<0.05) PID observado en los cerdos del grupo experimental radicaría en la fibra dietética contenida en el nopal, puesto que se ha demostrado que esta tiene efectos positivos sobre la salud intestinal y su integridad de los intestinos de los cerdos: la fracción soluble de carbohidratos (pectinas) aumenta la viscosidad, hidrata el bolo alimenticio, reduce su velocidad de paso y permite mayor tiempo de mezcla para las enzimas digestivas. Ello provoca una mayor retención de agua y solubilidad de la ingesta, aspectos que permite no solo una mayor absorción de los nutrientes sino también una mayor fermentación más eficiente y rápida de la fracción insoluble del bolo alimenticio (Lindberg, 2014; Atta *et al.*, 2017). A demás, la fibra tiene efecto prebiótico: es resistente a la digestión enzimática y es fermentada por la microbiota que coloniza el tracto digestivo, lo que estimula el crecimiento y/o actividad de la microbiota intestinal



(Kerr *et al.*, 2013; Lindberg, 2014; Gao *et al.*, 2015). El nopal posee 9.8 y 4,2 % de fibra insoluble y soluble, respectivamente. Este mayor contenido de fibra soluble presente en el nopal posiblemente pudo propiciar una mayor fermentación en el intestino grueso y generar ácidos grasos para la regeneración y el crecimiento celular del tracto gastrointestinal (Savón *et al.*, 2008). Aspecto que pudiera explicar el mayor peso ( $P < 0.05$ ) de los intestinos de los cerdos que consumieron nopal (Tabla 11).

Otro cambio que se observó, aparte de la morfometría intestinal, cuando se incorpora mayor cantidad de fibra al alimento, de los cerdos es las transformaciones de las vellosidades intestinales (Souza *et al.*, 2012). En este sentido, se encontró efecto de grupo ( $P = 0.001$ ) sobre la longitud de las vellosidades intestinales (LVI) cerdo<sup>-1</sup> porción<sup>-1</sup> evaluada (Tabla 11) y en donde el LVI cerdo<sup>-1</sup> grupo<sup>-1</sup> fue de: 1853.02  $\mu\text{m}$  para G1 y de 2265.05  $\mu\text{m}$  para G2, ambos promedios diferentes ( $P < 0.05$ ). El mismo comportamiento se encontró al evaluar los promedios de LVI porción<sup>-1</sup> intestinal cerdo<sup>-1</sup> grupo<sup>-1</sup>, las LVI del G2 fueron mayores en: Duodeno, yeyuno, ciego y colon (Tabla 11, Imagen 6, 7 y 9).

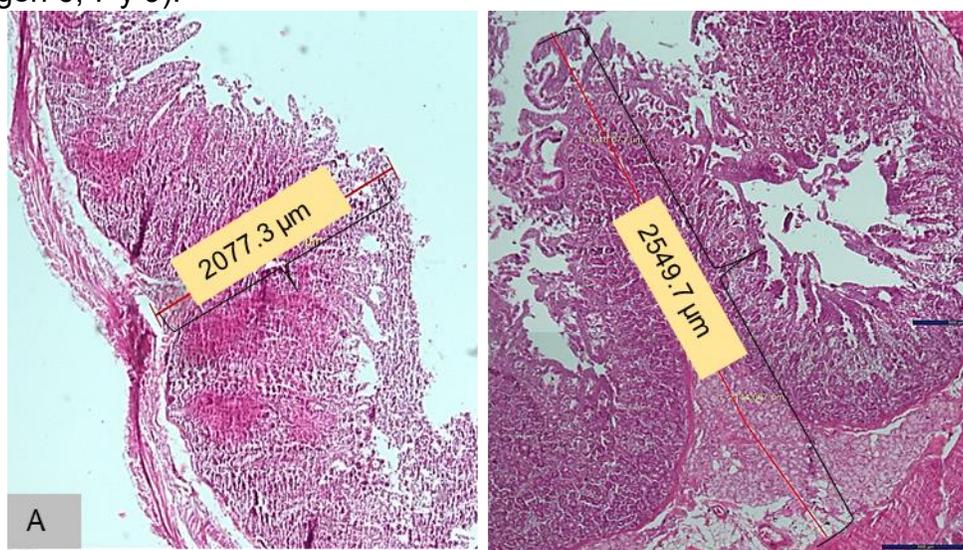


Figura 6. Longitud de las vellosidades intestinales de los cerdos en porción duodeno. A: Grupo Control o G1. B: Grupo Experimental o G2



Giannenas *et al.* (2016), al utilizar una mezcla de un probiótico (35 mg/kg con un contenido de  $2 \times 10^{10}$  CFU/gr *Enterococcus faecium*), oligosacáridos de manano (2 gr/kg Biomos®) ácidos orgánicos (5 g/kg con un contenido de 100% de ácido benzoico) (Dieta Mixta) en cerdos de 113 días de edad (Large White x Landrace x Duroc) con un contenido de 42.6 g/kg de fibra cruda, encontraron una mayor ( $P > 0.05$ ) altura de las vellosidades intestinales de yeyuno en comparación con la sola inclusión de oligosacáridos de manano (1 gr/kg Biomos®). Estas diferencias pudieron deberse a la combinación de aditivos alimenticios tanto en la investigación de estos autores (Giannenas *et al.*, 2016) como lo encontrado en la presente investigación (Tabla 11, Figura 7) puesto que la fibra tiene efecto prebiótico (Lindberg, 2014). En otro sentido, Serena *et al.* (2008) al utilizar dos dietas altas en fibra (43.1% y 45.1%), no encontraron diferencias ( $P > 0.05$ ) en la morfología del intestino delgado y ciego. Sin embargo, al medir la profundidad de las criptas (variable no medida en la presente investigación) observaron una mejoría con la dieta que contenía 43.1% de fibra.

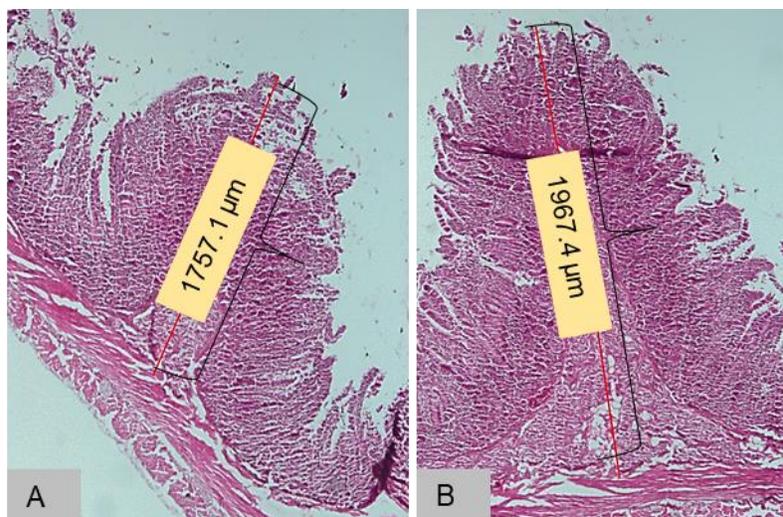


Figura 7. Longitud de las vellosidades intestinales de los cerdos en porción yeyuno. A: Grupo Control o G1. B: Grupo Experimental o G2



Chen *et al.*, (2014) al evaluar la inclusión de fibra de guisante y fibra de soya a la dieta de cerdos, tampoco encontraron diferencias ( $P>0.05$ ) en la LVI respecto a las LVI de los cerdos alimentados con la dieta control. Sin embargo, la LVI, en yeyuno e íleon fueron mayores ( $P<0.05$ ) en los cerdos sometidos a la inclusión de fibra de guisante vs dieta con inclusión de fibra de soya. Estos autores reportan que la mejora de la longitud de las vellosidades intestinales está relacionada con la concentración del ácido butírico, sugiriendo que este juega un rol importante en promover la mejora de la morfología intestinal.

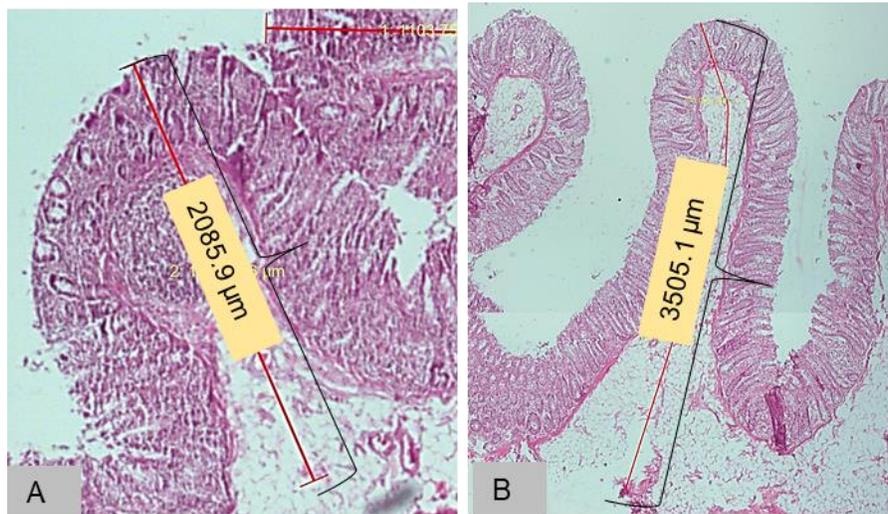


Figura 8. Longitud de las vellosidades intestinales de los cerdos en porción ciego. A: Grupo Control o G1. B: Grupo Experimental o G2

Chen *et al.* (2014) y Rekiel *et al.* (2014) establecieron, que la suplementación de fibra dietaria en las dietas de los cerdos altera la morfología intestinal de cerdos en crecimiento y finalización: incrementa la proliferación de células intestinales. En este sentido, se considera que las disacaridasas, secretadas en la membrana de borde de cepillo por las células epiteliales que recubren las vellosidades intestinales, tienen una correlación positiva con la altura de las vellosidades intestinales de los cerdos



(Tsukahara *et al.*, 2012; Everaert *et al.*, 2017). Lo que explicaría, hasta cierto punto, los cambios en las LVI porción<sup>-1</sup> cerdo<sup>-1</sup> grupo<sup>-1</sup> encontrados en la presente investigación (Tabla 11, Figura 6, 7, 8, 9).

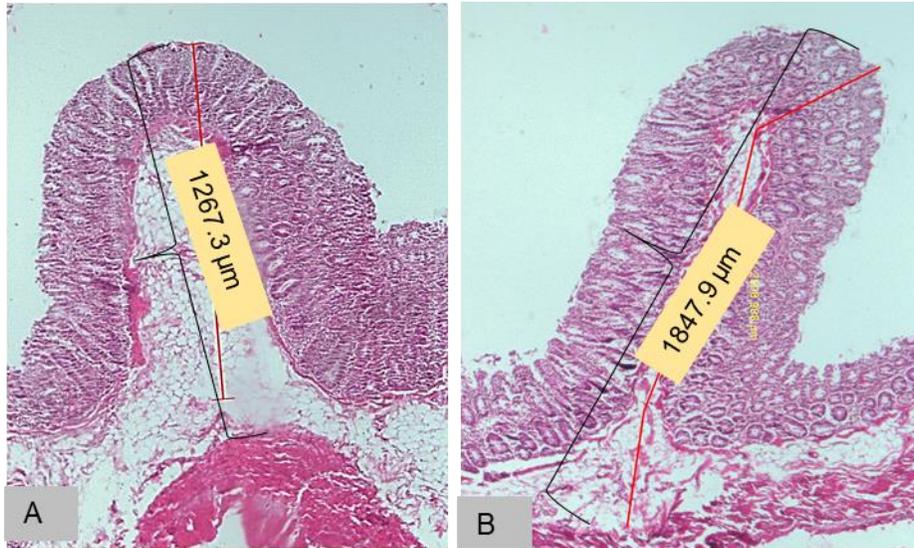


Figura 9. Longitud de las vellosidades intestinales de los cerdos en porción colon trascendente. A: Grupo Control o G1. B: Grupo Experimental o G2

No obstante, Rekiel *et al.* (2014), argumentan que al aumentar el nivel de fibra a la dieta se produce una disminución del área de absorción del intestino delgado e incrementa la longitud del colon; lo cual provoca; decremento en la tasa de crecimiento de los animales. Sin embargo, este efecto solo se observa cuando la fibra incluida a la dieta son sustancias análogas de la fibra (Escudero *et al.*, 2006). Por el contrario, la fibra que aporta el nopal es considerada como fibra digestible (Hernández *et al.*, 2010; Chávez, 2012; Gutiérrez, 2012; Arroyo, 2014; Torres *et al.*, 2015); por lo cual, la adición del 1% de nopal (con base en el peso vivo del cerdo) no ocasionó decremento en el crecimiento (Kg) de los cerdos: la ganancia diaria de peso (GDP) fue de 0.759 kg cerdo<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> y la conversión alimenticia fue de 3.1 kg/kg en estos cerdos (G2) vs 0.754 kg cerdo<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> y la conversión alimenticia fue de 3.8 kg/kg en el G1 (Tabla 8 y 9).



## 8. CONCLUSIONES

- ✓ La adición del 1% de Nopal de acuerdo al peso vivo de los cerdos a la dieta convencional de estos disminuye el consumo diario de alimento, debido al aumento de la fibra (que aporta el nopal) en la dieta, la cual probablemente genera incremento en el llenado gástrico y retraso en el tiempo de tránsito intestinal, lo que ocasiona saciedad temprana en los cerdos.
- ✓ La disminución del consumo diario de alimento en los cerdos que consumen nopal como parte de su dieta no modifica su crecimiento y desarrollo, debido a que la ingesta de nopal provoca el incremento del peso de los intestinos y de la longitud de las vellosidades intestinales del duodeno. Estos cambios generan mayor área de absorción de nutrientes y en consecuencia un mayor aprovechamiento de nutrientes contenidos en la dieta.; lo que se refleja en una mejora en la conversión alimenticia.
- ✓ El nopal (*O. ficus-indica*) como parte de la dieta convencional de los cerdos es una alternativa nutricional viable que puede contribuir a la reducción de los costos de alimentación en la producción de cerdos para abasto.



---

## BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar M. R. (2017). Inclusión de harina de follaje y raíz de yuca. (*Manihot esculenta Crantz*) en cerdos en desarrollo y su efecto sobre el comportamiento productivo y morfometría del tracto gastrointestinal. Tesis. Facultad de Ciencia Animal. Universidad Nacional Agraria. Nicaragua. P. 41.
- Almaguel R. E.; Piloto J. L.; Cruz E.; Rivero M y Ly J. (2010). Comportamiento productivo de cerdos en crecimiento ceba alimentados con ensilado enriquecido de Yuca (*Manihot esculenta Crantz*). Revista Computadorizada de Producción Porcina. 17(3):247-252.
- Alonso P. F. y Rodríguez D. E. (2017). Repercusión en la porcicultura mexicana ante el posible fin de Tratado de Libre Comercio de América del Norte. Departamento de Economía, Administración y Desarrollo Rural. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de México. (En Línea). <http://bmeditores.mx/repercusion-en-porcicultura-mexicana/> [Consulta: 27 noviembre 2017].
- Alves F. A.; Gomes S. R.; Ferrugera G. J.; Oliveira S. L. y Shigueo F. R. (2009). Influence of environmental temperature, dietary energy level and sex on performance and carcass characteristic of pigs. Braz. J. Vet. Anim. Sci. 46(1): 32-39.
- Andretta I.; Pomar C.; Kipper M.; Hauschild L. y Rivers J. (2016). Feeding behavior of growing-finishing pigs reared under precision feeding strategies. J. Anim. Sci. 94: 3042-3050.
- AOAC (2009). Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists. 15tg Edition.
- Arroyo H. A. (2014). Estudios de pre-formulación y formulación de extracto de nopal (*Opuntia ficus-indica*) en polvo dispersable como tratamiento alternativo para la diabetes mellitus. Tesis. Facultad de Estudios Superiores de Zaragoza. Universidad Nacional Autónoma de México. P. 89.



- Argenti P. y Espinoza F. (2007). Alimentación alternativa para cerdos. FONAIAP-Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Instituto de Investigaciones Zootécnicas. Macaray. SIAN. P. 6.
- Atta K. y Martin M. C. (2017). Nutritional and metabolic consequences of feeding high-fiber diets to swine. A review. *Animal Nutrition and Feed Science*. Elsevier. *Engineering* 3:716-725.
- Bach K. K. (2013). Características químicas y valor nutritivo de la fibra para ganado porcino. XXVI Curso de especialización FEDNA p. 153-172.
- Bai L. L.; Wu H.; Liu H.; Zhang L.; Zhang S.; Liu L.; Piao X. S.; Liu Y. H.; Thacker P.A. y Wang F. L. (2017). Effects of dietary calcium levels on growth performance and bone characteristics in pigs in grower-finisher-transitional phase. *Elsevier. Animal Feed Science and Technology*. 224: 59-65.
- Barszcz M. y Skomial K. (2011). The development of the small intestine of piglets – chosen aspects-. *Journal of Animal and Feed Sciences*. 20:3-15.
- Bártoli F.J. (2010). Factores que afectan la conversación alimenticia en cerdos. Informe de actualización técnica. EEA. Marcos Juárez. P. 20.
- Betscher J. S. (2010). Untersuchungen zum Einfluss der Vermahlungsintensität und Konfektionierung des Mischfutters auf morphologische, histologische und immunologische. Parameter im Magen-Darm. Takt von jungen Schweinen. Inaugural-Dissertation. Doktorin de Veterinärmedizin Tierärztliche Hochschule Hannover. P. 157.
- Bobadilla S. E.; Espinoza O. A. y Martínez C. F. (2010). Dinámica de la producción en México de 1980 a 2008. *Revista Mexicana Ciencia Pecuaria*. 1(3): 251-258.
- Breves G. B. y Schröder M. A. (2010). Luminal and endocrine factors for regulation of intestinal monosaccharide and Ca<sup>2+</sup> transport. *Elsevier. Livestock Science*. 134:4-10.



- Cabrera L. R.; Lezcano P. y M. Castro (2012). Uso de ensilado de raíces de yuca y residuos de granos de maíz en la ceba de cerdos. *Revista Computarizada de Producción Porcina*. 19(3): 196-200.
- Camino Y. C.; Abeledo M.; Tosar M.J.; Acosta D. C. (2014). Morfometría de órganos y alimentación no convencionales en cochinos CC21. *Ciencia y Tecnología Ganadera* 8(1):43-48
- Campabadal C. (2009). Guía técnica para la alimentación de cerdos. Colaboración de Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). Fundación para el Fomento y Promoción de la Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria de Costa Rica (FITTACORI). Sistema Unificado de Información Institucional (SUNII). Programa de Investigación de Transferencia de Tecnología Agropecuaria en Cerdos (PITTA CERDOS). Costa Rica. P. 46.
- Castillo F. S.; Estrada L.; Margalef M. I. y Tófoli S. (2013). Obtención de harina de nopal y formulación de alfajores de alto contenido en fibra. *DIAETA*. 31(142): 20-26.
- Castillo G. M. (2006). Development of gut microbiota in the pig: modulation of bacteria communities' by different feeding strategies. Memória per accedir al grau de Doctor. Departament de Ciència Animal i Dels Aliments. Facultat de Veterinària de Barcelona. Universitat Autònoma de Barcelona, Bellaterra, Barcelona.
- Celma R. (2015). Situación de la industria porcícola mexicana. *Porcicultores y Su Entorno*. 17(106):114-116.
- Cerisuelo A.; Castelló L.; Moset V.; Martínez M.; Hernández P.; Piquer O.; Gómez E.; Gasa J. y Lainez M. (2010). The inclusion of ensiled citrus pulp in diets for growing pigs: Effects on voluntary intake, growth performance, gut microbiology and meat quality. Elsevier. *Livestock Science*. 134: 180-182.
- Chávez L. E. (2012). Estudio exploratorio del efecto de la adición de Nopal (*Opuntia ficus-indica*) a la leche cruda sobre la cuentas bacterianas Mesófilas aerobias



y Coliformes. Tesis. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Michoacán. México. p. 24

Chen H.; Mao X. B.; Che L.; Yu B.; He J.; Yu G. Q.; Han Z. Q.; Huang P. y Chen Z. D. (2014). Impact of fiber types on gut microbiota, gut function in fattening pigs. *Animal Feed Science Technology*. Elsevier. 195: 101-111.

Da Silva A. P. (2013). Caracterización e influencia de los factores de producción en el cebo de cerdos en condiciones comerciales. Tesis. Facultad de Veterinaria de Barcelona. Universitat Autònoma de Barcelona, Bellaterra, Madrid, España. P. 210.

Den Hartog L. y Smits C. (2005). Estrategias de alimentación y manejo para alcanzar la uniformidad y calidad deseadas en porcino. XXI Curso de Especialización FEDNA. P. 327-339.

DeRouche J. M.; Dritz S.S.; Goodband R. D.; Nelssen J. L. y Tokach M. D. (2007). *General Nutrition Principles for Swine*. Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service, Kansas State University. P. 44.

Di Lorenzo F.; Silipo A.; Molinaro A.; Parilli M.; Schiraldi C.; D'Agostino A.; Izzo E.; Rizza L.; Bonina A.; Bonina F. y Lanzetta R. (2017). The polysaccharide and low molecular weight components of *Opuntia ficus indica* cladodes: Structure and skin repairing properties. *Carbohydrate Polymers*. 157: 128-136.

Díaz P. D. (2015). Generalidades de la producción del cerdo. Manual. Facultad de Zootecnia y Ecología. Universidad Autónoma de Chihuahua. P. 127.

Escuderos A. E. y González S. P. (2006). La fibra dietética. *Nutrición Hospitalaria*. 2: 61-72.

Estévez A. J. (2016). Manejo alimentario en las etapas de preceba y ceba en una unidad integral de producción porcina. *Revista de Producción Animal*. 28(2-3):12-19.



- Everaert N.; Van Cruchten S. Weström B.; Bailey M.; Van Ginneken C.; Thymann T. y Pieper R. (2017). A review on early gut maturation and colonization in pigs, including biological and dietary factors affecting gut homeostasis. Elsevier. Animal Feed Science and Technology. P. 55.
- FIRA (2015). Panorama agroalimentario: carne de porcino 2015. Dirección de Investigación y Evaluación Económica y Sectorial Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. Documento elaborado con información disponible a junio de 2015 (FIRA). P. 34. (En Línea) [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/61951/Panorama\\_Agroalimentario\\_Carne\\_Porcino\\_2015.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/61951/Panorama_Agroalimentario_Carne_Porcino_2015.pdf) [Consulta 27 Noviembre 2017].
- FIRA (2016). Panorama agroalimentario: carne de cerdo 2016. Dirección de Investigación y Evaluación y Sectorial. Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. Documento elaborado con información disponible a agosto de 2016. (FIRA). P. 33 (En Línea). [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200634/Panorama\\_Agroalimentario\\_Carne\\_de\\_Cerdo\\_2016.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200634/Panorama_Agroalimentario_Carne_de_Cerdo_2016.pdf) [Consulta: 27 noviembre 2017].
- FIRA (2017). Panorama agroalimentario: carne de bovino 2017. Dirección de Investigación y Evaluación Económica y Sectorial. Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. Documento elaborado con información disponible a marzo 2017 (FIRA). P. 26. (En Línea) [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200639/Panorama\\_Agroalimentario\\_Carne\\_de\\_bovino\\_2017\\_1\\_.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200639/Panorama_Agroalimentario_Carne_de_bovino_2017_1_.pdf) [Consulta: 27 Noviembre 2017].
- FIRA (2017). Panorama agroalimentario: carne de cerdo 2017. Dirección de Investigación y Evaluación Económica y Sectorial Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. Documento elaborado con información disponible a marzo de 2017 (FIRA). P. 27. (En Línea) <http://www.ugrpg.org.mx/pdfs/Panorama%20Agroalimentario%20Carne%20de%20cerdo%202017.pdf> [Consulta: 27 Noviembre 2017].



- Forcada F.; Guillén R.; Babot D. y Álvarez J. (2014). Condiciones ambientales en el interior de un cebadero porcino en el Valle del Ebro. Influencia de la orientación frente a los vientos dominantes. ITEA. 110(3): 236-250.
- Frost G.; Sleeth L. M.; Sahuri A. M.; Lizarbe B.; Cerdan S.; Brody L.; Anastosovska J.; Ghourab S.; Hankir M.; Zhang S.; Carling D.; Swaan R. J.; Gibson G.; Viardot A.; Morrison D.; Thomas E. L. y Bell D. J. (2014). The short-chain fatty acid acetate reduces appetite via central homeostatic mechanism. Macmillan Publishers Limited. Nature Communications. P. 11.
- Gao L.; Chen L.; Huang Q.; Meng Q.; Meng L.; Zhong R.; Liu C.; Tang X. y Zhang H. (2015) Effect of dietary fiber type on intestinal nutrient digestibility and hindgut fermentation of diets to finishing pigs. Elsevier. Livestock Science 174:53-58.
- García C. A.; Ortega Y. D.; Yagüe A. P.; González J. G. y Artiga C. G. (2012). Alimentación práctica del cerdo. Revista Complutense de Ciencias Veterinarias. 6(1): 21-50.
- García J. N. (2010). Efecto del plano de nutrición sobre el comportamiento productivo de cerdos en la etapa de crecimiento-desarrollo. Tesis. División de Ciencia Animal. Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". Coahuila, México. P. 30.
- García N. F.; López H. M.; Peña V. C.; Romo G. C. y Marmolejo S. Y. (2018). Chemical characteristics of non-starch polysaccharides of *Opuntia cladodes* as evidence of changes through domestication. Food Bioscience. P. 35.
- Gaytán S. B. (2017). Efecto de la adición (*Opuntia ficus indica*) en la dieta de cerdos para abasto sobre el consumo de agua alimento, rendimiento de la canal y producción de gas metano (CH<sub>4</sub>) en excretas. Tesis. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Mich. México. P. 97.
- Giannenas I.; Doukas D.; Karamoutsios A.; Tzora A.; Bonos E.; Skoufos I.; Tsinas A.; Christaki E.; Tontis D. y Florou P. P. (2016). Effects of *Enterococcus faecium*,



mannan oligosaccharide, benzoic acid and their mixture on growth performance, intestinal microbiota, intestinal morphology and blood lymphocyte subpopulations of fattening pigs. Elsevier. Animal Feed Science and Technology. 220. 159-167.

González, H. M.; Ambrosio, M. K y Sánchez E. S. (2016). Regulación neuroendocrina del hambre, la saciedad y mantenimiento del balance energético. Sistema de información científica Redalyc. P. 11

Guevara A. J. (2009). Efectos biofuncionales del Nopal y la Tuna. Revista Horticultura Internacional. 71:1-9.

Gutiérrez A. L. (2012). Identificación de compuestos de calcio en cladodios de nopal (*Opuntia ficus-indica*). Tesis. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Autónoma de Querétaro. P. 101.

Gutiérrez F.; Guachamin D. y Portillo A. (2017). Valoración nutricional de tres alternativas alimenticias en el crecimiento y engorde de cerdos (*Sus scrofa domestica*) Nanegal-Pichincha. Revista de Ciencias de la vida. 26(2):155-162.

Hernández L. S.; Rodríguez C. J. Lemus F.; Grageola N. F. y Estévez M. (2016). Avocado waste for finishing pigs: impact on muscle composition and oxidative stability during chilled storage. Meat Science. 116: 186-192.

Hernández U. M; Contreras P.M.; Pérez T.E.; Hernández Q. G.; Rojas M. J.; Cortes M. E. y Rodríguez G. M. (2010). Study of nutritional composition of nopal (*Opuntia ficus indica* cv. Redonda) at different maturity stages. Open Nutr J. 4:1-16.

Herrera R.; Pérez A.; Arece J.; Hernández A. y Iglesias J. (2013). Utilización de grano de sorgo y forraje de leñosas en la ceba porcina. Revista Pastos y Forrajes. 36(1): 56-63.

Hooda, S.; Metzler Z. B.; Vasanthan T. y Zijlstra R. T. (2010). Effects of viscosity and fermentability of purified non-starch polysaccharides on ileal and total tract nutrient digestibility in ileal-cannulated grower pigs. Elsevier. Livestock Science. 134: 79-81.



- Hwan H. S.; Kang I. y Sung L. S. (2017). Antidiabetic effect of fresh nopal (*Opuntia ficus-indica*) in low-dose Streptozotocin-induced diabetic rats fed a high-fat diet. Hindawi. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine. 4380721:8
- INEGI (2009). Prontuario de Información geográfica municipal de los Estado Unidos Mexicanos. Tarímbaro, Michoacán de Ocampo. p. 9.
- Jha R. y Berrocoso J. F. (2015). Dietary fiber and protein fermentation in the intestine of swine and their interactive effects on gut health and on the environment: A review. Elsevier. Animal Feed Science and Technology. 212: 18-26.
- Kallabis K. E. y Kaufmann O. (2012). Effect of a high-fibre diet on feeding behavior of fattening pigs. Archiv. Tierzucht. 55(3): 272-284.
- Kaur M.; Kaur A. y Sharma R. (2012). Pharmacological actions of *Opuntia ficus indica*: A Review. Journal of Applied Pharmaceutical Science. 02(07):15-18.
- Kerr J.B. y Shurson C. G. (2013). Strategies to improve fiber utilization in swine. BioMed Central. Journal of Animal Science and Biotechnology. 4:11.
- Lehotayová A.; Bucko O. y Debrecéni O. (2016). Nutritional compensation of energy intake in fattening pigs under conditions of high temperature. Research in pig breeding 10(2): 21-24.
- Lindberg J. E. (2014). Fiber effects in nutrition and gut health in pigs. Journal of Animal Science and Biotechnology. 5:15.
- Lindstrom D.; Amanto F. y Fernández P. M. (2016). Efecto del confinamiento de cerdos en la etapa de desarrollo en una granja de sistema mixto. Facultad de Ciencias Veterinarias. UNCPBA. Tesis. Tandil, Argentina. P. 36.
- Littell R. C.; Henry P. R. y Ammerman C. B. (1998). Statistical Analysis of Repeated Measures Data Using SAS procedures. Journal of Animal Science 76: 1216-1231.



- Liu Q.; Zhang W. M.; Zhang Z. J.; Zhang Y. J.; Zhang Y. W.; Chen L. y Zhuang S. (2016). Effect of fiber source and enzyme addition on the apparent digestibility on nutrients and physicochemical properties of digesta in cannulated growing pigs. Elsevier. *Animal Feed Science and Technology*. 216: 262-272.
- López N. (2012). Uso y calidad de materias primas en la alimentación de cerdos. Asociación Venezolana de Producción Animal. XVI Congreso Venezolano de Producción Animal. VI Congreso Internacional de Ganadería Doble Propósito. P. 6.
- López, N. (2012). Uso y calidad de materias primas en la alimentación de cerdos. Asociación Venezolana de Producción animal. XVI Congreso venezolano de producción animal. VI Congreso Internacional de Ganadería Doble Propósito P. 6.
- Martínez M. I.; Val A. D.; Tzintzun R. R.; Conejo N. J. y Tena M. M. (2015). Competitividad privada, costos de producción y análisis del punto de equilibrio en unidades representativas de producción porcina. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 6(2): 193-205.
- Meisinger J. D. (2010). National Swine Nutrition Guide. U.S. Pork Center of Excellence. Communities of National Cooperation. Iowa State University. Pi. 07-02-09. P. 37.
- Mejía R. P.; Díaz C. M. y Moral B. E. (2007). Importaciones totales y de carne de cerdo en México en contexto del TLCAN: un enfoque de corrección de error. *Redalyc Ciencia ergo sum*. 14(3): 263-271.
- Méndez L. F. (2014). Utilización de opuntias en la alimentación de animales domésticos. Tesis. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Millet S.; Meynz T.; Aluwé M.; Brabander D. y Ducatelle R. (2010). Effect of grinding intensity and crude fibre content of the feed on growth performance and gastric



- mucosa integrity of growing-finishing pigs. Elsevier. Livestock Science. 134: 152-154.
- Montagne L.; Loisel F.; Le Naou T; Gondret F.; Gilbert H. y Le Gall M. (2014). Difference in short-term responses to a high-fiber diets in pigs divergently selected for residual feed intake. Journal of Animal Science. 92:1512-1523
- NOM-033-ZOO-1995. Norma Oficial Mexicana. Sacrificio Humanitario de los animales domésticos y silvestres.
- NRC (2012). Nutrient Requirements of Swine. 11<sup>th</sup> Revised Edition. The National Academies Press. P. 189.
- Núñez L. M.; Paredes L. O. y Reynosa C. R. (2013). Functional and hypoglycemic properties of nopal cladodes (*O. ficus-indica*) at different maturity stages using in vitro and in vivo tests. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 61:10981-10986.
- Nyachoti, C.M.; Zijlstra R. T.; de Lange C. F. y Patience J. F. (2004). Voluntary feed intake in growing-finishing pigs: A review of the main determining factors and potential approaches for accurate predictions.
- Ordaz O. G.; Juárez C. A.; Pérez S. R.; Román B. R. y Ortiz R. R. (2017). Effect of spineless cactus intake (*Opuntia ficus-indica*) on blood glucose levels in lactating sows and its impact of feed intake, body weight loss, and weaning estrus-interval. Trop. Anim. Health Prod. 49:1025-1033.
- Ortiz R. R.; Orozco G. A.; Val A. D.; Portillo M.L. y Pérez S. R. (2017). Efecto de la adición de nopal (*Opuntia ficus-indica*) a la dieta de cerdas lactantes sobre la producción y calidad de la leche. Nova Scientia. 9(18): 290-312.
- Ortiz R. R.; Pérez S. E.; Aguilar B. J.; Valdéz A. J.; Val A. D.; Esquivel C. J. y Martínez F. H. (2015). Efecto de la adición de mucílago de *Opuntia ficus-indica* y *Opuntia atropes* a la leche cruda sobre bacterias mesófilas aerobias y coliformes totales. Nova Scientia. 8(16): 106-122.



- Otero M. W. (2012). Efecto de la Saponia Hibotek (*quillaja saponaria*) en los alimentos de cerdos en las etapas de crecimiento y engorde. Tesis. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Ciencias Pecuarias. Escuela de Ingeniería Zootécnica. P. 72.
- Pérez F. J. (2013). Fisiología digestiva y utilización de aditivos y nutrientes. FEDNA. XXIX Curso de especialización FEDNA. P. 33-57.
- Plan de Desarrollo Integran del Estado de Michoacán 2012-2015. Programa Sectorial de Desarrollo Rural 2012-2015. Gobierno del Estado de Michoacán de Ocampo. P. 96. (En Línea).<http://publicadorlaip.michoacan.gob.mx/itdif/2014/71/Programa%20Sectorial%20de%20Desarrollo%20Rural%202012-2015.pdf> [Consulta: 27 Noviembre 2017].
- Qingyun L. J. (2016). Factors involved in the regulation of feed and energy intake of pigs. *Animal Feed Science and Technology*. P. 39.
- Ramón, V. D. (2016). Efecto del butirato de sodio en la respuesta productiva y digestiva de cerdos en la etapa de iniciación, crecimiento y desarrollo. Tesis. Licenciatura de Ingeniero Agrónomo Zootecnista. Universidad Autónoma del Estado de México. P. 56.
- Rekiel A.; Więcek J.; Cichowickz M.; Bielecki W. y Wieszczy P. (2014). The effect of fibre level in the mixture on the state of intestinal epithelium of fatteners. *Animal Science*. 53:61-66
- Rieger J. (2016). The intestinal mucosal network in the pig: A Histological View on Nutrition-Microbiota-Pathogen-Host-Interactions. Inaugural-Dissertation PhD. Aus dem Institut für Veterinär-Anatome des Fachbereichs Veterinärmedizin der Frein Universität Berlin Journal-Nr.: 3877. P. 115.
- Rieger J.; Janczyk P.; Hünigen H.; Neumann K. y Plendl J. (2015). Intraepithelial lymphocyte numbers and histomorphological parameter in the porcine gut after



*enterococcus faecium* NCIMB 10415 feeding in a *Salmonella* Typhimutium challenge. *Veterinary Immunology and Immunopathology* 164(1-2):40-50.

SAGARPA (2010). La producción de carne en México 2010. Claridades Agropecuarias. Coordinación General de Ganadería. (SAGARPA) 107: 21.

SAGARPA (2014). Secretaria de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación. Porcicultura de Michoacán Libre de Aujesky: SAGARPA. Boletín No. 138. P. 2. (En Línea) <http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/michoacan/boletines/2014/octubre/Documents/B1722014.PDF> [Consulta: 23 diciembre 2017].

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

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

SEDRUA (2016). Secretaria de Desarrollo Rural y Agroalimentario. Michoacán recupera su potencial porcícola: SEDRUA. (En Línea) <http://sedrua.michoacan.gob.mx/michoacan-recuperar-su-potencial-porcicola-sedrua/> [Consulta: 23 diciembre 2017].

Serena A.; Hedemann M. S.; y Bach K. K. (2008). Influence of dietary fiber on luminal environment and morphology in the small and large intestine of sows. *Journal of Animal Science.* 86: 2217-.2227.

SIAP (2017). Servicio de información agroalimentaria y pesquera. Avance Mensual de la producción pecuaria. (En Línea). [http://infosiap.siap.gob.mx/repoAvance\\_siap\\_gb/pecAvanceEdo.jsp](http://infosiap.siap.gob.mx/repoAvance_siap_gb/pecAvanceEdo.jsp) [Consulta: 1 Enero 2018]

SIAP (2018). Servicio de información agroalimentaria y pesquera. Avance Mensual de la producción pecuaria. (En Línea)



[http://infosiap.siap.gob.mx/repoAvance\\_siap\\_gb/pecAvanceEdo.jsp](http://infosiap.siap.gob.mx/repoAvance_siap_gb/pecAvanceEdo.jsp)

[Consulta: 8 Mayo 2018].

- Souza C. T.; Mariscal L. G.; Escobar G. K.; Aguilera B. A. y Magné B. A. (2012). Cambios nutrimentales en el lechón y desarrollo morfofisiológico de su aparato digestivo. *Vet. Mex*, 43(2): 155-173.
- Tauson A. H. (2012). Feed intake and energy supply: growing pigs. In *Nutritional physiology of pigs: with emphasis on Danish production conditions*. Vidcenter for Swineproduktion, Landbrug & Fodevarer.
- Torres P. R.; Morales C. D.; Ballinas C. M. y Nevárez M. G. (2015). El nopal planta del semi desierto con aplicaciones en farmacia, alimentos y nutrición animal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 6(5): 1129-1142.
- Tsukahara T.; Kishino E.; Inoue R.; Nakanishi N.; Nakayama K. Ito T. y Ushida K. (2012). Correlation between villous height and the disaccharidase activity in the small intestine of piglets from nursing to growing. *Animal Science Journal* p. 1.6.
- Van Hees, H. (2012). Avances recientes en nutrición de cerdos en crecimiento efectos nutricionales y funcionales de ingredientes alimenticios y nutrientes. Avances recientes en nutrición porcina. XXVII Curso de Especialización FEDNA. P. 249-268.
- Villamar A. L. y Barrera W. M. (2006) Situación actual y perspectiva de la producción de carne de porcino en México 2006. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. SAGARPA. P. 50.
- Zhang Y.; Liu Q.; Zhang W.; Zhang Z.; Wang W. y Zhuang S. (2017). Gastrointestinal microbial diversity and short-chain fatty acid production in pigs fed different fibrous diets with or without cell Wall-degrading enzyme supplementation. Elsevier. *Livestock Science*. 207:105-116.