



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

TESIS

**EFFECTO DE LA ADICIÓN DEL NOPAL (*Opuntia ficus-indica*) A
LA DIETA DE CERDOS EN CRECIMIENTO (20-100 KG)
SOBRE LA VELOCIDAD DE TRÁNSITO DEL ALIMENTO EN
EL TRACTO GASTROINTESTINAL**

PRESENTA:

PMVZ: GABRIELA JIMÉNEZ ZAVALA

PARA OBTENER EL TÍTULO DE
MEDICA VETERINARIA ZOOTECNISTA

ASESOR:

MC. RUY ORTIZ RODRÍGUEZ

CO-ASESOR:

MC. MANUEL LÓPEZ RODRÍGUEZ

Morelia Michoacán, ABRIL 2018





UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

TESIS

**EFFECTO DE LA ADICIÓN DEL NOPAL (*Opuntia ficus-indica*) A
LA DIETA DE CERDOS EN CRECIMIENTO (20-100 KG)
SOBRE LA VELOCIDAD DE TRÁNSITO DEL ALIMENTO EN
EL TRACTO GASTROINTESTINAL**

PRESENTA:

PMVZ: GABRIELA JIMÉNEZ ZAVALA

PARA OBTENER EL TÍTULO DE
MEDICA VETERINARIA ZOOTECNISTA

Morelia Michoacán, ABRIL de 2018



Agradecimientos

A Dios por la vida y por elegirme una excelente familia, por demostrarme que siempre ha estado caminando junto a mí, donde siempre me ha tendido la mano para no dejarme caer.

Al hombre que más amo, mi padre, que siempre me motivo a salir a delante, no importando la situación en la que nos encontráramos. Siempre hay que caminar así a delante, sin olvidar de dónde vienes. Me has enseñado que la humildad y sencillez abren puertas. Siempre confiaste en mí y me diste la oportunidad de ser alguien en la vida, tú siempre has estado para mí, por eso este logro también es tuyo.

A la gran mujer, mi mami, la mejor mamá del mundo que me ha enseñado que con poco se puede hacer mucho, que siempre me diste lo mejor, que me has apoyado a pesar de mis errores, siempre confiaste en que lo lograríamos porque tú has estado siempre presente en el trayecto de mi formación, que con tu gran ejemplo siempre me has inspirado a seguir adelante, y este logro es tuyo porque tú me formaste.

A los mejores amigos que son, mis hermanos Elvira, Armando, Miguel Ángel, Edilberto, Juan Carlos, Valentín, Lizbeth que siempre me han apoyado moral e incondicionalmente, así como en lo económico, que nunca me han dejado sola, nunca me negaron nada, siempre he recibido un sí ante mis peticiones, que a pesar de la distancia han formado parte importante en mi vida y en mi formación profesional, que me han enseñado que si quieres cumplir tus sueños solo tienes que volar y luchar por ellos, sin olvidar a mi gran ángel mi

hermanito Francisco es que desde el cielo me ha iluminado, no me ha dejado sola en ningún momento y siempre me recuerda por qué estoy aquí.

A mi hija América que ha compartido a mi lado todo el tiempo de la elaboración de la tesis, que ha soportado desvelos, por estar a mi lado, que siempre me recibe con una hermosa sonrisa que hace que se me olviden mis preocupaciones, que me ha enseñado a separar los tiempos para dedicarme por completo a cada una de mis actividades, por secarme las lágrimas y decirme que no pasa nada.

A mi esposo Víctor, que siempre me motiva a seguir adelante, que me ha tenido paciencia en las etapas de estrés y desesperación por no poder hacer las cosas bien, que siempre me regala una sonrisa y que ha compartido mis alegrías, tristezas y logros, por sus palabras de motivación y apoyo económico que no solo me apoya sino que también mis sueños los ha convertido en los de él.

Gracias a mi asesor M.C. Ruy Ortiz Rodríguez por su gran apoyo incondicional, y motivacional en el transcurso de la carrera y en la elaboración de esta tesis, gracias por la paciencia que me tubo durante todo este tiempo, por compartir sus conocimientos, y por el tiempo que brindo para la elaboración de esta tesis, de antemano gracias por la amistad que me ha brindado y sobre todo, por confiar en mí, por sus palabras de motivación y por los grandes consejos que me ha regalado para ser mejor persona.

Gracias a mi co-asesor M.C. Manuel López Rodríguez por su apoyo incondicional y el tiempo dedicado para la elaboración de esta tesis, y por brindarme su amistad, por compartir sus conocimientos.

A mis amigos que han estado siempre apoyando incondicionalmente, que han estado conmigo en los malos y buenos momentos gracias por motivarme a salir adelante gracias Barbby, Elisa, Betty, Celeste, Mauricio y Rigoberto.

DEDICATORIA

Con mucho cariño a mis padres Nicomedes Jiménez Martínez y María Ysabel Lavaleta Segura que me dieron la vida y han estado en cualquier momento apoyándome, a mis hermanos Elvira, Armando, Miguel, Edilberto, Carlos, Valentín, Francisco y Lizbeth por motivarme a cada momento, y sobre todo a mi esposo Víctor y a mi hija América por compartir mis sueños y apoyarme a lograrlos, a cada uno de ellos por estar en los momentos difíciles y celebrar a mi lado los buenos, por todo lo que me han demostrado les agradezco de corazón el estar a mi lado. Este trabajo es con mucho amor para ustedes.

Índice

	Pág.
Resumen	iii
Abstract	iv
1. Introducción	1
2. Antecedentes	3
2.1 Producción de carne de cerdo (<i>Sus Scrofa Domestica</i>)	3
2.2 Características de los sistemas de producción de cerdos	5
2.3 La alimentación de los cerdos de abasto	10
2.4 El nopal insumo no convencional como complemento de la dieta de los cerdos	12
2.5 Velocidad de tránsito del alimento por el tracto gastrointestinal del alimento consumido por los cerdos	15
3. Planteamiento del problema	17
4. Hipótesis	18
5. Objetivos	18
5.1 Objetivo general	18
5.2 Objetivos específicos	18
6. Materiales y Métodos	20
7. Resultados y Discusión	26
8. Conclusión	40
9. Bibliografía	41

Índice de Tablas y Figuras

	Pág.
Tabla 1. Características de los sistemas de producción porcina	6
Tabla 2. Parámetros productivos de los sistemas de producción de cerdos	8
Tabla 3. Parámetros productivos ideales de los cerdos	10
Tabla 4. Requerimientos nutricionales en la dieta de los cerdos de acuerdo a la etapa de producción	11
Tabla 5. Análisis fisicoquímicos del nopal (<i>O. Ficus-Indica</i>) de acuerdo con la edad del cladodio	13
Tabla 6. Análisis bromatológicos del alimento comercial y el alimento comercial más el nopal (1% de <i>O. Ficus indica</i>) de acuerdo con la fase	22
Tabla 7. Análisis de varianza de la velocidad de tránsito en cerdos de 20-100 kg de peso vivo	27
Figura 1. Medias de mínimos cuadrados de la velocidad (h) de tránsito del alimento en el tracto gastrointestinal de acuerdo con el grupo y fase de producción (20-50 kg y 50-100 kg)	27
Tabla 8. Análisis de varianza para el contenido nutricional del alimento para cerdos de 20-100 kg	30
Tabla 9. Medias de mínimos cuadrados para el contenido nutricional de las excretas y coeficiente de digestibilidad	32
Tabla 10. Análisis de varianza para el consumo de alimento en cerdos de 20-100 kg	36
Tabla 11. Medias de mínimos cuadrados para el consumo voluntario de alimento promedio cerdo ⁻¹ día ⁻¹ semana ⁻¹ fase ⁻¹	37

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la adición del nopal (*O. ficus-indica*) a la dieta de cerdos en las Fases de producción de 20-50 y 50-100 kg de peso vivo sobre la velocidad de tránsito del alimento por el tracto gastrointestinal y su relación con la digestibilidad y consumo de alimento, así como en el crecimiento (kg) de los cerdos. La investigación se realizó en el sector porcino de “La Posta Zootécnica”, perteneciente a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia-UMSNH. Se utilizaron 20 cerdos híbridos seleccionados al azar y con un peso de 20 ± 0.5 kg. Formaron dos grupos (G): G1 o control (n=10) y G2 o experimental (n=10). En el G1, los cerdos fueron alimentados *ad libitum* con una dieta comercial cuyo contenido nutricional fue de acuerdo con las fases productivas por la que transitaron. El G2 recibió la misma dieta ofrecida a G1 (alimento comercial) más la adición del 1% de nopal (*O. ficus-indica*); porcentaje establecido de acuerdo con el peso vivo cerdo⁻¹ semana⁻¹. Las variables evaluadas fueron: consumo de alimento (CA) cerdo⁻¹ día⁻¹, peso vivo (PV) cerdo⁻¹ semana⁻¹, velocidad de tránsito del alimento por el tracto gastrointestinal (VTG) cerdo⁻¹ grupo⁻¹ y coeficiente de digestibilidad (CD) del alimento grupo⁻¹. La información recabada se analizó a través de la metodología de mediciones repetidas, las diferencias entre grupos se obtuvieron mediante el método de medias de mínimos cuadrados (a un $\alpha = 0.05$). Se encontró que, la VTG del alimento en los cerdos del G2 (23.2 h) fue más lento ($P < 0.05$), ello en comparación con los resultados obtenidos en el G1 (14 h). Los coeficientes de digestibilidad (CD) de las dietas evaluadas determinaron que, el CD de la materia seca fue mayor ($P < 0.05$) en los cerdos del G2 (85.2%) vs G1 (82.4%). Pero, el CD de proteína cruda fue menor ($P < 0.05$) en el G2 (71.3%), en comparación con G1 (76.4%). En cuanto al CD de la fibra cruda, se observó que esta fue mayor ($P < 0.05$) en el G2 (82.4) vs G1 (49.7%). Mientras que el CD del extracto etéreo fue mayor ($P < 0.05$) en G1 (66.5%) en comparación con G2 (56.3%). En cuanto al consumo de alimento (CA), se encontró que el CA cerdo⁻¹ día⁻¹, fue menor en G2, en ambas fases evaluadas ($P < 0.05$): 1.5 ± 0.06 y 2.8 ± 0.06 kg, en la fase 1 y 2, respectivamente. Ello, en comparación con 1.8 ± 0.06 y 3.3 ± 0.06 kg de alimento, cerdo⁻¹ día⁻¹ en G1. Este menor CA resultó en 46.3 kg (15.2%) de alimento comercial menos cerdo⁻¹ durante la fase experimental (20-100 kg de PV), ello en comparación con el CA de los cerdos del G1. Finalmente, ni el peso ni el tiempo para alcanzar 100 kg de peso vivo fue afectado por la dieta adicionada con nopal ($P > 0.05$). Por lo que, la complementación de 1% de nopal (*O. ficus-indica*) a la dieta de los cerdos para abasto reduce la velocidad de tránsito del alimento por el tracto gastrointestinal y, ello, provoca menor consumo voluntario de alimento comercial sin alterar el tiempo para alcanzar el peso (100 kg de peso vivo) para el mercado

Palabras clave: cerdos, dietas, fibra, velocidad de tránsito, digestibilidad

ABSTRAC

The objective of this research work was to evaluate the effect of the addition of prickly pear (*O. Ficus-indica*) to the diet of pigs in the production phases of 20-50 and 50-100 kg of live weight on the transit speed of the feed by the gastrointestinal tract and they relation with digestibility and feed intake, as well as in the growth (kg) of the pigs. The research was carried in the swine sector of "The zootechnical posta", belonging to the Faculty of Veterinary Medicine-UMSNH. Twenty hybrid pigs with a weight of 20 ± 0.5 kg selected at random were used. With the total of pigs two groups (G) were formed: G1 or control (n=10) and G2 or experimental (n=10). In the G1, the pigs were fed *Ad libitum* with a commercial diet whose nutritional content was according to the productive stages by which the pigs transited. The pigs of the G2 received the same diet offered to G1 (commercial feed) plus addition of 1% prickly pear (*O. Ficus-indica*); percentage established according to the live weight $\text{pig}^{-1} \text{ week}^{-1}$. The variables evaluated were; commercial feed intake (FI) $\text{pig}^{-1} \text{ day}^{-1}$, live weight (LW) $\text{pig}^{-1} \text{ week}^{-1}$, transit speed of the feed by the gastrointestinal tract (TSG) $\text{pig}^{-1} \text{ group}^{-1}$ and digestibility coefficient (DC) of the feed group^{-1} . The information collected was analyzed through the methodology of repeated measurements and the differences between groups were obtained using the method of least squares means (to a $\alpha=0.05$). It was found that, the TSG of the feed in the pigs of the G2 (23.2 h) was slower ($P<0.05$), this compared with the results obtained in the G1 (14 h). The DC of the evaluated diets determined that, the DC of the dry matter was higher ($P<0.05$) in the pigs of G2 (85.2%) vs G1 (82.4%). But, the DC the crude protein was lower ($P<0.05$) in G2 (71.3%), compared to G1 (76.4%). As for the DC of raw fiber, it was observed that this was higher ($P<0.05$) in G2 (82.4) vs G1 (49.7%). Whereas the DC of the ethereal extract was higher ($P<0.05$) in G1 (66.5%) compared to G2 (56.3%). As for the feed intake (FI), it was found that the FI $\text{pig}^{-1} \text{ day}^{-1}$ was lower in G2, in both phases evaluated ($P<0.05$): 1.5 ± 0.06 and 2.8 ± 0.06 kg, in phase 1 and 2, respectively. This, compared to 1.8 ± 0.06 and 3.3 ± 0.06 kg of feed $\text{pig}^{-1} \text{ day}^{-1}$ in G1. This lesser FI resulted in 46.3 kg (15.2%) of commercial feed less pig^{-1} during the experimental phase (20-100 kg of LW), this compared with the FI of the pigs of the G1. Finally, neither the weight nor the time to reach 100 kg of live weight was affected by the diet added with prickly pear ($P>0.05$). Therefore, the complementation of 1% of prickly pear (*O. Ficus-indica*) to the diet of pigs for supply reduces the speed of transit of feed through the gastrointestinal tract and, that, causes less voluntary intake of commercial feed without altering the time to reach the weight (100 kg of live weight) for the market.

Keywords: pigs, diets, fiber, speed transit, digestibility.

1. INTRODUCCIÓN

En México, la porcicultura, además de ocupar el tercer lugar en la producción de carne (después de la cría de bovinos y aves), es una actividad que abastece al mercado nacional, proporcionando carne de alto valor nutricional (menor cantidad de grasa y mayor contenido nutrimental), esencial para el ser humano (Lefaucheur *et al.*, 2011). Sin embargo, las mejoras en la calidad de la carne de cerdo provocaron el incremento de la demanda del consumidor por este tipo de carne. Aspecto que, la producción porcina del país no logra solventar (Medina, 2013) y la importación (57%) de este tipo de carne tiene que cubrir el déficit productivo del sector porcino del país (Giner *et al.*, 2011, Medina, 2013).

La importación de carne de cerdo está estrechamente ligada (Martínez *et al.*, 2003) a los costos de producción, principal obstáculo de la porcicultura nacional para competir con las empresas transnacionales (Medina, 2013). Puesto que los costos mayores de la producción porcina en México son afectados por bioseguridad y sanidad de los sistemas de producción (12%) y por la alimentación (70%) (García *et al.*, 2012). Aunado a ello, el encarecimiento continuo y frecuente de los principales insumos para la alimentación de los cerdos, debido al efecto del cambio climático sobre el sistema agrícola (Herrera *et al.*, 2013).

En las áreas de la salud, bioseguridad y confort del animal (cerdos) se han desarrollado técnicas y tecnologías que garantizan el aprovechamiento máximo de las dietas de los cerdos (Martínez *et al.*, 2009). Sin embargo, la industria aún no logra disminuir los costos de producción por concepto de la alimentación (Mößeler *et al.*, 2010) y ello, ha incentivado la investigación de insumos no convencionales como sustitutos de la dieta (o parte de la misma) de los cerdos (Hernández *et al.*, 2016). Sin embargo, el cambio en la composición de la dieta puede generar cambios morfológicos, histológicos y metabólicos en el sistema digestivo de los cerdos (Sundrum *et al.*, 2011) y por lo mismo, las dietas deben ser evaluadas meticulosamente (Savón *et al.*, 2008).

Un nuevo insumo integrado a la dieta de los cerdos debe ser evaluado no solo para establecer que este incremente la producción de los cerdos y la calidad de sus productos (Juárez *et al.*, 2013), también debe evaluarse que no ponga en riesgo al ambiente, así como la salud del animal y por consecuente a los consumidores (Bobadilla *et al.*, 2013, Hernández *et al.*, 2016). Todo ello, sin impactar negativamente los costos de producción (Juárez *et al.*, 2013). En la presente investigación, la adición de nopal (*O. ficus-indica*) a la dieta de cerdos para abasto (20-100 kg de peso vivo) probó ser una alternativa nutricional viable puesto que la ingesta de esta cactácea reduce la velocidad de tránsito del alimento por el tracto digestivo ocasionando un menor consumo (kg) de alimento $\text{kg}^{-1} \text{dia}^{-1}$ sin que ello afecte el desarrollo (kg) de los cerdos.

2. ANTECEDENTES

2.1 Producción de carne de cerdo (*Sus scrofa domestica*)

En la actualidad, el aumento de la población a nivel mundial genera nuevos retos para el sector agropecuario, particularmente en el sector pecuario. El cual enfrenta al desafío de abastecer la creciente demanda de productos de origen animal; principalmente la carne de bovino, ovino, caprino, ave y de cerdo, esta última es la más consumida en el mundo (16 kg persona/año), en comparación con la carne de pollo (15.8 kg persona/año) y res (13.7 kg persona/año) (Bobadilla *et al.*, 2010). Además, la producción de la carne de cerdo a nivel mundial, duplica la producción de carne de pollo y res: 114.3, 107.0 y 67.7 millones de toneladas, respectivamente (FAO, 2017).

A nivel mundial, China produce el 50% de la producción mundial de carne de cerdo (107.0 millones de toneladas), seguido de Estados Unidos con el 10% de la producción; pero, México únicamente contribuye con el 1%. No obstante que, en Latinoamérica, México ocupa el 2 lugar en producción porcina (Medina, 2013). Sin embargo, desde la década de 1990, la producción porcina en México dejó de ser autosuficiente debido a: i) el incremento de la demanda interna de carne de cerdo provocado por un mayor ingreso de la población, ii) el crecimiento de la población urbana y, iii) la entrada de mercados internacionales, producto del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), lo que provocó mayor disponibilidad y consumo de productos de cerdo (Medina, 2013).

Durante el periodo 1990 a 2012, el consumo de carne de cerdo aumento al doble, provocando una mayor demanda (16.6 kg per cápita; Carám, 2014) y un déficit en la oferta interna; puesto que la porcicultura mexicana solo podía cubrir el consumo per cápita de 12 kg (Villamar y Wadgymar, 2006). Este desequilibrio entre la demanda y oferta de la carne de cerdo en el país ocasionó que se recurriera a las importaciones de este producto (Medina, 2013): cercanas a las 700 mil toneladas (FND, 2014).

En relación con los estados del país con mayor producción porcina son: Jalisco (2.7 millones de cabezas), Sonora (1.7 millones de cabezas), Veracruz (1.4 millones de cabezas), Puebla (1.3 millones de cabezas), Guanajuato (0.9 millones de cabezas), Yucatán (0.9 millones de cabezas) (FDN, 2014). Mientras que, el estado de Michoacán ocupa el 7° lugar a nivel nacional con 54,955 toneladas de carne/año y su inventario es de 758, 925 cabezas de cerdos (SAGARPA, 2016). Otro aspecto importante, es que la porcicultura en México representa la generación de ingresos de miles de familias, puesto que crea y mantiene 49 mil empleos directos y 245 mil indirectos (Del Moral y Rodríguez, 2010). Sin embargo, la producción porcina en México requiere incrementar su eficiencia productiva y para ello, se debe recurrir a una serie de tecnologías y técnicas zootécnicas tales como: genética, nutrición, reproducción, sanidad y bioseguridad (Martínez, *et al.*, 2009; Bortoli, 2011; Da Silva, 2013).

La aplicación de las tecnologías citadas en el párrafo anterior debe redundar en el logro de los principales parámetros de producción (Da Silva, 2013). Desafortunadamente, el contexto de la producción porcina en México no facilita su desarrollo, tanto productivo como económico, debido a la diversidad agroecológica, política y económica que presentan las diferentes regiones con vocación porcícola en el país (Covallotti *et al.*, 2012), ello aunado a la diversidad de sistemas de producción porcina en el país.

2.2 Características de los sistemas de producción de cerdos

Los sistemas de producción porcina se clasifican por su grado de tecnificación y fin zootécnico; de acuerdo con su grado de tecnificación, se divide en tecnificado, semi-tecnificado y de traspatio. Clasificación basada en el tipo de instalaciones, definición de las áreas, nivel de automatización, programas de bioseguridad, técnicas reproductivas, nutricionales, de sanidad y/o uso de herramientas administrativas (Tabla 1) (Trujillo y Martínez, 2002; Germán *et al.*, 2005).

**EFECTO DE LA ADICIÓN DEL NOPAL (*Opuntia ficus-indica*) A LA DIETA DE CERDOS EN CRECIMIENTO (20-100 KG)
SOBRE LA VELOCIDAD DE TRÁNSITO DEL ALIMENTO EN EL TRACTO GASTROINTESTINAL**

Tabla 1. Características de los sistemas de producción porcina

	Tecnificado	Semi-tecnificado	Traspatio
Tiempo de lactación	< 21 días	21-28 días	> 28 días
Sistema de flujo por edades	En todas las áreas	Solo en maternidad	No existe
Uso de IA	100 %	Variable	Ocasional
Cerdos vendidos/H/A	18-22	16-18	<16
Tipo de animales	Líneas genéticas mejoradas de un solo origen	Líneas genéticas mejoradas de diferentes orígenes	Variable
Días al mercado	150-170	170-180	>180
Peso a la venta	95-105	90-100	< 90
Conversión alimento	2.8-3.2	3.2-4	>4
Medidas sanitarias	Control estricto de animales, personal y materiales	Variables	No existe
Control de producción	Constante por medio del sistema de informática	Variable por medio de registros de papel	No existe
Inventario Michoacán	30%*	30%*	40%*
Aporte en la producción total	40%*	30%*	30%*

IA= Inseminación artificial

Fuente: *Ortiz (2004); Trujillo y Martínez (2002)

En lo que se refiere al fin zootécnico se dividen en: a) ciclo completo, b) pie de cría, d) destete y, e) engorda (Trujillo y Martínez, 2002). No obstante, el sistema de producción porcina tecnificado cuenta con técnicas y tecnologías que le permiten lograr las metas y objetivos que se programan en el mismo y, para ello, se utilizan animales con potencial genético (líneas genéticas), debido a que sus parámetros reproductivos y productivos son la base para la producción eficiente, asegurando la calidad y rendimiento de los animales para abasto (Tabla 2).

En el sistema tecnificado, se utiliza, generalmente, el destete temprano (<21), técnica que permite incrementar los partos y el número de lechones destetados por cerda/año; puesto que, reduce la mortalidad durante la fase de lactación en comparación con los sistemas semi-tecnificados y de traspatio cuya longitud de lactación es >21 días (Tabla 2). Aunado a ello, la nutrición juega un papel central para que este sistema cumpla con todos sus objetivos, ya que la otorgan de acuerdo con los requerimientos nutricionales de cada etapa productiva por las que transitan los cerdos (Azzarini *et al.*, 1986).

En cuanto al sistema de producción porcina semi-tecnificado, su nivel tecnológico se puede apreciar por el uso ocasional de líneas genéticas; puesto que, tiende a producir, principalmente, animales híbridos (Buxade, 1996). Además, presenta diferentes grados de tecnificación e infraestructura aplicados al esquema tradicional de producción de cerdos y, por ello, no siempre se cubren las necesidades del cerdo, lo que lleva, a que la tasa de mortalidad durante el periodo de lactación (>10%) y de destete-finalización (> 4%) sea mayor al de los tecnificados, aspectos que incrementan sus costos de producción.

Finalmente, el sistema de producción de traspatio, este se encuentra principalmente en zonas rurales, donde es una alternativa para mejorar la dieta y economía familiar. Caracterizándose por no ser una actividad primaria y vinculada a la agricultura; así como, dedicarse a la crianza de animales híbridos (López *et al.*, 2012) bajo escasas prácticas reproductivas, nutricionales y zoonosológicas; lo cual, se ve reflejado en los indicadores reproductivos y productivos deficientes (Tabla 2). En cuanto a la alimentación, los productores de traspatio adquieren alimentos balanceados; pero, aún prevalece la alimentación a base de escamocha, esquilmos de cosecha, forrajes verdes como alfalfa, o una combinación entre estos (López *et al.*, 2012). Por ello, dicha producción de este sistema es destinado al autoconsumo o venta de excedente en el mercado regional (SAGARPA, 2017).

Tabla 2. Parámetros productivos de los sistemas de producción de cerdos

Característica	Tecnificado	Semi- tecnificado	Traspatio
Primera cubrición (kg)	120*	100-120*	<100kg*
Duración del ciclo sexual (días)	21 ± 3	21 ± 3	21 ± 3
Duración de la gestación (días)	114 ± 2	114 ± 2	114 ± 2
Prolificidad (n° de lechones/parto)	10-13	10-12*	8-10*
Peso del lechón al nacimiento (kg)	1.2-1.4	-	-
Duración de lactación (días)	<21	21-28	>28
Mortalidad de lechones en lactancia (%)	<10*	10-15*	>15*
Peso del lechón al destete (kg)	5-8	5-7*	>8*
Intervalo destete- celo (días)	3-5 (2-9)	3-5 (2-9)	3-5 (2-9)
Partos/cerdas/año	2.2 -2.5	1.8-2.2*	1.4-1.8*
Vida útil de las madres (años)	2-3	3-5*	>5*
Reposición anual (%)	40-50	30*	-
Peso vivo salida de destete-transición (kg)	18-22	12-20*	-
Mortalidad en destete-transición (%)	2	3-4*	-
Peso vivo al matadero (kg)	95-105	90-120	≤90
Mortalidad en crecimiento y finalización (%)	2	2-4*	-
Cerdos vendidos cerda/año	18-22	16-18	<16

*=indicadores obtenidos de varios sistemas semi-tecnificados (Pig Champ®)

Fuente: Paramio *et al.* (2010)

En México, el sistema tecnificado representa el 50% del total de sistemas presentes en el país mientras que el semi-tecnificado y de traspatio representan el 20 y 30% respectivamente (Villamar y Wadgyr, 2006). Geográficamente los sistemas tecnificados de producción porcina se ubican en el Norte del país, (Sonora, Sinaloa, Nuevo León), en el centro (México, Querétaro, Michoacán y Guanajuato) y en el sur (Puebla, Tamaulipas, Veracruz, Yucatán) (SAGARPA, 2017). En este mismo sentido en Michoacán el 30 % corresponde a los sistemas tecnificados y 30% de semi-tecnificados, mientras que el de traspatio representa el 40% (Tabla 1). Para Villamar y Wadgyr (2006), el sistema tecnificado tuvo un incremento en la participación en el mercado, mientras que el sistema Semi-Tecnificado decreció ante las presiones económicas y, el de traspatio se mantuvo gracias a su participación en mercados locales difícilmente cubiertos por algunos de los otros sistemas, y aportando el 30% de la producción nacional.

Una de las características que ha permitido crecer al sistema tecnificado es la división de las etapas productivas; en concreto, las etapas de crecimiento (20-50 kg) y finalización (50-100 kg) de los cerdos de engorda, fases que son parte de la línea de producción y, las cuales, requieren de nutrientes y requerimientos diferentes para cada etapa, para cumplir con las metas esperadas (Campabadal, 2009).

La división de las fases en la línea de producción, además de las ya mencionadas, también se considera a la fase de iniciación (6-20 kg) y cuya duración es de aproximadamente 60 días; mientras que la fase de desarrollo (20-50 kg) tiende a durar 30 días; la fase de finalización (50-100 kg) dura aproximadamente 60 días (Campabadal, 2009). En cada una de estas fases o etapas, se refleja la eficiencia entre la nutrición y la genética de los cerdos, pero particularmente en la etapa de desarrollo y finalización (Tabla 3); pues en estas etapas, se consume hasta el 80% del total del alimento necesario para el desarrollo de los cerdos y ello, incide en los costos totales de producción (Solórzano, 2005; Campabadal, 2009; García, *et al.*, 2012; Bortoli, 2011)

Tabla 3. Parámetros productivos ideales de los cerdos

Etapa	Peso (kg)	Duración * (días)	Proteína** Cruda (%)	Energía ^{&***}	Ganancia (gr/día)	Conversión alimenticia(kg)
Desarrollo	30-50	30	18	3300	700-800	1.35
Finalización	50-100	50-60	16.5	3250	800-900	2.14

*=De acuerdo con el genotipo y las preferencias del mercado; &=Energía metabolizable (Kcal/kg)

Fuente: Campabadal (2009); **Danura (2010)

2.3 La alimentación de los cerdos para abasto

Dentro de la línea de producción, los insumos para la alimentación de los cerdos (20-100 kg) varían y, ello, depende en gran parte de su disponibilidad en el mercado y del poder adquisitivo de los productores (García *et al.*, 2012). Esta característica provoca que la única alternativa para el éxito de la producción de cerdos para abasto sea el uso de alimentos balanceados (Campabadal, 2009). Así, el esquema de

alimentación a través de alimento balanceado provee de los requerimientos nutricionales de los cerdos, utilizando materias primas de alta calidad y presentación (harina o pellet). Sin embargo, la presentación en pellet mejora la ganancia de peso (6-7% mayor), la conversión alimenticia (mejora en 7-10%) y reduce el consumo de alimento (1-2%) (Campabadal, 2009; García *et al.*, 2012).

Tabla 4. Requerimientos nutricionales en la dieta de cerdos de acuerdo a la etapa de producción

Nutrientes	Etapa	
	20-50 (kg)	50-100 kg
Proteínas (%)	16.00	14.00
Lisina (%)	0.90	0.75
Calcio (%)	0.75	0.65
Fosforo (%)	0.35	0.30
Energía digestible (Mcal/kg)	3.25	3.30
Energía metabolizable (Mcal/kg)	3.20	3.25

Fuente: Campabadal (2009)

El sistema de alimentación en cerdos puede ser a libre acceso o restringido, pero para cerdos de desarrollo y finalización es recomendable el de libre acceso, ya que este requiere de menor mano de obra y menor desperdicio. No obstante, en este sistema los cerdos pueden consumir sin control y se incrementa el tejido graso en los cerdos, en perjuicio de la demanda de los consumidores: carne magra. Por esta razón, el alimento debe de estar formulado para que disminuya el tejido graso en los cerdos, sin menoscabo de los parámetros de conversión alimenticia (Tabla 4) (Solórzano, 2005; Campabadal, 2009; Bobadilla *et al.*, 2013). Pero, siempre se debe

considerar que, los principales insumos en la alimentación de los cerdos son costosos por formar parte de la alimentación humana: maíz, soja o sorgo (Herrera *et al.*, 2013).

Aunado a lo descrito en el párrafo anterior, el impacto negativo del cambio climático sobre la agricultura ha provocado una reducción en la producción de maíz, soja y sorgo y, en consecuencia, también produce un incremento en los costos de la alimentación de los cerdos en línea de producción (20-100 kg) (Colina *et al.*, 2010). Por ello, es necesario evaluar otros insumos no convencionales en la alimentación de los cerdos que sean resistentes a la sequía y de fácil adquisición como estrategia para disminuir los costos de producción, sin alterar los parámetros establecidos para cerdos en la línea de producción (20-100 kg) (Pérez *et al.*, 2016^b).

2.4 El nopal insumo no convencional como complemento de la dieta de los cerdos

En los alimentos no convencionales, como el nopal, se buscan alternativas para la reducción de costos por concepto de alimentación; pero, por lo general, estos se utilizan como complemento o adición de las dietas convencionales (Reveles y Flores., 2010), pues no cubren, en su totalidad, los requerimientos nutricionales (Tabla 4) para los cerdos en sus diferentes etapas de producción. Al respecto, el nopal (*Opuntia* spp), es una planta forrajera apreciada por su contenido de energía

digestible; tolerancia a la sequía y a altas temperaturas; puede desarrollarse en cualquier región y época del año; tiene rápido crecimiento y bajos requerimientos de insumos (Gutiérrez *et al.*, 2008; Reveles y Flores., 2010).

Tabla 5. Análisis fisicoquímico del nopal (*O. ficus-indica*) de acuerdo con la edad del cladodio

Componente	Cladodio de 1 mes	Cladodio de 12 mes	Promedio de 1-12 meses
Humedad %	92.57	94.33	93.45
Proteína (x 6.25) %	0.94	0.48	0.71
Grasa %	0.17	0.11	0.14
Fibra %	0.30	1.06	0.68
Cenizas %	0.08	1.60	0.88
Carbohidratos %	5.96	2.43	4.195
Vitamina C (mg/100g)	37.27	23.11	30.19
Ca%	0.042	0.339	0.1905
Na %	0.0018	0.0183	0.01005
K %	0.00098	0.145	0.07299
Fe %	0.0792	0.322	0.2006

Ca= Calcio; Na= Sodio; K= Potasio; Fe= Hierro

(Guzmán y Chávez, 2017)

Otras ventajas que tiene el nopal son: a) es eficiente en el uso de agua, b) tiene diversidad genética, lo que permite encontrarlo en la mayor parte del territorio nacional, c) posee 84% de materia orgánica, 78.9% de digestibilidad de materia orgánica, 4.1 a 14% de proteína cruda, 23.8% de fibra detergente neutro, 14.7% de fibra detergente ácido y 9.1% de materia seca (López *et al.*, 2001; Reveles y Flores, 2010), d) contiene vitamina A y, es rico en carbohidratos y calcio. Cualidades que varían de acuerdo con la edad de los cladodios (pencas) al momento de utilizarlo (Reveles y Flores, 2010) (Gutiérrez, *et al.*, 2008) y por ello, la edad del cladodio debe tomarse en cuenta al momento de utilizarlo; ya que conforme este madura, su

contenido de fibra y minerales se incrementa y el contenido de proteína y vitamina C, disminuyen (Guzmán y Chávez ,2007) (Tabla 5).

Actualmente se investiga el uso *O. ficus-indica* como parte de la dieta de los cerdos para abasto (20-100 kg) (Pérez *et al.*, 2016^a) y se ha observado que, la ingesta de esta cactácea provoca en los animales menor consumo de alimento. Resultados diferentes al observado en cerdas en fase de lactancia (Ortiz *et al.*, 2015): la adición de nopal a la dieta de cerdas lactantes provocó incrementó del consumo voluntario de alimento ($P < 0.05$), debido al efecto hipoglucémico que provoca el nopal en los individuos que lo consumen. Sin embargo, se debe aclarar que, las cerdas en fase de lactancia presentan hipofagia lactacional; fenómeno fisiológico provocado por el incremento de glucosa en cerdas recién paridas (Ortiz *et al.*, 2015), cuya consecuencia es la disminución del consumo voluntario de alimento (López, 2007), al menos durante los primeros siete días postparto (Mosnier *et al.*, 2010). Fenómeno que no ocurre en cerdos en crecimiento (Pérez *et al.*, 2016^b). Por lo que una de las hipótesis que puede explicar este fenómeno es que el nopal adicionado a la dieta de los cerdos para abasto incrementa el volumen y viscosidad del alimento en el tracto gastrointestinal y ello origina menor velocidad de tránsito del alimento por dicho tracto, incremento de la absorción de los nutrientes del alimento y provoca saciedad más rápidamente en el animal.

2.5 Velocidad de tránsito del alimento por el tracto gastrointestinal del alimento consumido por los cerdos

La velocidad de tránsito es el tiempo que tarda el bolo alimenticio en recorrer el tracto gastrointestinal del cerdo, pasando por la digestión y absorción de nutrientes; por lo que solo se excreta la porción del alimento que no pudo o no fue necesario absorber (Furuya y Takahashi, 1975; Lachmann y Araujo, 2016). Por lo que, la velocidad de tránsito total se puede estimar en base al tiempo que le toma al alimento ser degradado en cada porción del sistema digestivo, lo cual depende de los procesos químicos a los que tenga que ser sometidos (Lachmann y Araujo, 2016). Se calcula que el tiempo que tarda en el estómago es como máximo 6 h; 3-3.4 h en el intestino delgado y 27-40 h en ciego y colon (Furuya y Takahashi, 1975). Sin embargo, este proceso puede ser más lento o más rápido dependiendo de factores como: tamaño de la partícula y procesamiento de la dieta, suplementación de aditivos, así como, tipo y sitio de digestión (Wilfart *et al.*, 2014).

La importancia de la velocidad de tránsito del alimento por el tracto gastrointestinal radica en que puede servir de herramienta para medir la digestibilidad de los nutrientes de una dieta, de acuerdo con: tipo y cantidad de componentes de la dieta, tamaño de cada partícula, cantidad de fibra, aditivos, entre otros más (Wilfart *et al.*, 2007). Para ello, se utilizan marcadores de solutos y partículas no degradables (Lachmann y Araujo, 2016).

Uno de los componentes del alimento que mayor efecto tiene sobre la velocidad de tránsito gastrointestinal del alimento ingerido es la fibra, pues dependiendo de la cantidad y tipo de fibra altera la velocidad de tránsito del alimento por las diferentes porciones del tracto digestivo, principalmente por el intestino delgado (Gil, 2010). Lo cual también puede afectar la absorción de los nutrientes contenidos en el alimento y en consecuencia el crecimiento de los animales (Jerez *et al.*, 2011).

Por lo cual el consumo de fibra (tipo y cantidad) puede provocar diferencias en la velocidad del tránsito del bolo alimenticio a través del aparato digestivo, lo que se reflejaría en una mayor o menor absorción de nutrientes en cada porción del aparato digestivo y por consiguiente mayor o menor consumo de alimento, por ello si la velocidad de tránsito fuese muy rápida ocasionaría que no todos los nutrientes ingeridos en el alimento no se aprovechen al máximo.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad, se ha incrementado el interés por la implementación de nuevos insumos (Hernández *et al.*, 2016) a la dieta de los cerdos con el fin de reducir los costos de producción. Sin embargo, una estrategia nutricional mal planteada pone en riesgo el desempeño de los indicadores productivos de estos animales (Herrera *et al.*, 2013) e incrementar los costos de producción (Hernández *et al.*, 2016); por ello, se debe cuidar la inocuidad del nuevo insumo para los animales y para el consumidor final (Lefaucheur *et al.*, 2011; Pierozan *et al.*, 2016). El uso *O. ficus-indica* como parte de la dieta de los cerdos para abasto (20-100 kg) provoca en los animales menor consumo de alimento (Pérez *et al.*, 2016^a). Al respecto, se han planteado diferentes explicaciones en torno a este fenómeno: la fibra soluble (35%; Tang *et al.*, 2005) presente en el nopal (Torres, 2011) es capaz de formar una capa de gel que cubre las sustancias lipídicas del alimento impidiendo su absorción, aspecto que provoca el incremento de la producción de ácidos biliares en un intento por degradar los lípidos contenidos en la dieta (Liu *et al.*, 2016); pero, esta acción, promueve menor velocidad de tránsito del alimento por el tracto digestivo y el incremento de la absorción de otros nutrientes presentes en el alimento (Barretero *et al.*, 2010). Ambos mecanismos, a su vez, provocan que la señal de saciedad se presente más tempranamente (Heimendahl *et al.*, 2009). Sin embargo, se requiere de poner a prueba cada una de estas hipótesis para tener certeza de la acción del nopal una vez consumido por los cerdos para abasto y para que este tipo de dietas sean adoptadas por los productores de cerdos que requieran disminuir sus costos de producción.

4. HIPÓTESIS

La adición del 1% de *O. ficus-indica* (con base al peso cerdo⁻¹) a la dieta de cerdos para abasto (20-100 kg de peso vivo) reduce la velocidad de tránsito debido a la fibra que esta cactácea posee. Reducción que mejora la absorción de nutrientes del alimento ingerido, la cual se expresa en menor consumo de alimento sin afectar el crecimiento de los cerdos.

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

- Determinar el efecto de la adición de *O. ficus-indica* a la dieta de cerdos en crecimiento (20-100 kg) sobre la velocidad de tránsito del alimento en el tracto gastrointestinal de los mismos.

5.2 Objetivos específicos

- Evaluar el efecto de la adición del nopal (*O. ficus-indica*) a la dieta de cerdos en las Fases de producción de 20-50 y 50-100 kg de peso vivo sobre la velocidad de tránsito del alimento por el tracto gastrointestinal y su relación con la digestibilidad y consumo de alimento, así como en el crecimiento (kg) de los cerdos.

**EFECTO DE LA ADICIÓN DEL NOPAL (*Opuntia ficus-indica*) A LA DIETA DE CERDOS EN CRECIMIENTO (20-100 KG)
SOBRE LA VELOCIDAD DE TRÁNSITO DEL ALIMENTO EN EL TRACTO GASTROINTESTINAL**

- Evaluar el efecto de una dieta convencional para cerdos en las Fases de producción de 20-50 y 50-100 kg de peso vivo sobre la velocidad de tránsito del alimento por el tracto gastrointestinal y su relación con la digestibilidad y consumo de alimento, así como en el crecimiento (kg) de los cerdos.

- Comparar la dieta para cerdos adicionada con nopal vs dieta convencional en las Fases de producción de 20-50 y 50-100 kg de peso vivo respecto a la velocidad de tránsito del alimento por el tracto gastrointestinal y su relación con la digestibilidad y consumo de alimento, así como en el crecimiento (kg) de los cerdos.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en el sector porcino de “La Posta Zootécnica”, perteneciente a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), ubicada en el km 9.5 de la carretera Morelia-Zinapécuaro, municipio de Tarímbaro, Michoacán, México; entre el paralelo 19° 46' de latitud norte y el meridiano 101° 08' de longitud oeste, a 1855 msnm (INEGI, 2010). La región corresponde a la clasificación Cw: sub-húmeda y semi-húmeda con clima templado (García, 2004): temperatura media de 18.6 °C y precipitación media anual de 773.9 mm (INEGI, 2010).

Se utilizaron 20 cerdos híbridos (Yorkshire x Landrace x Pietrain) seleccionados al azar y con un peso promedio de 20 ± 0.5 kg; los cuales fueron monitoreados durante las fases de desarrollo (20-50 kg) y de finalización (50-100 kg). Con el total de cerdos se formaron dos grupos (G): G1 o control (n=10) y G2 o experimental (n=10). Ambos grupos fueron conformados por hembras y machos.

En el G1, los cerdos fueron alimentados *ad libitum* con una dieta comercial cuyo contenido nutricional fue de acuerdo con las fases productivas por la que transitaban los cerdos (Tabla 6). Mientras que, en el G2, los cerdos recibieron la misma dieta ofrecida a G1 (alimento comercial) más la adición del 1% de nopal

(*O. ficus-indica*) (Tabla 6); porcentaje establecido de acuerdo con el peso vivo cerdo⁻¹ semana⁻¹. Cada cerdo de cada grupo se alojó en corrales individuales (2.0x1.25 m), mismos que contaron con un comedero tipo tolva con capacidad de 5.0 kg y un bebedero automático tipo chupón®.

Los cladodios de nopal se recolectaron a una edad de 60 días. Los cuales se cultivan en la parcela perteneciente a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia-UMSNH. Los cladodios no recibieron ningún tratamiento especial (*O. ficus-indica* carece de espinas), solamente fueron fragmentados en trozos de aproximadamente 2 cm de largo x 2 cm de ancho para facilitar su consumo. Posteriormente se pesaron para suministrar la cantidad cerdo⁻¹ día⁻¹ (G2). El suministro de nopal se realizó a las 8:00 h en conjunto con la ración de alimento comercial (AC) correspondiente cerdo⁻¹ día⁻¹ Fase⁻¹; previo retiro del alimento sobrante del día anterior.

Las variables evaluadas fueron; consumo de alimento comercial (CA) cerdo⁻¹ día⁻¹, peso vivo (PV) cerdo⁻¹ semana⁻¹, velocidad de tránsito del alimento por el tracto gastrointestinal (VGT) cerdo⁻¹ grupo⁻¹ y coeficiente de digestibilidad (CD) del alimento grupo⁻¹.

Tabla 6. Análisis bromatológico del alimento comercial y del alimento comercial más nopal (1% de *O. Ficus-indica*) de acuerdo con la fase.

Contenido	Fase				Nopal
	20-50 kg		50-100 kg		
	AC+0% nopal	AC+1% nopal	AC+0% nopal	AC+1% nopal	
Materia seca (MS) %	89	79.8	89	79.3	14.0
Extracto etéreo (EE) %	2.0	2.0	2.3	1.9	2.0
Fibra cruda (FC) %	0.4	3.0	0.4	3.7	6.3
Proteína cruda (PC) %	17.7	14.2	19.3	15.8	3.3

AC=alimento comercial; AC+0%= Alimento comercial sin nopal; AC+1%= Alimento comercial con nopal

El consumo del alimento se midió todos los días, pesando (kg) el alimento que se suministró y restando el peso (kg) del alimento sobrante. El pesaje del alimento suministrado y el rechazado se obtuvo mediante una báscula digital (Dibatec®, venta; 40 kg de capacidad y precisión de ± 5.0 g).

Los cerdos se pesaron semanalmente de forma individual, para determinar su crecimiento durante el periodo experimental (20 a 100 kg de peso vivo). Para ello se usó una báscula electrónica (Rhino, venta; con capacidad de 300 kg y precisión de ± 100 g).

El consumo de alimento comercial y nopal cerdo⁻¹ día⁻¹ Fase⁻¹ Grupo⁻¹ se calculó a través de:

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

Dónde:

CA_d^{-1} = Consumo de alimento diario

ASM = Alimento suministrado (kg) por la mañana

ARD = Alimento sobrante (kg) de la ración suministrada por la mañana

Para la medición de la velocidad de tránsito del alimento por el tracto gastrointestinal se utilizó el método de recolección total de heces (CTH) (Lachmann y Araujo, 2016;) donde se utilizó carbón vegetal (bióxido ferroso) color azul, como marcador: se adiciono el 1% de carbón vegetal con base a la cantidad de alimento consumido cerdo⁻¹ día⁻¹ con el fin de pigmentar las heces del cerdo. La cantidad total del marcador fue primeramente mezclado en una porción de 200 g de alimento y se ofreció a los cerdos de ambos grupos a las 7:45 h para verificar su consumo; posterior al consumo de esta muestra, se suministró (8:00 h) el resto del alimento requerido por día.

El colorante se adiciono al alimento una sola vez a la semana, dejando una semana entre aplicaciones (una semana si una semana no) durante la fase experimental. En la semana donde no se adiciono el colorante al alimento se continuó midiendo el consumo de nopal y el pesaje. Una vez ingerida la muestra con el colorante se monitoreo el momento en que defecaron los cerdos para evaluar y registrar el grado de pigmentación de la excreta (0=sin pigmentar; 1=pigmentación tenue y 2=pigmentación densa). Este monitoreo se realizó a las 8, 24, 32, 44, 52, 64 y 72 h

post-adición de colorante en las diferentes excretas cerdo⁻¹. En la primera excreta, post-ingesta del colorante, donde se observó una puntuación igual a 0 (sin pigmentar) se inició el conteo de horas post-alimentación para calcular la velocidad de tránsito.

Tanto el carbón vegetal y las heces recolectadas se pesaron en una báscula digital (Dibatec®, venta; 40 kg de capacidad y precisión de ± 5.0 g). Además de evaluar la velocidad de tránsito del alimento, también se evaluó el coeficiente de digestibilidad de las dietas ofrecidas cerdo⁻¹ Fase⁻¹ Grupo⁻¹ mediante la siguiente fórmula (Bondi, 1989):

$$CD (\%) = [(NI * NH) / NI] \times 100$$

Dónde:

CD= coeficiente de digestibilidad

NI= nutriente ingerido (consumo de alimento diario)

NH= nutriente en heces (peso de las heces)

La información recabada durante la fase experimental se analizó a través de la metodología de mediciones repetidas utilizando para ello los modelos de efectos fijos; mediante el siguiente modelo:

EFFECTO DE LA ADICIÓN DEL NOPAL (*Opuntia ficus-indica*) A LA DIETA DE CERDOS EN CRECIMIENTO (20-100 KG)
SOBRE LA VELOCIDAD DE TRÁNSITO DEL ALIMENTO EN EL TRACTO GASTROINTESTINAL

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + F_j + (G^*F)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Dónde:

Y_{ijk} =variables respuesta: CA, PV, Velocidad de tránsito y coeficiente de digestibilidad
del alimento

μ = Promedio general

G_i =Efecto del i_{esimo} Grupo, con i = Grupo control (G1) y Grupo experimental (G2)

F_j = Efecto del j_{esima} Fase, con j = 1 y 2 fases

$(G^*F)_{ij}$ = Efecto de la interacción del i_{esimo} Grupo* j_{esima} Fase

ϵ_{ijk} = Error aleatorio asociado a cada observación ($\sim NID=0, \sigma^2_e$).

Las diferencias entre grupos se obtuvieron mediante el método de medias de mínimos cuadrados (LsMeans, siglas en inglés) con prueba de t a un $\alpha= 0.05$ (SAS, 2000; Littell, *et al.*, 2002).

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La alimentación es uno de los principales factores que repercute en el estado general de salud y en el valor nutricional de la carne (proteína y grasa, principalmente) de los cerdos (Hernández et al., 2016). De aquí, la importancia de evaluar la dieta complementada con nopal para cerdos de 20 a 100 kg de peso vivo (PV); sobre todo, cuando se sabe que el nopal (*O. ficus-indica*) posee un gran contenido de agua y fibra, componentes que pueden alterar, de forma negativa, no solo la velocidad de tránsito del alimento por el tracto gastrointestinal, sino también, el consumo de alimento (*O. ficus-indica* posee efectos hipoglucémicos) (Ordaz et al., 2017) y alterar el crecimiento de los cerdos que lo consumen. Aspectos que no concuerdan con los resultados de la presente investigación y que se discuten a continuación.

Los resultados observados respecto al efecto de la dieta (Grupo) sobre la velocidad de tránsito del alimento por el tracto gastrointestinal (VTG) indicaron que, la VTG fue afectada ($P < 0.001$) por el Grupo, Fase e interacción Fase*Grupo (Tabla 7). Valenzuela y Maiz (2006) determinaron que, el tipo de insumos de la dieta influye en la VTG del alimento ingerido; dentro de estos insumos, la fibra dietética influye en los procesos digestivos y en la absorción de los nutrientes del alimento a lo largo del tracto gastrointestinal; puesto que la fibra dietética, aumenta la viscosidad luminal y prolonga el vaciado gástrico e interfiere en los procesos digestivos del intestino delgado, puesto que la fibra dietética hace más lentos los movimientos del intestino y mejora los productos resultantes de la hidrólisis en el proceso digestivo (Gil, 2010).

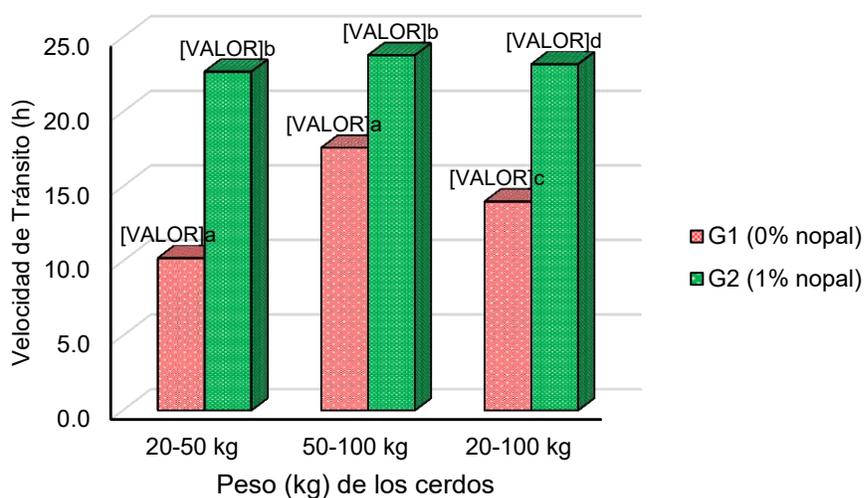
EFFECTO DE LA ADICIÓN DEL NOPAL (*Opuntia ficus-indica*) A LA DIETA DE CERDOS EN CRECIMIENTO (20-100 KG) SOBRE LA VELOCIDAD DE TRÁNSITO DEL ALIMENTO EN EL TRACTO GASTROINTESTINAL

Tabla 7. Análisis de varianza de la velocidad de tránsito en cerdos de 20-100 kg de peso vivo

F de V	GL	CM
Grupo	1	1306.200042**
Fase	1	268.605042**
Grupo*Fase	1	151.845042**
Error	56	10.281464
Total	59	
Promedio y D.E (h)		18.572±3.20
R ²		0.74

**= Altamente significativo (P<0.001)

De acuerdo con el efecto de grupo, se pudo observar que la VTG del alimento ingerido por los cerdos del G2 fue más lento (P<0.05) en ambas fases evaluadas, ello en comparación con los resultados obtenidos en el G1 (Figura 1): 23.2 y 14 h en promedio (20-100 kg) para el G2 y G1, respectivamente; valores de VTG diferentes entre sí (P<0.05).



Literales ^{a, b} indican diferencias (P<0.05) entre grupos dentro de fase (20-50 kg y 50-100 kg)

Literales ^{c, d} indican diferencias (P<0.05) entre grupos durante la fase experimental (20-100 kg)

Figura 1. Medias de mínimos cuadrados de la velocidad (h) de tránsito del alimento en el tracto gastrointestinal de acuerdo con el grupo y fase de producción (20-50 kg y 50-100 kg)

Wilfart *et al.* (2007), señalan que la presentación del alimento (líquido o sólido) y el tamaño de partícula son algunas de las características de las cuales depende la disponibilidad de los nutrientes para ser degradados y, a su vez, esto determina la velocidad de tránsito del alimento por el tracto gastrointestinal. Ello, a partir de la evaluación de tres dietas comerciales con diferentes niveles de fibra (14.4 y 23.5%) en cerdos de 30-40 kg, en donde las VTG del alimento fueron de 29.7 y 33.7 h, respectivamente.

Estudios realizados por Wilfart *et al.*, (2006), con marcadores de solutos y partículas mostraron la recuperación de estos marcadores en las heces varía entre 15 y 85 % de los marcadores y lo mismo sucede con el tiempo para recuperarlos: 15 a 43 h para los marcadores y de 19 a 60 h para las partículas de menos de 2x2 mm. Estos resultados sugieren que, la composición de la dieta y el tamaño de las partículas afectarán el tiempo de tránsito por el tracto digestivo. Sin embargo, el tiempo de tránsito del alimento por el tracto digestivo depende de la edad de los cerdos, siendo en cerdos adultos donde la velocidad de tránsito es mayor; de manera general, el tiempo de tránsito del alimento por el intestino delgado es de 2-6 horas, mientras en ciego y colon la ingesta puede permanecer hasta 23 h (Latymer *et al.*, 2009).

Wilfart *et al.* (2007), sugieren la VTG del alimento está relacionado con el tipo de fibra contenida en el alimento; así por ejemplo, la fibra de salvado de trigo posee un alto contenido de lignina y, la lignina, al no ser degradada en el tracto digestivo del cerdo provoca mayor peristaltismo intestinal, mayor VTG del alimento y menor degradación de los nutrientes. Por el contrario, la fibra del nopal es altamente degradable (Wilfart *et al.*, 2007) y posiblemente ello permitió: a) menor VTG del alimento (Figura 1), b) mayor degradación y absorción de los nutrientes presentes en la dieta (Tabla 9) y c) menor consumo de alimento (Tabla 11), sin que ello afectara el desarrollo (kg) normal de los cerdos del G2 (Tabla 11), a pesar de la disminución del consumo de alimento comercial.

En cerdos de 33 a 78 kg alimentados con dietas en las cuales se incluyó salvado de maíz o salvado de trigo o pulpa de remolacha, se observó que la velocidad de tránsito fue más rápida (18.6, 18.4 y 19.9 h, respectivamente) en comparación con la dieta control (22.7 h). Bajo estos resultados, estos autores resaltan que el incremento de fibra y la edad del animal se asocian con la velocidad de tránsito. En el presente trabajo, el incremento de fibra en el alimento (dieta adicionada con nopal) y de la edad del cerdo mostró una tendencia hacia una menor velocidad de tránsito: 22.7 y 23.8 h en cerdo de 20-50 y 50-100 kg, respectivamente (Figura 1). No obstante, Jha y Berrocoso (2015), señalan que dependiendo del tipo de fibra es el posible efecto que genere, ya que las fibras solubles son las que crean mayor viscosidad en el alimento ingerido y ello genera un tránsito lento del alimento por el tracto digestivo,

mientras que la fibra insoluble tiende absorber mayor cantidad de agua del alimento y lo hace pasar más rápido por el tracto digestivo.

Con respecto a la digestibilidad de los alimentos, esta depende en su mayoría al contenido nutricional de la dieta y se ve afectado por el contenido de materiales no dietéticos en las heces (Morales et al., 2003); al respecto, en la presente investigación se encontró (Tabla 8) que, los principales compuestos nutrimentales, materia seca (MS), proteína cruda (PC), extracto etéreo (EE) y fibra cruda (FC) fueron afectados por el grupo ($P < 0.001$).

Tabla 8. Análisis de varianza para el contenido nutricional del alimento para cerdos de 20-100 kg

F de V	MS		PC	EE	FC
	GL	CM	CM	CM	CM
Grupo	1	492.84**	11151.36**	12.25**	7482.25**
Fase	1	349.69**	2323.24**	1.44 ^{NS}	79.21**
Grupo*Fase	1	88.33**	1.96 ^{NS}	15.21**	88.36**
Error	32	1.164	54.66	8.618	4.81
Promedio D.E.		879 ±1.07	167±7.393	20±0.92	19±2.19
R ²		0.96	0.88	0.51	0.98

MS= Materia seca (g); PC= Proteína cruda (g); E.E= Extracto etéreo (g); FC= Fibra cruda (g)

**= Altamente significativo ($P < 0.001$); ^{NS}= No Significativo ($P > 0.05$)

Desde el punto de vista mecánico, la desaparición en el tracto gastrointestinal de los materiales ingeridos determina no solo el cese de la sensación del apetito en el animal, sino también la cantidad y calidad de los nutrientes del alimento asimilados (Ly, 2006). En este sentido, se encontró efecto de la interacción grupo*fase sobre los

contenidos de MS, EE y FC ($P < 0.001$), más no de la PC ($P > 0.05$) (Tabla 8). No obstante, al establecer la digestibilidad del alimento de acuerdo con la interacción grupo*fase, determino la existencia de diferencias ($P < 0.05$) en la digestibilidad de los nutrientes evaluados (Tabla 9); la digestibilidad de MS fue mayor ($P < 0.05$) en los cerdos del G2 vs G1: media general de 85.2 y 82.4%, respectivamente, durante la fase experimental (20 a 100 kg de peso vivo). No obstante, la digestibilidad de PC fue menor ($P < 0.05$) en el G2 (71.3%), en comparación con G1 (76.4%). En cuanto a la digestibilidad de FC, se observó que esta fue mayor en el G2 (82.4) vs G1 (49.7%). Mientras que la digestibilidad del EE fue mayor en G1 (66.5%) en comparación con G2 (56.3%) (Tabla 9).

Dégen, *et al.*, (2007), mencionan que por cada 1.0 g de fibra detergente neutra (NDF) kg^{-1} de MS de incremento de la dieta, se produce una reducción media de entre 0.03 y 0.08% de digestibilidad aparente de proteínas y una reducción aproximada de 0.1% de la digestibilidad de energía. No obstante, aún no se ha cuantificado el efecto de los diferentes tipos de fibra sobre la digestibilidad de los nutrientes; pero, la fibra soluble reduce la digestibilidad aparente y verdadera de la proteína y de los aminoácidos, así como la grasa y la energía más que la fibra insoluble. Lo que podría explicar, en parte, la menor digestibilidad de la proteína cruda (PC) y extracto etéreo (EE) en cerdos del G2 vs G1.

EFFECTO DE LA ADICIÓN DEL NOPAL (*Opuntia ficus-indica*) A LA DIETA DE CERDOS EN CRECIMIENTO (20-100 KG)
SOBRE LA VELOCIDAD DE TRÁNSITO DEL ALIMENTO EN EL TRACTO GASTROINTESTINAL

Tabla 9. Medias de mínimos cuadrados para el contenido nutricional de las excretas y coeficiente de digestibilidad

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

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

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

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

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

*Con base en el consumo de alimento

Por otra parte, Owusu *et al.* (2006) señalan que el incremento de fibra en la dieta del cerdo puede generar un menor consumo del alimento. Debido al incremento del volumen y a la disminución de la velocidad de tránsito, tal como se pudo observar en la presente investigación (Figura 1). Sin embargo, sugieren que la menor velocidad de tránsito que produce la fibra no siempre está relacionada con un mayor tiempo de contacto entre nutrientes y enzimas del tracto gastrointestinal (Liu *et al.* 2016). Jha y Berrocoso (2015) concuerdan con lo anterior: la inclusión de fibra a la dieta produce un incremento del volumen de la materia seca fecal, lo que puede estar relacionado a un menor aprovechamiento de la dieta; pero, ello dependerá del tipo de fibra

consumida. Además, Kyriazakis (2011) señala que la capacidad de digestión depende de la constitución genética del individuo, siendo los cerdos híbridos quienes muestran mayor capacidad de digestión de las dietas ricas en fibra, misma que aumenta con la edad y la madurez del sistema digestivo del cerdo (Le Goff *et al.*, 2002).

Al parecer, una disminución de la VTG del alimento provoca una mayor absorción de los nutrientes contenidos en el bolo alimenticio. Aspecto que puede comprobarse a través del análisis fisicoquímico de las heces de los cerdos (Tabla 9). Como ya se mencionó, los coeficientes de digestión para materia seca (MS) y fibra cruda (FC) fueron mayores en el G2 ($P < 0.05$), mientras que PC y EE fueron mayormente digeridos en el G1 (Tabla 9). Este efecto (G2) está relacionado con la fibra del nopal, en lo que respecta a la digestión del EE, posiblemente el efecto que creado por las pectinas del nopal (pecti-gel) en los cerdos del G2, lo cual redujo la digestibilidad de este nutriente (digestibilidad de EE = 56.3%) en comparación con el coeficiente de digestibilidad (66.5%) observado en el G1 (Tabla 9); cerdos que no consumieron nopal y por lo tanto no se dio el fenómeno de la formación de pecti-gel.

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

trabajo (Tabla 6), es evidente que la sustitución con fibra disminuye el coeficiente de digestión de la MS. No obstante, en el presente trabajo, el coeficiente de digestión promedio de la MS (85.2%) durante la fase experimental (20 a 100 kg) fue mayor en el G2 ($P < 0.05$), posiblemente porque la fibra aportada por el nopal era fibra soluble (Jha y Berrocoso, 2015).

La adición de fibra a la dieta comercial puede disminuir el coeficiente de digestión de la PC (de 80 a 70%) (Montagne *et al.*, 2014). En la presente investigación, las dietas no eran isoproteicas (19.3 y 17.7% de PC para la dieta control y de 15.8 y 14.2% de PC para la dieta experimental) y tal vez por ello, la diferencia en el coeficiente de digestibilidad de este nutriente entre los grupos analizados (Tabla 9). Por lo que, la digestión de la PC en el presente trabajo concuerda con lo reportado por Montagne *et al.* (2014).

Montagne *et al.* (2014) y Cerisuelo *et al.* (2012) al evaluar el coeficiente de digestión de la PC encontraron 85.6 y 85.5% de digestibilidad, para dietas con baja y alta densidad energética, respectivamente. Resultados mayores a los encontrados en la presente investigación (Tabla 9). Aspecto que puede estar determinado por la cantidad de la proteína presente en el alimento (Tabla 6). Sin embargo, Jha y Berrocoso (2015) señalan que la inclusión de fibra en la dieta de cerdos puede generar mayores niveles de excreción de PC por el efecto del pecti-gel que crea en el alimento lo cual impide o retrasa la degradación de este nutriente.

Jha y Berrocoso (2015) señalan que no se sabe si todos los granos crean efectos similares en la digestión de las fuentes de energía, pero es posible que por cada 1% de FC, disminuya principalmente la digestión de la energía bruta en 1.3% y 0.9% en la energía metabolizable. Le Goff *et al.* (2002) señalan que la capacidad de degradar nutrientes más complejos se incrementa con la edad del animal y con el incremento del consumo de alimento. Sin embargo, el efecto de viscosidad creado por el nopal, el cual no permite la degradación y absorción de las grasas, posiblemente es la respuesta del resultado encontrado tanto en la excreción como del coeficiente de digestión del EE en el G2 ($P < 0.05$). Montagne *et al.* (2014), quienes, al suplir parte de la dieta comercial con fibra, encontraron un descenso en el coeficiente de digestión del EE: 68.2% vs 78.6% en el testigo ($P < 0.05$). Mismo comportamiento encontraron Cerisuelo *et al.* (2012): a mayor densidad energética mayor ($P < 0.05$) es el coeficiente de digestión del EE.

Finalmente, en lo que respecta al consumo de alimento (CA), se encontró efecto de grupo ($P < 0.001$), fase ($P < 0.001$) y de la interacción grupo*fase de producción ($P < 0.05$) sobre esta variable (CA) (Tabla 10). En lo que respecta al efecto de grupo, se encontró que el CA cerdo⁻¹ día⁻¹, fue menor en G2, en ambas fases evaluadas: 1.5 ±0.06 y 2.8 ±0.06 kg, en la fase 1 y 2, respectivamente. Ello, en comparación con 1.8 ±0.06 y 3.3 ±0.06 kg de alimento, cerdo⁻¹ día⁻¹ en G1 (Tabla 11).

EFECTO DE LA ADICIÓN DEL NOPAL (*Opuntia ficus-indica*) A LA DIETA DE CERDOS EN CRECIMIENTO (20-100 KG)
 SOBRE LA VELOCIDAD DE TRÁNSITO DEL ALIMENTO EN EL TRACTO GASTROINTESTINAL

Tabla 10. Análisis de varianza para el consumo de alimento en cerdos de 20-100 kg

F de V	GL	CM
Grupo	1	30.8813**
Fase	1	367.2964**
Grupo*Fase	1	3.2969*
Error	752	0.3085
Total	755	
Promedio y D.E.		2.46±0.5
R ²		0.63

**= Altamente significativo (P<0.001); *=Significativo (P<0.05)

Probablemente la cantidad ingerida de nopal en BF cerdo⁻¹ día⁻¹ (Tabla 11) y en consecuencia las pectinas presentes en el mucilago (Montagne *et al.*, 2014.) y la fibra (Zhang *et al.*, 2013) no solo incrementaron el volumen de la dieta, sino también la viscosidad de la misma, lo que ocasiono un tránsito más lento del alimento y una respuesta de saciedad más rápida (Moore *et al.*, 2016), cuya respuesta fue: menor CA (Tabla 11).

EFFECTO DE LA ADICIÓN DEL NOPAL (*Opuntia ficus-indica*) A LA DIETA DE CERDOS EN CRECIMIENTO (20-100 KG)
 SOBRE LA VELOCIDAD DE TRÁNSITO DEL ALIMENTO EN EL TRACTO GASTROINTESTINAL

Tabla 11. Medias de mínimos cuadrados para el consumo voluntario de alimento promedio cerdo⁻¹ día⁻¹ semanal⁻¹ Fase⁻¹

Indicador	Grupo (G)			
	Control (G1)		Experimental (G2)	
	Fase 1 20-50 kg	Fase 2 50-100 kg	Fase 1 20-50 kg	Fase 2 50-100 kg
Peso inicial en kg	22.8 ^a ± 0.4	53.2 ¹ ± 0.4	21.9 ^a ± 0.4	53.4 ¹ ± 0.4
CA día ⁻¹ kg	1.8 ^a ± 0.06	3.3 ¹ ± 0.06	1.5 ^b ± 0.06	2.8 ¹ ± 0.05
CA semana ⁻¹ kg	12.8 ^a ± 0.43	23.3 ¹ ± 0.41	11.02 ^b ± 0.42	19.3 ² ± 0.41
CN día ⁻¹ kg	--	--	0.2 ± 0.02	0.5 ± 0.02
CN semana ⁻¹	--	--	1.7 ± 0.15	3.8 ± 0.14
CA total kg	96.3 ^a ± 1.5	207.7 ¹ ± 1.4	84.3 ^b ± 1.5	174.2 ² ± 1.4
CA total Fase 1 y 2 kg	303.6 ^a ± 1.6		257.3 ^b ± 1.6	
CN total kg	--	--	48.2 ± 0.6	
CA + CN kg	--	--	262.5 ± 1.6	
Peso final (kg)	48.0 ^a ± 0.4	100.8 ¹ ± 0.4	48.3 ^a ± 0.4	101.7 ¹ ± 0.4
Duración fase ⁻¹ (días)	52.4 ^a ± 0.8	61.6 ¹ ± 0.8	53.5 ^a ± 0.8	61.4 ¹ ± 0.8
Duración para 100 kg (días)	114.0 ^a ± 0.6		114.9 ^a ± 0.6	

CA=Consumo de alimento comercial; CN=Consumo de nopal

Literales ^{a, b} indican diferencias (P<0.001) entre grupos dentro de la Fase 1.

Numerales ^{1, 2} indican diferencias (P<0.001) entre grupos dentro de la Fase 2.

Si bien lo anteriormente discutido podría ser la respuesta al menor consumo de alimento de los cerdos sometidos a la dieta adicionada con nopal (G2), dicho consumo en las Fases 1 y 2 del G2 (Tabla 11) resultó ser menor al reportado por Campabadal, (2009): 2.0 kg de alimento cerdo⁻¹ día⁻¹ durante la Fase 1 y, 3.0 kg de alimento cerdo⁻¹ día⁻¹ durante la Fase 2. Pero, además, este menor consumo día⁻¹ cerdo⁻¹ se reflejó en el consumo total de alimento comercial durante la fase experimental (20-100 kg): 257.3 ± 1.6 vs 303.7 ± 1.6 kg de alimento cerdo⁻¹ 20-100 k

en G1 (Tabla 11). Este hallazgo resultó en 46.3 kg (15.2%) de alimento comercial menos cerdo⁻¹ durante la fase experimental (20-100 kg de PV), ello en comparación con el CA de los cerdos del G1. Sin embargo, el consumo total de nopal de los cerdos de G2, durante este periodo (20 a 100 kg de PV), fue de 48.2 kg en BF ó 5.1 kg en base seca (BS) cerdo⁻¹ (Tabla 11) y ello generó, un consumo total de alimento (AC + nopal en BS) de 262.5 kg de alimento cerdo⁻¹.

Los resultados de los cerdos para abasto presentaron menor consumo de AC sin afectar el crecimiento (PV) de los mismos (Tabla 11), es un aspecto favorable, sobre todo cuando en la actualidad el área de la nutrición está enfocada en reducir los costos de alimentación sin perjudicar el tiempo de crecimiento de los animales (Herrera *et al.*, 2013). Al parecer, independientemente del aporte nutricional que contenga el nopal, la ingestión de esta cactácea es capaz de disminuir el tiempo de tránsito del alimento por el tracto gastrointestinal y potencializar el aprovechamiento del mismo al convertirlo en kilogramos de carne (Tabla 11).

Pérez *et al.* (2016^a) sugieren que, la ingesta de nopal por parte de los cerdos mejora la digestión y aprovechamiento de los nutrientes contenidos en el alimento comercial. Puesto que la fibra cruda contenida en el nopal puede generar los siguientes efectos:

- a) La fibra del nopal, junto con el alimento consumido, induce mayor distensión del estómago y genera la respuesta de saciedad;
- b) la fibra del nopal retiene mayor

cantidad de líquidos en el bolo alimenticio y ello provoca mayor viscosidad del alimento y menor velocidad de tránsito de la ingesta a nivel gastrointestinal; la consecuencia de ello, es una degradación y absorción más eficiente de los nutrientes contenidos en el alimento en el intestino delgado (Zhang *et al.*, 2013); c) aún y cuando la porción de fibra insoluble contenida en el nopal, solo se digiere parcialmente (50 al 60%) en el colón a través de la fermentación anaerobia (Otalora *et al.*, 2015), este porcentaje contribuye con una producción mayor de ácidos grasos volátiles de cadena corta (acetato, propionato y butirato), lo cual mejora la absorción de nutrientes (Heimendal *et al.*, 2009; Missotten *et al.*, 2010) para ser metabolizados (Moore *et al.*, 2016).

8. CONCLUSIÓN

La complementación del 1% de nopal (*O. ficus-indica*) a la dieta de los cerdos para abasto reduce la velocidad de tránsito del alimento por el tracto gastrointestinal y, ello, provoca menor consumo voluntario de alimento comercial sin alterar el tiempo para alcanzar el peso (100 kg de peso vivo) para el mercado. Por ello, el nopal como complemento de la dieta en cerdos para abasto es una alternativa nutricional viable para reducir los costos de producción, por concepto de alimentación, en los sistemas de producción porcina.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Azzarini, A., Goyetvhe, I., Ruiz, M. I., Mello, N. 1986. Producción y comercialización Porcina en Uruguay. IPRU. Montevideo, Uruguay
- Barretero, R.H., Galyean , M.L., PAS, Vizcarra, J.A. 2010. The effect of feed restriction on plasma ghrelin, growth hormone, insulin, and glucose tolerance in pigs. *The Professional animal scientist* 26:26-34
- Bobadilla Soto Encarnación Ernesto, Espinoza Ortega Angélica Y Ernesto Martínez Castañeda Francisco. 2010. Dinámica de la producción porcina en México de 1980 a 2008. Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales. Universidad Autónoma del Estado de México. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.* 2010;1(3):251-268
- Bobadilla, E. S., Espinoza, A. O., Martínez, F. C. 2013. Competitividad y rentabilidad en granjas porcinas productoras de lechón. *Ciencias Pecuarias.* 4(1):87-91
- Bondi A. A. 1989. Digestión de nutrientes. *Nutrición animal.* Editorial Acribia, S. A. Zaragoza, España. pp. 546
- Bortoli Fernando. 2011. Factores que afectan la conversión alimenticia en cerdos [en línea].
www.ciap.org.ar/ciap/sitio/materiales/capacitación/fericerdo%202011/factores%20que%20afectan%20la%20conversion%20alimenticia%20en%20cerdos.pdf (fecha de consulta: 27/10/2016).
- Buxade, C. C. 1996. *Porcicultura Intensiva y Extensiva.* Mundi. Prensa. 6.382pags.
- 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 en Transferencia de Tecnología Agropecuaria en Cerdos (PITTA CERDOS). Costa Rica, pp 40-46
- Carám I.J.L. 2014. Crece consumo per cápita de carne de cerdo: Confederación de Porcicultores Mexicanos. SAGARPA, 2014. [En línea]
<http://sagarpa.gob.mx/saladeprensa/2012/Paginas/2014B942.aspx>
(Fecha de consulta 16/02/2017)
- Cerisuelo, A., Torres, A., Lainez, M., Moset, V. 2012. Increasing energy and lysine in diets for growing finishing pigs in hot environmental conditions:

Consequences on performance, digestibility, slurry composition, and gas emission. *Journal animal science* 90:1489-1498

- Colina, J. J., Jerez, N. C., Araque, H.E., Rico, D. C. 2010. Canales y rendimiento en cortes de cerdos en crecimiento, alimentados con harina de *Bactris gasipaes* H.B.K (pijigüao) y lisina. *Ciencia Agrícola*. 44(4):379-384
- Covallotti Vázquez Beatriz, Cesin Vargas Alfredo, Ramírez Valverde Benito y Marcof Álvarez Carlos. 2012. Ganadería y alimentación: Alternativas frente a la crisis ambiental y el cambio social. SAGARPA. CONACYT. Universidad Autónoma de Chapingo. Colegio de posgrados Universidad Nacional Autónoma de México. Vol:1
- Da Silva Agostini. 2013. Caracterización e influencia de los factores de producción en el cebo de los cerdos en condiciones comerciales. pp. 19-32.
- Danura S. 2010. Requerimientos nutricionales y plan de alimentación para la etapa de crecimiento y terminación [En línea] http://www.aacporcinos.com.ar/articulos/nutricion_porcina_09-2010_requerimientos_nutricionales_y_plan_de_alimentacion_para_la_etapa_de_crecimiento_y_terminacion.html (fecha de consulta: 16/02/2017)
- Dégen L., Halas V. y Babinszky L. 2007. Effect of dietary fibre on protein and fat digestibility and its consequences on diet formulation for growing and fattening pigs: A review, *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A — Animal Science*, 57:1, 1-9, DOI: 10.1080/09064700701372038
- Del Moral B. E., L. G. Rodríguez. (2010). Perspectivas del sector porcícola mexicano para 2010. *Rev: Trimestral de análisis de coyuntura económica*. III. Núm; 2. 6-8.
- Dra. Eva A. Latymer, Dra. AG Low, Dra. Kathleen Fadden, Dra. IE Sambrook, Dra. Susan C. Woodley y Dra. HD Keal. (2009). Measurement of transit time of digesta through sections of gastrointestinal tract of pigs fed with diets containing various sources of dietary fibre (non-starch polysaccharides). doi.org/10.1080/17450399009428415
- Financiera Nacional de Desarrollo Agropecuario, Rural, forestal y pesquero (FND). 2014. Panorama del porcino. Secretaria de hacienda y crédito público (SHCP). Dirección General Adjunta de Planeación Estratégica, Análisis Sectorial y Tecnologías de la Información.

- Furuya By S. y Takahashi S. 1975. Absorption of L-histidine and glucose from the jejunum segment of the pig and its diurnal fluctuation. Department of Nutrition, National Institute of Animal Industry, Chiba-Shi 280, Japan
- García Contreras A. C., De Loera Ortega Y. G., Yague A. P., Guevara Gonzalez J. A. and García Artiga C. 2012. Alimentación práctica del cerdo. Revista complutense de ciencias veterinarias. 2012 6 (1):21-50. [En línea] http://dx.doi.org/10.5209/rev_RCCV.2012.v6.n1.38718 (fecha de consulta: 27/10/2016)
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación Köppen: Para adaptarlo a las condiciones de la república mexicana. Instituto de geografía UNAM, 5 (6): 18-21
- Germán Alarcón Carlos G., Camacho Ronquillo Julio César y Gallegos Sánchez Jaime. 2005. Manual del participante producción de cerdos. Secretaria de la reforma agraria. Institución de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas México-Puebla-San Luis Potosí-Tabasco-Veracruz-Córdoba.
- Gil, A. 2010. Tratado de Nutrición, Tomo II: Composición y Calidad Nutritiva de los Alimentos. 2da edición. Editorial Médica Panamericana. Madrid, España.
- Giner, RA.; Fierro, LC. y Negrete, LF. 2011. Análisis de la Problemática de la Sequía 2011- 2012 y sus Efectos en la Ganadería y Agricultura de Temporal. México: Comisión Nacional de Zonas Áridas (CONAZA), Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA).
- Gutiérrez Ó. Erasmo, Elías Arabel, Santos H. Argelio, Facundo Antonio, Morales T. Homero y Bernal B. Hugo 2008. Uso del nopal nativo y cultivado en la alimentación de rumiantes. VII Simposium-Taller —Producción y Aprovechamiento del Nopal en el Noreste de México”. Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Agronomía.
- Guzmán Loayza Deysi y Chávez Jorge. 2007. Estudio bromatológico del cladodidel nopal (*opuntia ficus-indica*) para el consumo humano. Enseñanza de la química. Rev. Soc. Quím. Perú. 2007, 73, N° 1 (41-45)
- Heimendahl, E. V., Breves, G., Abel, H.J. 2009. Fiber-related digestive processes in three different breeds of pigs. Journal animal science. 88(3):972-981
- Hernandez, L.S.H, Rodríguez, C.J.G., Lemus, F.C., Grageola, N.F., Estévez, M. 2016. Avocado waste for finishing pigs: Impact on muscle composition and oxidative stability during chilled storage. Meat Science, 116: 186-192

- Herrera, R., Pérez, A., Arece, J., Hernández, A. y Iglesias, J. M. 2013. Utilización de grano de sorgo y forraje de leñosas en la ceba porcina. *Revista Pastos y Forrajes*. 36(1):56-63
- INEGI 2010. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Anuario Estadístico del Estado de Michoacán. 2010 pp. 127-142.
- Jerez, N. C.; Colina, R.J.; Araque, H.E.; Jiménez, P.; Velazco, M.; y Colmenares, C. 2011. Composición proximal y contenido de lípidos y colesterol de la carne de cerdos alimentados con harina de pijiguao (*Bactris gasipaes* Kunth) y lisina sintética. *Archivos latinoamericanos de nutrición*. 61(1): 96-101.
- Jha, R., Berrocoso, J.D. 2015. Review: Dietary fiber utilization and its effects on physiological functions and gut health of swine. *Animal*. 9: 1441-1452
- Juárez, M. 2013. Aspectos a considerar en la importancia del agua en la nutrición y alimentación del cerdo., *Revista los porcicultores y su entorno*. 96:95 y 96
- Kyriazakis, I. 2011. Opportunities to improve nutrient efficiency in pigs and poultry through breeding. *Animal*, 5: 821-832
- Lachmann Mariela y Araujo Febres O. 2016. La estimación de la digestibilidad en ensayos con rumiantes. La Universidad del Zulia. 1Facultad de Ciencias Veterinarias. Departamento de Producción e Industria Animal. Facultad de Agronomía. Departamento de Zootecnia. Apartado 15205. Maracaibo, ZU 4005 Venezuela.
- Le Goff, G., van Milgen, J., Noble, J. 2002. Influence of dietary fibre on digestive utilization and rate of passage in growing pigs, finishing pigs and adult sows. *Animal science*, 74: 503-515
- Lefaucheur, L., Lebret, B., Ecolan, P., Louveau, I., Damon, M., Prunier, A., Billon, Y., Sellier, P., Gilbert, H. 2011. Muscle characteristics and meat quality traits are affected by divergent selection on residual feed intake in pigs. *J Anim Sci*. 89: 996-1010
- Littel, C. R., Stroup, W. W., Freud, J. R. 2002. SAS® for Linear Models, Fourth Edition. Cry, NC: SAS Institute Inc. USA 191-194
- Liu, Q., Zhang, Q.M., Zhang, Z.J., Zhang, Y.J., Zhang, Y.W., Chen, L., Zhuang, Z. 2016. Effect of fiber source and enzyme addition on the apparent digestibility of nutrients and physicochemical properties of digesta in cannulated growing pigs. *Animal feed science and technology* 216: 262-272

- López González Juan José, García Jovel Hernán, Ayala Ortega Myrna y García Ponce Gabriel. 2001. Establecimiento y producción de nopal forrajero con surcado lister en ramos arizpe, Coahuila. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro
- López P. E., Pro M. A., Cuca G. J. M. y Pérez H. P. 2012. Ponencia presentada en dos partes, expuesta durante el II Foro Internacional "Ganadería de Traspatio y Seguridad Alimentaria" que se llevó acabo del 29 al 31 de Octubre del 2012. En el Colegio de Posgrados Campus Veracruz
- López, J. L. 2007. Use of Opuntia Cactus as a Hypoglycemic Agent in Managing Type 2 Diabetes Mellitus among Mexican American Patients. Nutrition Bytes, 12(1). [En línea] <https://escholarship.org/uc/item/555845b1> (fecha de consulta:23/03/2017)
- Ly, J. 2008. Una aproximación a la fisiología de la digestión de cerdos criollos. Revista Computadorizada de Producción Porcina, 15: 13-23
- Martínez, J., Peris, B., Gómez, E. A., Corpa, J. M. 2009. The relationship between infectious and noninfectious herd factors with pneumonia at slaughter and productive parameters in fattening pigs. Journal Veterinary. 179: 240-246
- Medina Ramírez Salvador. 2013. México en el mercado internacional del cerdo. Comercio exterior. Vol. 63, Num. 6 [En línea] http://revistas.bancomext.gob.mx/rce/magazines/754/2/Mexico_en_el_mercado.pdf (fecha de consulta 11/11/16)
- Missotten, J.A.M., Michielsa, J., Willemsa, W., Ovyana, A., De Smeta, S., Diericka, N.A. 2010. Effect of fermented liquid feed on morpho-histological parameters in the piglet gut. Livestock Science. 134(1-3): 155-157
- Missotten, J.A.M., Michielsa, J., Willemsa, W., Ovyana, A., De Smeta, S., Diericka, N.A. 2010. Effect of fermented liquid feed on morpho-histological parameters in the piglet gut. Livestock Science. 134(1-3): 155-157
- Montagne, L., Loisel, F., Le Naou, T., Gondret, F., Gilbert, H., Le Gall, M. 2014. Difference in short-term responses to a high-fiber diet in pigs divergently selected for residual feed intake. Journal animal science. 92:1512-1523
- Moore, K.L., Mullan, B.P., Kim, J.C. 2016. An evaluation of the alternative feeding strategies, blend feeding, three-phase feeding or a single diet, in pigs from 30 to 100 kg liveweight. Animal Feed Science and Technology. 216: 273-280

- Morales, J.; Pérez, J.; Anguita, M.; Martín-Orúe, S.; Fondevila, M.; Gasa, J. 2003. Comparación de parámetros productivos y digestivos entre cerdos ibéricos y Landrace alimentados con maíz o bellota y sorgo. Archivos de Zootecnia. 52: 35-45.
- Mosnier, E., Etiene, M., Ramaekers, P., Pére, M.C. 2010. The metabolic status during the peri partum period affects the voluntary feed intake and the metabolism of the lactating multiparous sow. Livestock Science. 127: 127-136
- Mößeler, A., Köttendorf, S., Große L.V., Kamphues, J. 2010. Impact of diets' physical form (particle size; meal/pelleted) on the stomach content (dry matter content, pH, chloride concentration) of pigs. Livestock science 134:146-148
- Ordaz, O.G., Juárez, C.A., Pérez, S.R.E., Román, B.R.M., Ortiz, R.R. 2017. Effect of spineless cactus intake (*Opuntia ficus-indica*) on blood glucose levels in lactating sows and its impact on feed intake, body weight loss, and weaning-estrus Interval. Tropical Animal Health Production, 49:1025-1033
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2017. Consumo de carne. Departamento de agricultura y protección del consumidor. Producción y sanidad animal. [En línea] <http://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/meat/background.html> (fecha de consulta: 12/04/2017)
- Ortiz Rodríguez Ruy. 2004. Comprensión y análisis de la dinámica productiva de los sistemas intensivos de producción porcina a través de los reportes originados por el pigchamp. Características de los sistemas intensivos de producción porcina. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Ortiz, R.R., Ordaz, O.G., Juárez, C.A., Pérez, R.E. 2015. Efecto de nopal (*Opuntia ficus-indica*) sobre los niveles de glucosa sanguínea en cerdas lactantes y su repercusión en el consumo voluntario de alimento. XXIV Congreso de la asociación latinoamericana de producción animal y XL Congreso de la sociedad Chilena de producción animal. Sochipa. A.G. que se llevó acabo del 9 al 13 de noviembre en Puerto Varas Chile.
- Otálora, M.C., Carriazo, J.G., Iturriaga, L., Nazareno, M.A., Osorio, C. 2015. Microencapsulation of betalains obtained from cactus fruit (*Opuntia ficus-indica*) by spray drying using cactus cladode mucilage and maltodextrin as encapsulating agents. 187:174-181

- Owusu, A.A., Patience, J.F., Laarveld, B., Van Kessel, A.G., Simmins, P.H., Zijlstra, R.T. 2006. Effects of guar gum and cellulose on digesta passage rate, ileal microbial populations, energy and protein digestibility, and performance of grower pigs. *Journal animal science*, 84:843-852
- Paramio Ma. Teresa, Manteca Xavier, Milan Ma. José, Piedrafita Jesús, Izquierdo Ma. Dolores, Gasa Josep, Mateur Enric y Pares Ricard. 2010. Universidad Autonoma de Barcelona. 2010. Manejo y producción de porcino. Breve manual de aproximación a la empresa porcina para estudiantes de veterinaria. Barcelona. 52 pags.
- Pérez-Sánchez R.E., Gaytán-Lemus S.B., Vargas-Ortiz K., Ortiz-Rodriguez R. 2016^a. Efecto de la adición de nopal (*O. ficus-indica*) a la dieta de cerdos en las fase 20-50 y 50-100 kg sobre el consumo de alimento, agua y velocidad de crecimiento. X Simposio Internacional sobre Flora Silvestre en Zonas Áridas. Que se llevó acabo del 11, 12 y 13 de octubre del 2016 en el centro de artes de la universidad de Sonora.
- Pérez S.E.R., Gaytán L.S.B., Vargas Ortiz K. y Ortiz R.R. 2016^b. Efecto del nopal como complemento de la dieta de cerdos de 20-100 kg sobre rendimiento y calidad de la canal. Producción y Aprovechamiento del Nopal y Maguey. XV Simposium-Taller Nacional y VIII Internacional. Que se llevó acabo del 10 y 11 de noviembre del 2016 en la facultad de la universidad autónoma de nuevo león. Monterrey.
- Pierozan, C.R., Agostini, P.S., Gasa, J., Novais, A.K., Dias, C.P., Santos, R.S.K., Pereira, Jr. M., Nagi, J.G., Alves, J.B., Silva, C.A. 2016. Factors affecting the daily feed intake and feed conversion ratio of pigs in grow-finishing units: the case of a Company. *Span J Agric Res*, 2: 1-8
- Reveles-Hernández Manuel y Ángel Flores-Ortiz Miguel. 2010. El manejo del nopal forrajero en la producción del ganado bovino. VIII Simposium-Taller Nacional y 1er Internacional —Producción y Aprovechamiento del Nopal”. Campo Experimental Zacatecas del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. *RESPYN Revista Salud Pública y Nutrición*, Edición Especial No. 5-2010
- SAGARPA. 2016. —Situación actual y perspectiva de la producción de carne de porcino en México 20016”.
- SAGARPA. 2017. —Situación actual y producción de carne de porcino en México 20016”.
- SAS. 2000. Statistical Analysis System. Institute Inc. North Caroline. USA

- Savón, L., Mora, L.M., Dihigo, L.E., Rodríguez, V., Rodríguez, Y., Scull, I., Hernández, Y., Ruiz, T.E. 2008. Efecto de la harina de follaje de *Tithonia diversifolia* en la morfometría del tracto gastrointestinal de cerdos en crecimiento-ceba. *Zootecnia Trop.*, 26(3): 387-390
- Solórzano R.. 2005. Alimentación básica del cerdo. *Vademécum avícola*. Edifarm. [En línea] https://quickvet.edifarm.com.ec//pdfs/articulos_tecnicos/ALIMENTACION%20BASICA%20CERDO.pdf (fecha de consulta: 15/16/2016)
- Sundrum, A., Aragon, A., Schulze-Langenhorst, C., Bütfering, L., Henningc, M., Stalljohannb, G. 2011. Effects of feeding strategies, genotypes, sex, and birth weight on carcass and meat quality traits under organic pig production conditions. *NJAS – Wageningen J Life Sci*, 58: 163-172
- Tang, Z.R., Yin, Y.L., Nyachoti, C.M., Huang, R.L., Li, T.G., Yang, C., Yang, X.J., Gong, J., Peng, J., Qi, D.S., Xing, J.J., Sun, Z.H., Fan, M.Z. 2005. Effect of dietary supplementation of chitosan and galacto-mannan-oligosaccharide on serum parameters and the insulin-like growth factor-I mRNA expression in early-weaned piglets. *Domestic Animal Endocrinology*, 28:430-441
- Torres A. 2011. Composición química del nopal y sus implicaciones en la nutrición de rumiante s. *Rev Salu Públ Nutr*, 5: 143-151
- Trujillo Ortega María Elena Y Martínez Gamba Roberto G. (2002). *Zootecnia de porcinos*. [En línea] http://www.fmvz.unam.mx/fmvz/p_estudios/apuntes_zoo/unidad_6_cerdos.pdf .(fecha de consulta: 15/02/2017)
- Valenzuela B. Andrea y Maiz G. Alberto 2006. El rol de la fibra dietética en la nutrición enteral. *Revista Chilena de Nutrición*, vol. 33, núm. 2, noviembre, 2006. Sociedad Chilena de Nutrición, Bromatología y Toxicología Santiago, Chile.
- Villamar Angulo, L., y Wadgyamar, B. 2006. Situación actual y perspectiva de la producción de carne de porcino en México 2006. *Apoyos y Servicios a la Comercialización Agropecuaria, México (México)*.
- Wilfart Aurélie, Montagne Lucile, Simmins Howard, Noblet Jean y Milgen Jaap van. 2006. Digesta transit in different segments of the gastrointestinal tract of pigs as affected by insoluble fibre supplied by wheat bran. doi: 10.1017/S0007114507682981

**EFEECTO DE LA ADICIÓN DEL NOPAL (*Opuntia ficus-indica*) A LA DIETA DE CERDOS EN CRECIMIENTO (20-100 KG)
SOBRE LA VELOCIDAD DE TRÁNSITO DEL ALIMENTO EN EL TRACTO GASTROINTESTINAL**

- Wilfart, A., Montagne, L., Simmins, H., Noblet, J., van Milgen, J. 2007. Digesta transit in different segments of the gastrointestinal tract of pigs as affected by insoluble fibre supplied by wheat bran. *British journal of nutrition*, 98: 54-62
- Wilfart, L. Montagne, P. H. Simmins, J. van Milgen, Y J. Noblet. 2014. Sites of nutrient digestion in growing pigs: Effect of dietary fiber. Published December 8, 2014. American Society of Animal Science. All rights reserved. *J. Anim. Sci.* 2007. 85:976–983. doi:10.2527/jas.2006-431
- Zhang, W., Li, D., Liu, L., Zang, J., Duan, Q., Yang, W., & Zhang, L. 2013. The effects of dietary fiber level on nutrient digestibility in growing pigs. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 4(1), 17. <http://doi.org/10.1186/2049-1891-4->