



Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo



Facultad de Medicina Veterinaria Y Zootecnia

Tesis:

EVALUACIÓN DE TRES NIVELES (1.0, 1.5 Y 2.0%) DE ADICIÓN DE NOPAL (*OPUNTIA FICUS-INDICA*) A LA DIETA PARA CERDAS EN LACTACIÓN EN FUNCIÓN CON EL METABOLISMO ENERGÉTICO Y PÉRDIDA DE PESO CORPORAL DURANTE LA LACTANCIA

Que Presenta:

PMVZ. Juan Piedad Aguilar Olivo

Para obtener el Título de Médico Veterinario Zootecnista

Director de Tesis

MC. Manuel López Rodríguez

Co-asesor de Tesis:

MC. Ruy Ortiz Rodríguez

Dr. Gerardo Ordaz Ochoa

Octubre del 2019



Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo



Facultad de Medicina Veterinaria Y Zootecnia

Tesis:

EVALUACIÓN DE TRES NIVELES (1.0, 1.5 Y 2.0%) DE ADICIÓN DE NOPAL (*OPUNTIA FICUS-INDICA*) A LA DIETA PARA CERDAS EN LACTACIÓN EN FUNCIÓN CON EL METABOLISMO ENERGÉTICO Y PÉRDIDA DE PESO CORPORAL DURANTE LA LACTANCIA

Que Presenta:

PMVZ. Juan Piedad Aguilar Olivo

Para obtener el Título de Médico Veterinario Zootecnista

MORELIA MICH. Octubre del 2019



Aprobación de Impresión del Trabajo

Morelia, Michoacán, 29 de mayo de 2019

C. MC. JORGE ARTURO ARANA SANDOVAL

Director de la FMVZ-UMSNH

PRESENTE.

Por este conducto hacemos de su conocimiento que la tesis titulada: **"EVALUACION DE TRES NIVELES (1.0, 1.5 Y 2.0%) DE ADICION DE NOPAL (*Opuntia ficus-indica*) A LA DIETA PARA CERDAS EN LACTACIÓN EN FUNCION CON EL METABOLISMO ENERGÉTICO Y PÉRDIDA DE PESO CORPORAL DURANTE LA LACTANCIA"**, desarrollada por el P. MVZ. JUAN PIEDAD AGUILAR OLIVO, dirigida por el asesor MC. MANUEL LÓPEZ RODRÍGUEZ, fue **revisada y aprobada** por esta mesa sinodal, conforme a las normas de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

ATENTAMENTE

MC. VÍCTOR MANUEL SÁNCHEZ PARRA
PRESIDENTE

MC. RUY ORTIZ RODRÍGUEZ
VOCAL

MC. MANUEL LÓPEZ RODRÍGUEZ
VOCAL (ASESOR)

Agradecimiento

El presente trabajo investigativo agradezco a Dios por regalarme el don de la vida, por guiarme a lo largo de mi existencia, darme la fortaleza para continuar en aquellos momentos difíciles de dificultad y de debilidad y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mis papas, por su amor, trabajo, sacrificio de todos estos años, por confiar y creer en mis expectativas, por los consejos, valores y principios que me han inculcado gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que hoy he logrado. Ha sido un orgullo y un privilegio el ser su hijo, son los mejores papas

Mi profunda gratitud al M.C Ruy Ortiz por haberme guiado, no solo en la elaboración de este trabajo de titulación, sino por haber compartido sus conocimientos a lo largo de mi preparación como profesional, quien ha guiado con sus consejos, correcciones, paciencia, para desarrollarme profesionalmente y seguir cultivandome como profesionalista.

Asimismo, agradezco infinitamente a mis Hermanos que con sus palabras me hacían sentir orgulloso de lo que soy y de lo que les puedo enseñar. Ojala algún día yo me convierta en se fuerza para que puedan seguir avanzando en su camino

Índice	Pag
1. Introducción.....	1
2. Antecedentes	5
2.1 Producciones porcinas a nivel mundial	5
2.2 Consideración preliminares sobre el concepto de sistemas	6
2.3 Manejo integral de la explotación porcina:	
hombre-animal-tecnología.....	9
2.4 Procesos parciales de producción porcina	12
2.5 Limitantes productivas de las cerdas	24
2.6 Hipofagia fisiológica lactacional	25
3 Planteamiento del problema	30
4 Hipótesis	31
5 Objetivos	32
5.1 Objetivo general	32
5.2 Objetivos particulares	32
6 Materiales y Métodos	34
7 Conclusión	43
8 Bibliografía	44

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la adición de tres niveles (1.0, 1.5 y 2.0%) de nopal (*O. ficus-indica*) a la dieta para cerdas en fase de lactación, sobre el consumo de alimento y su relación con los metabolitos energéticos: glucosa sanguínea, colesterol total y triglicéridos. Se utilizaron 16 cerdas (Yorkshire x Landrace x Pietrain) nulíparas próximas al parto, con un peso promedio de 150 kg. Con las cuales se formaron cuatro grupos (G): G1 o control (n=4), cerdas alimentadas *ad libitum*; con una dieta convencional para cerdas lactantes; G2 (n=4), cerdas sometidas a una dieta convencional para hembras lactantes adicionada con de 1.0% de nopal (*O. ficus-indica*) en base fresca (BF); porcentaje establecido con base al peso vivo de la cerda cinco días antes del parto; G3 (n=4) cerdas alimentadas a una dieta convencional para hembras lactantes adicionada con 1.5% de *O. ficus-indica* en BF y; G4 (n=4), cerdas sometidas a una dieta convencional para hembras lactantes adicionada con 2.0% de nopal en BF. Las variables evaluadas (cerda⁻¹) fueron: glucosa sanguínea (GS), colesterol total (CT), triglicéridos (TS), consumo de alimento voluntario (CVA) día⁻¹ y pérdida de peso de la cerda durante la fase de lactación. La información recabada, respecto a glucosa sanguínea y consumo de alimento, se analizó estadísticamente a través de la metodología de mediciones repetidas, utilizando para ello, el modelo de efectos fijos (MIXED). Mientras que la información referente a la pérdida de peso corporal de la cerda al finalizar la fase de lactación se analizó a través de modelos lineales generalizados (GLM). Las diferencias entre grupos se obtuvieron mediante el método de medidas de mínimos cuadrados a un $\alpha=0.05$. El CVA cerda⁻¹ día⁻¹ en la 1ª semana de lactación (SL) fue de 3.1 kg y en la 3ª SL fue de 4.5 kg. El consumo de nopal cerda⁻¹ día⁻¹ fue igual ($P>0.05$): 1.65, 1.79 y 2.19 kg para G2, G3 y G4, respectivamente. Preparto, el pico de GS fue el día del parto (G1, de 120 mg dL⁻¹) y se normalizó (≤ 80 mg dL⁻¹) en la 3ª SL ($P<0.05$). Los picos de GS de G3 y G4 fueron menores ($P<0.05$) e iguales entre sí ($P>0.05$). Mismo comportamiento tuvo CT: 87.6 a 100.1 mg dL⁻¹ preparto y 73.4 a 88.3 mg dL⁻¹ el día del parto para G1 y G2, respectivamente; G3 y G4 fueron menores ($P<0.05$) e iguales entre sí ($P>0.05$). Ts, preparto: 74.39 mg dL⁻¹ y 60.24 mg dL⁻¹ para G1 y G2 respectivamente. Al parto: 69.05 mg dL⁻¹ para G1 y G2. Postparto disminuyó Ts ($P<0.05$): día 7 postparto de 59.93 mg dL⁻¹. Pero, en G3 se incrementan (≥ 45.0 mg dL⁻¹). El CVA no se incrementa con forme se incrementa el consumo de nopal. Los consumos de esta cactácea $\geq 1.5\%$ cerda⁻¹ día⁻¹ tienen un mayor efecto sobre GS, CT y Ts, aspecto que debe ser investigado.

Palabras clave: Nopal, alimentación, cerdas lactantes, metabolismo, rendimiento productivo.

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the effect of the addition of three levels (1.0, 1.5 and 2.0%) of nopal (*O. ficus-indica*) to the diet for sows during lactation on feed intake and their relationship with energy metabolites: blood glucose, total cholesterol and triglycerides. Sixteen nulliparous sows (Yorkshire x Landrace x Pietrain) were used next to the farrowing, with an average weight of 150 kg. With which four groups (G) were formed: G1 or control (n=4), sows fed *ad libitum*; with a conventional diet for lactating sows; G2 (n=4), sows subjected to a conventional diet for lactating sows added with 1.0% nopal (*O. ficus-indica*) on a fresh basis (BF); percentage established based on the sow's live weight five days before to farrowing; G3 (n=4) sows fed a conventional diet for lactating sows added with 1.5% *O. ficus-indica* in BF and; G4 (n=4), sows subjected to a conventional diet for lactating sows added with 2.0% nopal in BF. The variables evaluated (sow⁻¹) were: blood glucose (BG), total cholesterol (TC), triglycerides (TG), voluntary feed intake (VFI) day⁻¹ and sow weight loss during the lactation phase. The information collected, regarding blood glucose and food consumption, was statistically analyzed through the methodology of repeated measurements, using the fixed effects model (MIXED). While information regarding the loss of sow body weight at the end of the lactation phase was analyzed through generalized linear models (GLM). Differences between groups were obtained using the method of least squares measurements at an $\alpha = 0.05$. VFI sow⁻¹ day⁻¹ in the 1st week of lactation (LW) was 3.1 kg and in the 3rd LW it was 4.5 kg. The consumption of nopal day⁻¹ was the same ($P > 0.05$): 1.65, 1.79 and 2.19 kg for G2, G3 and G4, respectively. Prepared, the peak of BG was the day of farrowing (G1, 120 mg dL⁻¹) and normalized (≤ 8 mg dL⁻¹) in the 3rd LW ($P < 0.05$). The BG peaks of G3 and G4 were smaller ($P < 0.05$) and equal to each other ($P > 0.05$). Same behavior had TC: 87.6 to 100.1 mg dL⁻¹ pre-farrowing and 73.4 to 88.3 mg dL⁻¹ on the day of farrowing for G1 and G2, respectively; G3 and G4 were lower ($P < 0.05$) and equal to each other ($P > 0.05$). TG, pre-farrowing: 74.39 mg dL⁻¹ and 60.24 mg dL⁻¹ for G1 and G2 respectively. At farrowing: 69.05 mg dL⁻¹ for G1 and G2. Post-farrowing decreased TG ($P < 0.05$): day 7 post-farrowing of 59.93 mg dL⁻¹. But, in G3 they increase (≥ 45.0 mg dL⁻¹). The VFI does not increase as nopal consumption increases. The consumption of this cacti $\geq 1.5\%$ sow⁻¹ day⁻¹ has a greater effect on BG, TC and TG, which should be investigated.

Keywords: Nopal, feeding, lactating sows, metabolism, productive performance.

1. Introducción

Actualmente la porcicultura se sustenta en investigaciones que generen una producción eficiente y rentable (Cuevas, 2018) tomando en cuenta indicadores que afectan directamente la productividad de la cerda (partos, lechones nacidos vivos y destetados cerda⁻¹ año⁻¹) y que determinan la eficiencia y rentabilidad del sistema (Aherne, 2001; Martínez *et al.*, 2014; Kim, 2013). Sin embargo, para garantizar la efectividad de estos indicadores se requiere satisfacer las necesidades nutricionales de la cerda durante la lactancia (Kim, 2013); puesto que, en esta fase, el desgaste fisiológico provocado por la producción de leche en las cerdas es mayor (Ortiz *et al.*, 2017). Además, en las cerdas y en otros mamíferos, inmediatamente después del parto se deprime el consumo voluntario de alimento (Ordaz *et al.*, 2017) debido a adecuaciones de los procesos metabólicos durante el peri-parto (Barrera, 2017; Martínez, *et al.*, 2014; Kim, 2013).

La disminución del consumo voluntario en cerdas recién paridas se presenta, principalmente, durante la primera y segunda semana postparto como consecuencia a los altos niveles de glucosa sanguínea (necesarios para el crecimiento de los fetos y la preparación de la ubre para la producción de leche) y a la resistencia a insulina (Bueno y Sarniento, 2013; Pérez *et al.*, 2015). La resistencia a la insulina es un trastorno metabólico que involucra decremento en la sensibilidad de la célula hacia la insulina y predispone la presentación de la hiperglicemia y dislipidemia (Unger *et al.*, 2014). En cerdas, la resistencia a la insulina está asociado con adaptaciones metabólicas durante la transición de la

gestación tardía y la fase de lactancia (Pérez y Etienne, 2007). Dichas adaptaciones se reflejan en un déficit en el consumo de alimento voluntario de las cerdas durante la lactancia; el cual propicia, alteraciones reproductivas que derivan del desbalance energético que presentan estas hembras en fase de lactación debido principalmente al efecto de la resistencia a la insulina sobre el estado metabólico de la cerda durante la lactancia (remoción de reservas corporales) lo cual se refleja reproductivamente inmediatamente después del destete (Mosnier *et al.*, 2010).

Cools *et al.* (2013), Pérez *et al.* (2015) y Ordaz *et al.* (2018) establecieron que, la hipofagia lactacional promueve la remoción de reservas (grasa) corporales de la cerda, aspecto que se refleja en la pérdida de peso corporal durante la fase de lactancia como consecuencia del déficit energético por una menor ingesta de alimento. En este sentido, una menor condición corporal de la cerda (< 3 puntos, en escala de 1 a 5) al término de la fase de la lactancia se relaciona con el decremento de la fertilidad y prolificidad en el siguiente parto (Ordaz *et al.*, 2017) y ello, representa un impacto en las metas de productividad del sistema y en los costos de producción (Murillo *et al.*, 2013).

Actualmente los investigadores trabajan sobre cómo mitigar la hipofagia fisiológica lactacional y para ello, analizan estrategias nutricionales para incrementar el consumo de alimento (Lovise *et al.*, 2013). Sin embargo, la mayoría de estas estrategias han fracasado; por ser económicamente inviables o por el hecho de no resolver el origen del problema (Ortiz *et al.* (2017): incremento de los niveles de glucosa sanguínea y resistencia a la insulina durante el peri parto y postparto

(Bueno y Sarniento, 2013; Pérez *et al.*, 2015). Actualmente, Ordaz *et al.* (2013 y 2018), Pérez *et al.*, 2015 y Ortiz *et al.* (2017) evaluaron una estrategia nutricional no convencional para mitigar los efectos de la hipofagia fisiológica lactacional: incrementar el consumo voluntario de alimento de las cerdas postparto a través de la adición de nopal (*O. ficus-indica*) a la dieta de las cerdas en fase de lactación, con resultados positivos.

El nopal, como otras cactáceas, posee propiedades hipoglucémicas e hipocolesterolemicas (Shane, 2009). Se sugiere que dicho efecto se debe a la inhibición de la α -glucosidasa y, en consecuencia, la disminución de la absorción de carbohidratos en el ribete del cepillo del intestino (Ordaz *et al.*, 2017; Hwang *et al.*, 2018). Además, la fibra dietética, presente en el nopal, mejora la respuesta a la sensibilidad a la insulina al inhibirse la α -glucosidasa y al disminuir los niveles sanguíneos de glucosa, NEFAS y colesterol (Halmi *et al.*, 2013) y, este último, es un precursor para la síntesis de leptina: hormona que participa en la reducción del consumo voluntario de alimento (Pérez *et al.*, 2008).

Serena *et al.* (2007) sugieren que, la adición de fibra en la dieta de las cerdas gestantes favorece la salud gástrica e incrementa el consumo de alimento durante la lactancia. Ello debido al efecto benéfico de la fibra sobre el perfil metabólico (Meunier *et al.*, 2001). Puesto que, el consumo de fibra favorece mayor síntesis de ácidos grasos volátiles debido a la fermentación de la fibra soluble por parte de la microbiota intestinal (Serena *et al.*, 2007). Se tienen evidencia que los ácidos grasos volátiles pueden incidir en el aporte energético de las cerdas, propiciando menor catabolismo durante la lactancia (Berruezo *et al.*, 2011), por

ello, la implementación de dietas fibrosas durante la transición de la gestación y la fase de lactancia aminoraría los efectos de la resistencia a la insulina que se presenta en dicho periodo, lo cual, se reflejará en: i) mayor consumo de alimento de las cerdas durante la lactancia, ii) restablecimiento balance energético y iii) incremento del rendimiento reproductivo de las cerdas post-destete (Pére *et al.*, 2008).

Ordaz *et al.* (2013 y 2018) y Ortiz *et al.* (2014 y 2017) al adicionar nopal (1% con respecto al peso de la cerda) a la dieta para cerdas lactantes determinaron que: los niveles de glucosa sanguínea disminuyen (55.0 y 64.4 mg dL⁻¹ pre y post-prandial), se incrementa el consumo de alimento hasta en un 28% cerda⁻¹ y, la pérdida de peso corporal de estas, durante la fase de lactancia, es ≤10%. Todo ello, sin afectar la producción, calidad (proteína, grasa, lactosa) de la leche y el desarrollo del lechón durante la lactancia. Sin embargo, aún no se ha establecido cuál es la adición optima de nopal a la dieta de las cerdas en fase de lactación. Por ello, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la adición de tres niveles (1.0, 1.5 y 2.0%) de nopal (*O. ficus-indica*) a la dieta para cerdas en fase de lactación, sobre el consumo de alimento y su relación con los metabolitos energéticos: glucosa sanguínea, colesterol total y triglicéridos.

2. Antecedentes

2.1 Producción porcina a nivel mundial

La producción de carne de cerdo, a nivel mundial, ha crecido sustancialmente (1.8%); crecimiento que generó una producción de 1,131 millones de toneladas de este tipo de carne en el 2018 (FAO, 2018). China, la Unión Europea y EUA son los países que aportan la mayor producción (79.9%) a nivel mundial (Cuevas, 2018); países que participan con el mayor incremento de la producción porcina: la Unión Europea con el 21.6%, China con 3.7% y EUA con 3.8%. Aunque también, Brasil se ha posicionado con 3.1% de la oferta mundial (FIRA, 2017). Mientras que México, se encuentra en el noveno lugar en producción de carne de cerdo a nivel global, con 1.4 millones de toneladas (Godina, 2016). No obstante, estos países, a excepción de la Unión Europea, no son capaces de satisfacer la demanda de sus consumidores, lo cual los obliga a importar carne de cerdo (FIRA, 2017).

Se prevé que en el 2018 las exportaciones de carne de cerdo en México crecerán a una tasa de 8.1%. En otras palabras, las exportaciones pasarán de 48.2 miles de toneladas de carne de cerdo a 52.1 miles de toneladas. Al respecto, paradójicamente, Japón es el principal importador de carne de cerdo mexicano a pesar de que, México no satisface su propia demanda (GENESUS, 2018). Por lo que, para satisfacer las demandas de los diferentes países, los objetivos del sector porcícola internacional se ha centrado en los sistemas intensivos, pues estos, son más eficientes en cada uno de los procesos parciales de producción=(Aherne, 2001; Martínez *et al.*, 2014; Woo Kim, 2013)

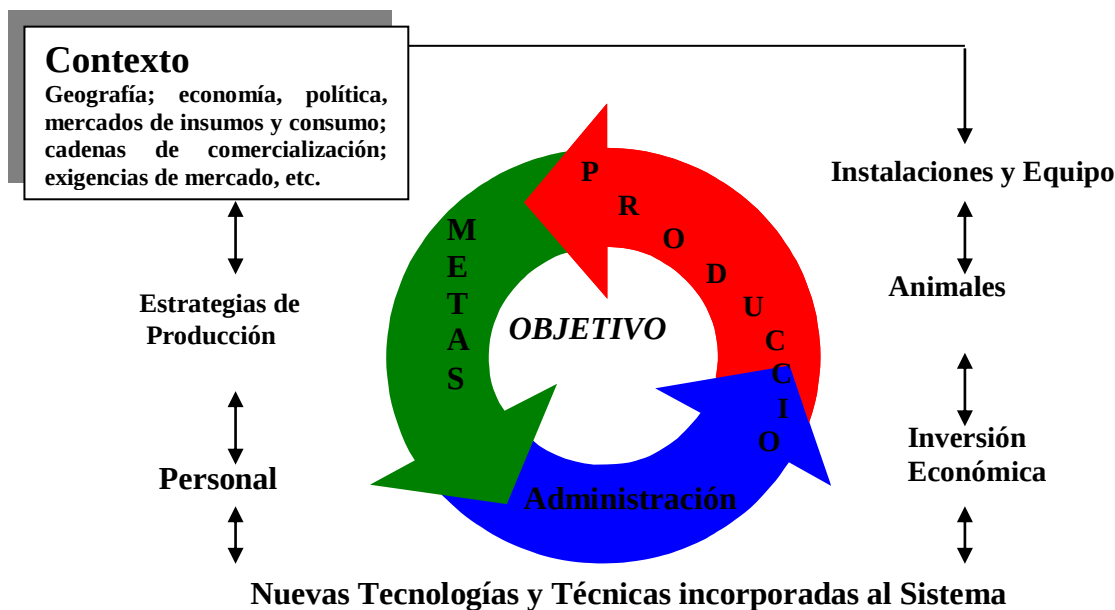
2.2 Consideraciones preliminares sobre el concepto de sistema.

Para establecer y concebir un sistema de producción porcina es necesario partir primeramente de la definición de sistema: el concepto clásico de sistema, refiere a todas aquellas estructuras que están conformadas por dos o más elementos en compleja organización y que interaccionan entre sí para obtener un resultado definido; sea éste cualitativo o cuantitativo (Bertalanffy, 1973). Para Cárdenas (1984), los sistemas se dividen en dos grupos: cerrados o abiertos.

Los sistemas abiertos son aquellos que están dominados por elementos externos al mismo sistema y que afectan, directa o indirectamente sus resultados (Cárdenas, 1984). De acuerdo con esta definición los sistemas de producción animal, de forma general, están catalogados como sistemas abiertos; sin embargo y de acuerdo a los propósitos de las diferentes disciplinas científicas que coadyuvan en la producción de los cerdos, también podrían ser catalogados como sistemas cerrados. Así, para los programas de mejoramiento genético se puede establecer que el sistema se cierre o permanezca cerrado a material genético extraño a la población mejorada o a mejorar o viceversa. Del mismo modo, para aspectos de bioseguridad, un sistema se convierte en un sistema cerrado como una alternativa de control de enfermedades. Aspectos estos que concuerdan con la moderna definición de sistemas establecida por Luhmann (1990): “Todo sistema posee la cualidad de abrirse o cerrarse”.

Los sistemas de producción porcina presentan por sí solos una gran *complejidad*; de tal forma que no es posible plantear relaciones y correspondencias de forma lineal entre elementos del sistema. Además, este tipo de sistemas son *autopoiéticos*, en tanto estos puedan crear su propia estructura y los elementos de que se compone. Por tal motivo, los sistemas de producción porcina son *autorreferentes*, aspecto éste que les otorga la categoría de sistemas cerrados, pero con un atributo: se abren, es decir, poseen la cualidad de ser sistemas cerrados o abiertos de acuerdo a las diferentes situaciones que los ponga en riesgo: enfermedades, exigencias del mercado, economía y políticas del sector pecuario del país e incluso de la influencia de otro(s) país. La siguiente figura podría unir y ejemplificar los postulados de Bertalanffy (1973), Cárdenas (1984) y Luhmann (1990).

Figura 1. Esquema generalizado de un Sistema de Producción Porcina (SPP)



Fuente: Ortiz y Ortega (2001).

En síntesis, el concepto de sistema se refiere a todas aquellas estructuras que están conformadas por dos o más elementos en compleja organización y que interactúan entre sí para obtener un resultado definido. Además, un sistema no es afectado directamente por la magnitud de sus propios productos y tiene una delimitación específica que considera a todos los mecanismos de retroalimentación participantes (Spedding, 1988; Ortiz y Ortega, 2001).

En sentido abstracto, los sistemas de producción porcina están compuestos por tres componentes: el hombre, el animal y la tecnología (Van, 1998). Bajo este enfoque, los sistemas de producción porcina no son capaces de tener vida propia, autorregulada e independiente del hombre, por ello y de forma general se pueden encontrar los siguientes estados en los sistemas: I) sistema de producción *ideal*: el

hombre manipula y controla las diferentes procesos de producción animal; II) sistema de producción *ordinario*; el sistema se le impone al hombre, independientemente de todos los deseos de éste para manipularlo o trasformarlo y, III) sistema de producción en *paralelo*; el sistema se presenta de forma indiferenciada: hombre y sistema de producción llevan existencias paralelas pero de forma simbiótica (Lushmann, 1990). De la misma manera, la clasificación de los sistemas de producción porcina: *sistema de traspatio* o *familiar*, *sistema semi-intensivo* o *sistema intensivo* están determinados no por el entorno del sistema, sino por las fuerzas intrínsecas de los «*motivos*»¹ del hombre (Lushmann, 1998). Así, la principal característica de todo sistema de producción porcina, independientemente del grado de tecnificación con el que cuente, es su *objetivo*: la generación de capital económico (utilidades) a través de la inversión económica en las diferentes etapas de producción (Kato, 1996). Por lo tanto, el cerdo es el medio para lograr dicho objetivo y esto se manifiesta en mayor grado en los sistemas semi-intensivos e intensivos de producción porcina. En consecuencia, si no se toman en cuenta estas consideraciones no se podrá hablar de manejo integral en la producción porcina o de un estado *ideal* del sistema.

2.3 Manejo integral de las explotaciones porcinas: *Hombre-animal-tecnología*.

Para fines de comprender la complejidad del concepto integración y ligar este con las diferentes prácticas zootécnicas (manejo) inherentes a la producción de cerdos, es necesario simplificarlo bajo lo que el autor de este documento denomina: La

¹ De forma general los motivos, en la producción animal, es de orden económico y no como se a querido precisar “sentimentalmente” como una fuente de empleo (Ortiz y Ortega, 2001). Para el sistema familiar los motivos pueden ser la obtención de carne a través de poca inversión de capital y tiempo en la actividad porcina rural.

triada en el manejo de las explotaciones porcinas: hombre-animal-tecnología (Van Gigch, 1998).

Empezar con el animal o la tecnología es un claro ejemplo de desintegración en la producción porcina, por contradictorio que parezca. Pues son los motivos del hombre los que originan el sistema de producción. Así mismo, los motivos y el grado de conocimiento sobre la biología del cerdo son los responsables de la cantidad y calidad de las tecnologías presentes para procurar un ecosistema artificial donde nacen, crecen, se desarrollan y reproducen los cerdos. Finalmente, los animales son confinados e independientemente del grado de confinamiento estos dependerán del hombre en la satisfacción de sus necesidades fisiológicas. Por lo tanto, a mayor cobertura de las necesidades fisiológicas de los cerdos, mayor será la producción de los mismos. Pero para ello, se requiere como condición previa el conocimiento de la biología de los cerdos, no la presencia física de los mismos en el sistema (Ortiz *et al.*, 2015).

Con respecto al párrafo anterior, en la mayoría de las investigaciones de los sistemas de producción porcina no se cuantifica la acción directa del personal en los resultados de su productividad (Ortiz y Ortega, 2001; Díaz y Ortiz, 2003; Flores 2005). Sin embargo, uno de los mayores problemas en estos sistemas es sin duda el hombre, puesto que el sistema biológico del cerdo se ve frecuentemente alterado por esquemas de producción inadecuados o ejecutados con deficiencias de origen. Así, la no integración entre las acciones del personal y el cerdo, crean por lo general un fracaso en el logro de objetivos y metas de todo sistema de producción porcina (Coleman *et al.*, 2000). La explicación más frecuente a este fracaso es atribuida a

problemas del sistema biológico (cerdos) o a las enfermedades infecciosas; explicación *ad hoc*, bajo el supuesto de la eficiencia del personal (Ortiz y Ortega, 2001).

Con respecto a la tecnología, erróneamente se ha creído que esta por si sola resuelve los problemas (Caetano y Mendoza 1994) de la desintegración en los procesos parciales de producción del cerdo. Puesto que para Bello (2000), la incorporación de tecnologías al sistema no es sinónimo de eficiencia productiva, es decir, de un manejo integral; pues es necesario el dominio de los aspectos biológicos en cada uno de los procesos parciales de producción y éste deberá ser mayor a medida que se adquieran tecnologías más sofisticadas.

Es necesario establecer, que es un hecho insoslayable que los actuales sistemas de producción porcina son el resultado de la tecnología acondiciona a través del tiempo, cuya finalidad principal es: procesos parciales de producción eficientes, dinámicos y homogéneos (Kato y Bello, 2002). Además, la tecnología es un aspecto relevante, puesto que provoca una consolidación de las empresas más eficientes y elimina a las explotaciones porcinas en donde la integración hombre-animal-tecnología es deficiente; depuración que está asociada, en gran medida, al progreso tecnológico (García *et al.*, 2004).

Las principales tecnologías que permiten la integración con los dos elementos restantes de la triada son: registros de los eventos biológicos en formato de papel o en programas computarizados, líneas genéticas especializadas, inseminación artificial (IA), esquemas rigurosos de alimentación, programas sanitarios y de

conservación del ambiente; auxiliándose en construcciones y equipo moderno altamente eficientes (Baxter *et al.*, 1980).

En lo que respecta al animal, en los sistemas de producción porcina su biología caracteriza los procesos de producción; lo cuales están bien delimitados. Esta delimitación tiene como objetivo: la producción en cadena; de tal manera que todas las semanas se puedan servir y parir un mismo número de hembras para lograr entregar cada semana un número determinado de cerdos al mercado. Pero para lograrlo se requiere de controlar y programar cada una de las fases de producción; así, la integración administrada de cada una las fases que componen la producción porcina se centra en la manipulación de las funciones biológicas del cerdo por medios artificiales, es decir, con el uso de técnicas y tecnologías (Pérez, 2000). Por lo anteriormente escrito, se puede establecer que la base de un manejo integral de las explotaciones porcinas gira en torno al control y manipulación de los eventos biológicos que caracterizan cada una de las etapas productivas de los cerdos; esto con la finalidad de mantener un flujo de producción estable (Kato, 1995).

En conclusión, dentro de la triada del manejo integral de las explotaciones porcinas, el cerdo debe ser controlado y manipulado a través de los conocimientos que tiene el hombre sobre la biología de esta especie; apoyándose en el uso de la tecnología.

2.4 Procesos parciales de producción porcina.

Los sistemas de producción porcina se han caracterizado de distinta manera, por un lado, está el enfoque de sistemas que se asocia con la descripción del proceso de transformación de los insumos consumidos (Whittemore, 1979) y por el otro, está lo

que plantean Singh (1986), quien define a los sistemas de producción porcina a partir de modelos homomórficos con el ciclo de vida del cerdo. Cada animal está individualmente representado en el modelo de acuerdo con el estado fisiológico o de crecimiento durante su vida en el sistema de producción. Las diferentes etapas o estados fisiológicos por las cuales pasan los cerdos son: servicio, gestación, parto, lactancia, crecimiento, engorda y finalización. Cada etapa de producción se define en términos productivos por las características de los insumos utilizados y, en términos biológicos sobre la base de manipular la adaptación de los animales, logrando el control de los eventos biológicos a través de la tecnología, en función de sus características genéticas y las variables fisiológicas que manifiestan según la etapa de desarrollo en la que se encuentren (Kato, 1995).

Uno de los atributos que debe de tener el comportamiento de todo sistema, es su estabilidad en la consistencia de la producción bajo condiciones ambientales, económicas y prácticas de manejo (Venegas y Siau, 1999). Se entiende como estabilidad, la capacidad para retornar a un estado de equilibrio o el mantener el potencial productivo después de que el sistema haya sufrido variaciones graves, a pesar de ser un sistema con un estado en equilibrio dinámico, ya que los procesos biológicos característicos de los sistemas de producción animal, pueden ser manipulados, pero no controlados en su totalidad (Astier y Masera, 1997; Santos, 1999).

Soros (1999), considera que, al existir una interacción entre el medio y los sistemas de producción, hace que haya fuerzas externas que ocasionan trastornos, lo que determina que los sistemas sean intrínsecamente inestables. Sin embargo, esto no

indica que el sistema no sea susceptible de una infinita mejoría. Además, Soros (1999) ha indicado que una de las formas de evitar la inestabilidad del sistema, es a través de reconocer las deficiencias y corregirlas a tiempo, contemplado la siguiente cuestión ¿cómo surgieron estas diferencias y como podrían corregirse? Así, una de las formas para evaluar las causas de variación es a través del análisis de procesos, también llamado análisis de proceso de flujo, es decir, es el estudio sistemático de las actividades y flujos de proceso dentro del sistema, de tal forma que, tanto los procesos individuales como colectivos prueban todo el proceso involucrado en la producción de un producto (Duangkaew *et al.*, 1998).

Dial (1996) plantea que dentro de los sistemas de producción existen dos fuentes de variación: la variación común y la variación de causas especiales. La variación del sistema, frecuentemente referida a causas de variación común, se deriva del uso de la tecnología del sistema de producción, como parte inherente del mismo. Estas fuentes de variación pueden ser, por ejemplo, los programas genéticos, de salud y de alimentación, el equipo y las instalaciones utilizadas en las operaciones. La variación de causas especiales, se relacionan con causas operacionales, las cuales son sucesos transitorios, que están bajo el control de los operarios del sistema, tales como: las prácticas de alimentación, inadecuado mantenimiento del equipo o su uso incorrecto, aplicación incorrecta de antibióticos, vacunas o programas farmacológicos, inadecuada supervisión de servicios, entre otros. La mayoría de los procesos productivos en el sistema son afectados por ambas variaciones en menor o mayor grado.

Santos (1999), señala que un sistema que muestra una variabilidad tan grande como el sistema en el presente trabajo, es un sistema cuyo manejo integral es ineficiente, ya que se tiene una mayor desventaja, en cuanto a los costos de producción y la mano de obra, entre otros. Por su parte Dial (1996) plantea que la variación en los sistemas de producción porcina, reducen la producción, su eficiencia y la calidad del cerdo producido.

Conceptualizando a la producción del cerdo como un sistema biológico con variaciones inherentes, una de las formas para lograr su estabilización, es a través de la adopción de muchas de las herramientas y procesos desarrollados por la industria manufacturera moderna, los cuales ya están siendo aplicados en la industria porcina (Dial, 1996). Algunos de estos procesos son: la sistematización, que permite incrementar la comprensión y la habilidad para controlar los procesos de producción biológica; la especialización, las actividades de los trabajadores se vuelven más especializadas, por la rutinación; y la calendarización, que permite el control de los procesos del flujo de producción, al predecir y controlar los procesos, se precisa un mayor control en el uso de las instalaciones (Boehlje y Hurt, 1996). La implementación de estos procesos dentro de la producción porcina, promete una dramática reducción en los costos, un incremento en la producción y una mejor calidad. Así, la función de los sistemas porcinos, está determinada por la capacidad y la eficiencia del sistema (Dial, 1996).

El factor más importante en la capacidad de los sistemas, es la eficiencia de la producción, dominada por la eficiencia terminal, la cual está en función de: el inventario de hembras y el número de hembras destetadas/grupo; siendo estos dos

factores los que tienen una mayor influencia sobre el número de lechones destetados/hembra/año. Así, el número de cerdas servidas/grupo es más importante que la tasa de partos para cubrir la capacidad completa de todos los procesos parciales de producción. Sin embargo, es difícil mantener el número de cerdas servidas/grupo, ya que depende de la cantidad de cerdas destetadas, los servicios repetidos y el desecho postdestete. No obstante, el número de cerdas de reemplazo servidas/grupo, es más importante en la influencia de la continuidad de los procesos de producción, que el número de cerdas servidas/grupo (Dial, 1996; Valencia, 1999).

Actualmente, los sistemas de producción porcina, tienen que ser eficientes en sus procesos productivos. Los sistemas eficientes se caracterizan por procesos relativamente estables. Esta estabilidad va a depender de un conjunto de características, tales como: producción en cadena, procesos de administración de recursos humanos y materiales, confinamiento total, animales de alto rendimiento, alimentación balanceada de acuerdo a la etapa productiva, programas de alta salud y su integración a cadenas agroindustriales nacionales e internacionales (Dial *et al.*, 1992).

Así, la producción en cadena es un proceso global de producción, el cual se divide en etapas o fases y en donde cada etapa previa interacciona con las siguiente; ello con el propósito de mantener una producción constante. Este concepto a nivel de las empresas porcinas significa que semanalmente se puedan servir un grupo de hembras reproductoras, el cual se mantiene en el parto y son la base para la formación de grupos uniformes al destete, la engorda y finalización de los animales.

De ésta manera, se logrará entregar cada semana un número determinado de cerdos al mercado de acuerdo con la capacidad instalada de la explotación.

En cuanto a la administración de cada una de las fases que componen el proceso de producción porcina se lleva a cabo mediante la manipulación de las funciones biológicas del cerdo por medios artificiales, es decir, con el uso de técnicas y tecnologías (Pérez, 2000). En una empresa los procesos productivos están sujetos a sistemas de administración científica. Esto significa que deben estar presentes los siguientes elementos: planeación, ejecución, control y evaluación. Estos elementos permiten utilizar de manera racional y eficiente los recursos de las empresas porcinas (Trujillo, 1998).

En lo referente al alojamiento y el uso intensivo del espacio, Baxter y Roberson (1980) y Cronin (1996), señalan que la satisfacción de los requerimientos ambientales para la cría de cerdo es generalmente difícil de llevar a cabo por el número de variables que tienen que controlarse, por la capacidad económica de las empresas y por su ubicación geográfica. En la práctica se prefieren instalaciones de tipo funcional, que permiten fluctuaciones (en las condiciones ambientales) a niveles aceptables de productividad, lo que conlleva a una reducción en la mano de obra por animal, equipo con tecnología reciente, así como de técnicas para alcanzar altas tasas de producción y estandarización en el producto final.

Por otra parte, los sistemas de producción porcina deben de poseer animales de alto valor genético sujetos a esquemas de mejoramiento genético, cuyo objetivo es brindarle a cada proceso de producción la seguridad de una alta calidad y homogeneidad del producto en cada proceso parcial y, en su conjunto; lo que

contribuye a la eficiencia económica al disminuir los costos de producción y obtener mejores precios en el mercado (Esminger, 1980; Wilson *et al.*, 1991; Cronin, 1996).

Por otra parte, el confinamiento y la explotación de grandes poblaciones animales exigen establecer programas de prevención de enfermedades, denominados sistemas de salud. Lo que requirió del conocimiento de las interacciones ecológicas que se derivan de la relación huésped-hospedador-ambiente, para así poder establecer los métodos más adecuados de la profilaxis y saneamiento ambiental. Sin embargo, estos aspectos no serán suficientes para garantizar un buen control de enfermedades si no se complementan otros factores como son: dietas balanceadas, instalaciones, equipo necesario, prácticas zootécnicas y los sistemas de bioseguridad. Ya que muchos problemas se derivan de desajustes en estas partes del sistema como por ejemplo el frío, la sobrepoblación, entra otras variables más (Trujillo, 1998).

Otra de las características de sistemas de producción porcina manejados integralmente es su vinculación a cadenas comerciales, a tal grado que incluso hoy se puede hablar de sistemas agroindustriales; con lo cual estos sistemas se pueden expandir; integrándose los subsistemas de la industria farmacéutica, la industria de alimentos balanceados, la industria procesadora de la carne de cerdo (Kato, 1995). De esta manera se elimina la intermediación comercial que genera el aumento en el precio de los insumos y se minimizan los costos de producción y los precios al consumidor.

Para determinar la eficiencia del manejo integral de los sistemas de producción porcina se requiere medir cada etapa del proceso de producción. Así, por ejemplo,

en la fase de servicio y gestación se mide la capacidad de la cerda para mostrar estro y ser apareada mediante inseminación artificial o monta natural. En ésta fase, el control efectivo del estro y la cubrición constituye el punto central para la producción y venta por grupos de cerdos en períodos preestablecidos. Lo anterior facilita la programación de espacios, el consumo de alimentos y optimiza la fuerza de trabajo, lo que se refleja en el uso óptimo de los bienes de capital (English et al., 1992; Dial y Polson, 1996). Es por ello, que las variables para ésta etapa parcial de producción, generalmente se realiza a través de lo que se denomina intervalo destete servicio (IDS), el cual es igual o menor a siete días. Esta primera medición, establece la homogeneidad reproductiva de las hembras destetadas (Dial y Almond, 1998). Una medida que se asocia con el IDS, es el porcentaje de retornos a estro (PRE), que en realidad estima la actuación por grupo. Para los sistemas, el PRE antes de los siete días debe ser del $85 \pm 10\%$ (Leman, 1992).

En la misma fase de servicio y gestación también se estima la tasa de concepción, la cual se mide a partir de los 21 días post-servicio. Dicha medida debe ser $\geq 85\%$ para proporcionarle carácter de estabilidad, por lo que la mínima variabilidad se encuentra como máximo en un 15% (Dial et al., 1992; Leman, 1992). Sin embargo, también está la participación de los recursos humanos, ambientales, genéticos y tecnológicos en el proceso reproductivo, puesto que la mínima variabilidad se determina por el control del ambiente, la sincronización y detección de estro que permite la sincronización entre la IA y la ovulación; lo que consecuentemente se manifiesta en una alta tasa de concepción y un mínimo porcentaje de servicios repetidos (Hunter, 1982; Gordon, 1989; Tubbs, 1992; Britt, 1996).

Tanto en el servicio como en la gestación se mide el efecto ambiental a través de la ausencia o presencia de patógenos que impide la presentación del estro postdestete o que originan fallas para mantener la preñez, también se mide la actuación de las técnicas nutricionales; puesto que planos nutricionales por debajo de los requerimientos, se reflejará en una reducida fertilidad (Armstrong, *et al.*, 1986; Clowes *et al.*, 1994; Britt, 1996).

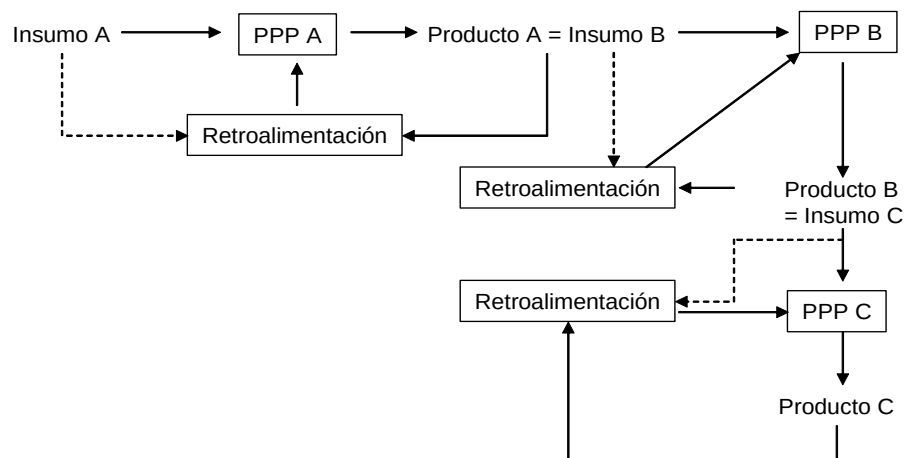
Las variables para la línea de producción (destete-finalización) que se han utilizado como parámetros son: días para alcanzar el peso deseado al mercado; peso de entrada (destete) y salida (cerdo finalizado), conversión alimenticia y ganancia de peso. Estas variables pueden ser afectadas por la nutrición, la calidad genética de los animales, el costo de los ingredientes y el mercado final a satisfacer. En este sentido, la nutrición es un proceso técnico que se subordina a la maximización de los rendimientos, minimización de los costos por cerdo vendido, minimización de costos por ganancia de peso diaria. En el entendido que la nutrición equivale a un 70% de los costos en la línea de producción (Kato, 1995). Lo anterior, implica medir el consumo diario de alimento, la ganancia diaria, conversión alimenticia, espesor de la grasa dorsal, días en la fase de crecimiento y engorda y porcentaje de mortalidad (Kato y Bello, 2002).

Además, es importante señalar que estos procesos parciales no deben operarse aisladamente, sino, de manera ordenada, continua y eficiente, con lo que facilitan la fluidez del sistema (Dial *et al.*, 1992). Cárdenas (1984) indica que si cada una de las fases se opera sin tener en cuenta al proceso parcial de producción (PPP)

subsiguiente, lo más probable es que el sistema presente una menor capacidad de producción y no se logré el objetivo presupuestado (Figura 2).

Figura

2.



Sistema Compuesto de Tres Subsistemas

Fuente: Modificado de Velásquez *et al* (1975)

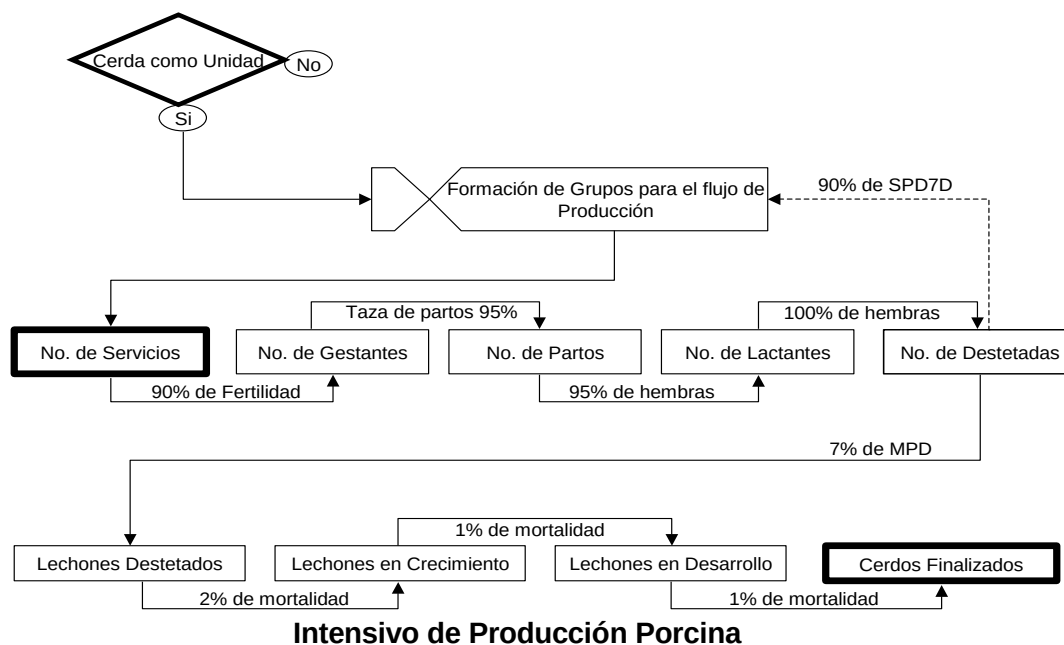
Wilson *et al.* (1991) y Steck (1998) plantean que se debe hacer un uso eficiente de los materiales utilizados en cada proceso parcial de producción, tal como: prácticas nutricionales, reproductivas, de bioseguridad, insumos y el recurso financiero.

La eficiencia de los procesos parciales de producción puede ser determinada a través de la estimación de indicadores, lo que permitirá un mayor control sobre los eventos biológicos. Esto es necesario para medir el potencial biológico del cerdo en las explotaciones intensivas, (English *et al.*, 1992; Dial y Polson, 1996). Estos parámetros contienen a *grosso modo* la acción del personal, el ambiente y las tecnologías utilizadas en la crianza de los animales.

El conocimiento de cada evento biológico es esencial para establecer las metas específicas del sistema, las cuales son: 1) sobrevivencia económica a largo plazo y 2) la maximización de la rentabilidad a corto plazo (Wadsworth, 1997). Para lograr esto es necesario tener como objetivo primordial: producir cerdos finalizados con un mínimo de trabajo y el control biológico de los procesos (Kato, 1995).

Los objetivos y metas deben partir del propósito por el cual fue creado. En el caso de los sistemas de producción porcina es necesario establecer objetivos y metas en cada proceso parcial de producción; como, por ejemplo, en la fase de servicio donde el objetivo es detectar estros de manera eficiente, la meta es obtener el 95% de fertilidad (English, *et al.*, 1992; Campos, 1995). En la fase de maternidad el objetivo es incrementar la tasa de partos (>85%), el número de lechones nacidos vivos (12 LNV) y disminuir la mortalidad pre-destete (<10%). En las fases de destete-engorda y finalización el objetivo es disminuir la mortalidad y la meta es 2% (Figura 3). Lo anterior permitirá la venta de grupos homogéneos de cerdos en periodos preestablecidos, lo que contribuye a la eficiencia productiva y económica del sistema (Trujillo, 1998; Cronin, 1996).

Figura 3. Fundamentos para el establecimiento de Objetivos y Metas del Sistema



Fuente: Flores, 1995

Para producir la cantidad presupuestada de cerdos finalizados, se requiere alcanzar los objetivos y metas de cada PPP esto debido a que, si en alguno de los PPP no se alcanzan los objetivos y metas, el efecto es la pérdida de la continuidad del PPP siguiente, lo que origina la inestabilidad del sistema (Dial y Almond, 1998; Brown, 1998; Venegas y Siau, 1999).

En síntesis, que un sistema funcione con eficacia y cumpla los objetivos biológicos, económicos o sociales para el que fue creado, es necesario que cada una de sus etapas o procesos parciales de producción se articulen e interactúen ya que el funcionamiento y propiedad de un proceso parcial de producción afecta al siguiente y a todo el sistema en su conjunto.

Como se puede establecer, el manejo integral de las explotaciones porcinas tiene como finalidad poseer una mínima variabilidad en su productividad a través de: la toma de decisiones basadas en el conocimiento biológico de cada etapa fisiológica, control y manipulación de cada proceso biológico e integración de los procesos parciales de producción mediante innovaciones tecnológicas (Cunha, 1980; Dial, 1992; Sagarnaga *et al.*, 1999; García *et al.*, 2004).

El inicio de un manejo integral, desde la óptica del autor de este documento, es el conocimiento del ciclo reproductivo y productivo de los cerdos, puesto que esta es la base para el diseño del flujo de producción, así como la base para la contrastación entre lo planeado y los resultados obtenidos. Aspecto que determinara si las decisiones tomadas fueron las correctas o de lo contrario establecer nuevas estrategias que permitan rectificar el rumbo de la producción hacia la rentabilidad de los sistemas de producción porcina.

2.5 Limitantes productivas de las cerdas en los sistemas de producción porcina

Entre los procesos parciales de producción de mayor importancia se encuentran: el servicio y gestación y parto y lactancia, donde la productividad de la cerda se ve reflejado en el número de lechones nacidos vivos y destetados/cerda/año; indicadores que indican la eficiencia y rentabilidad del sistema (Barrera, 2017; Pérez *et al.*, 2015; INTA, 2010).

Para garantizar el mayor número de lechones nacidos vivos y destetados/cerda/año, los sistemas producción porcina actuales han priorizado

satisfacer las necesidades nutricionales de la cerda durante sus diferentes etapas productivas (Woo Kim, 2013). Aspecto que está estrechamente relacionado con la capacidad y eficiencia de la producción de leche (tanto en cantidad como en calidad) y menor desgaste fisiológico de la cerda al finalizar la lactancia (Quiles y Hevia, 2003; Estévez, 2016). Aspectos que, garantizaran la vida productiva de la cerda y la rentabilidad del sistema. No obstante, se ha observado que independientemente que las cerdas reciban los nutrientes (cantidad y calidad) requeridos durante la lactancia, se presenta desgaste fisiológico al término de la lactancia, el cual se refleja en intervalo destete-estro prolongado, incremento en servicios repetidos y días no productivos y menor productividad en el parto subsiguiente (Rigón *et al.*, 2008; Barrera, 2017; Martínez, *et al.*, 2014; Woo Kim, 2013). Aspecto que se exacerba en hembras provenientes de líneas genéticas seleccionadas para prolificidad y magrez de la canal (Quesnel *et al.*, 2009; Murillo *et al.*, 2013). Ello asociado a la hipofagia fisiológica lactacional, proceso metabólico por el que transita la cerda durante el parto y la lactancia; el cual, disminuye el consumo voluntario de alimento en dicha fase (Ortiz *et al.*, 2017).

2.6 Hipofagia fisiológica lactacional en las cerdas

La hipofagia fisiológica lactacional propicia cambios endocrinológicos durante el parto y la lactancia temprana (Cools *et al.*, 2013; Pérez *et al.*, 2015), mismos que originan incremento de las concentraciones de glucosa, leptina, estrógenos, péptidos opioides, entre otros, mismos que afectan la regulación del apetito de la cerda y, en consecuencia, provocan la disminución del consumo de alimento voluntario de las cerdas durante la primera semana postparto (Peré y Etienne,

2007; Quesnel, *et al.* 2009); fenómeno fisiológico que se desarrolla al presentarse la denominada resistencia a la insulina, lo cual provoca hiperglucemia persistente (Bueno y Sarniento, 2013). No obstante, esta condición (hipofagia lactacional) va desapareciendo conforme avanza la lactación y se normaliza la sensibilidad a la insulina a partir del día 14 de lactación (Martínez *et al.*, 2013).

Otro factor que se asocia con la hipofagia lactacional en cerdas lactantes es el metabolismo de la leptina; dicha hormona incrementa la absorción de glucosa en el músculo esquelético, corazón y tejido adiposo, a través del sistema nervioso simpático y, la anormalidad en la función de la leptina a nivel del hipotálamo (hiperleptinemia por resistencia a la leptina) origina hiperglucemia e hiperinsulinemia (Amitani *et al.*, 2013). En la hiperglucemia, la glucosa se acumula en la sangre, debido a que no puede ser utilizada por el músculo y tejido adiposo (resistencia a la insulina). Consecuentemente se produce un aumento en la hidrólisis del glucógeno muscular; conforme se acaban las reservas de glucógeno comienza el proceso de gluconeogénesis, el cual activa el catabolismo de las proteínas del músculo y la liberación de aminoácidos en la sangre. También el déficit de glucosa en los adipocitos da lugar a la hidrólisis de grasas y la liberación de ácidos grasos hacia la circulación (Reece, 2010).

Por otra parte, además de que la osteocalcina desempeña un papel importante en el proceso de mineralización ósea (García *et al.*, 2013; Musso *et al.*, 2012), promueve, el aumento, secreción y expresión de insulina, y, el aumento de la masa de células beta pancreáticas y la disminución de la expresión y secreción de adiponectina por los adipocitos. Por lo que, los animales que presentan una falta

de osteocalcina muestran una disminución de la sensibilidad a la insulina en músculo, hígado y tejido adiposo; así como, una disminución del gasto energético, lo que sugiere que la osteocalcina también es un regulador del metabolismo energético (Musso *et al.*, 2012)

De acuerdo con los procesos metabólicos previamente descritos, se puede establecer que, estos inciden de manera directa en la productividad de la cerda; puesto que, dichos procesos metabólicos tienen como resultado: la disminución del consumo voluntario de alimento (hipofagia fisiológica lactacional), misma puede impactar negativamente en la producción de leche (Murillo *et al.*, 2013) y generar mayor remoción de reservas corporales de la cerda al destete (Cools *et al.*, 2013; Pérez *et al.*, 2015), menor respuesta en la reactivación ovárica post-destete, decremento en fertilidad y prolificidad subsiguiente al destete (Peré y Etienne, 2007), además, un menor peso de los lechones al destete, y como consecuencia incrementa el tiempo de la etapa destete-finalización (Kim y Wu 2008; Neil y Williams, 2011); impactando no solo las metas de productividad del propio sistema de producción (Murillo *et al.*, 2013) sino que además, provoca que los costos de producción se incrementen.

Actualmente se investiga como mitigar los efectos de la hipofagia lactacional, al respecto se han implementado diversas estrategias que se basan principalmente en: a) en incrementar la energía en la dieta y disminuir el volumen de proteína, b) sustitución del almidón de cereales por almidón de guisantes más la adición de aminoácidos sintéticos (Lovise *et al.*, 2013); c) incremento de lisina (1.10%) y proteína (19.0%) en dietas de cerdas lactantes (Huang *et al.*, 2013). Sin embargo,

dichas estrategias han fracasado, puesto que no logran controlar o manipular los efectos de la hipofagia fisiología lactacional; ya sea, por ser económicamente inviables o por el hecho de que no resuelven el origen del problema: regulación de la glucosa sanguínea postparto (Peré y Etienne, 2007). No obstante, ha surgido una nueva línea de investigación (Ordaz *et al.*, 2013; Ortiz *et al.*, 2017, Ordaz *et al.*, 2018) para mitigar la hipofagia lactacional e incrementar el consumo voluntario de alimento de las cerdas en fase de lactación, a través de la adición de nopal (*O. ficus-indica*) a la dieta de las cerdas en fase de lactación.

Se ha establecido que el nopal posee propiedades hipoglucémicas e hipocolesterolemicas (Shane, 2009), lo que podría reducir los altos niveles de glucosa sanguínea postparto y que dan origen a la hipofagia lactacional (Ortiz *et al.*, 2017). Así, la adición de nopal (1% con respecto al peso corporal de las cerdas) a la dieta de las cerdas lactantes provoca que los niveles de glucosa sanguínea disminuyan (55.0 y 64.4 mg/dL pre y post-prandial) y se incrementa el consumo de alimento voluntario de las cerdas hasta en un 28% y la pérdida de peso corporal, al finalizar la fase de lactancia sea $\leq 10\%$ (Ortiz *et al.*, 2014), sin afectar: la producción y calidad (proteína, grasa, lactosa) de la leche (Ortiz *et al.*, 2017) y el desarrollo del lechón durante la lactancia.

Es un hecho que, la modificación de la dieta de la cerda, en fase de lactación, puede afectar la producción y calidad láctea y, en consecuencia, el desarrollo del lechón (Farmer y Quesnel, 2009; Devillers *et al.*, 2011). Por lo que, es posible que el incremento de la adición de nopal ($\geq 1\%$ con base al peso vivo de la cerda cinco días antes del parto) a la dieta de las cerdas en fase de lactación provoque una

mayor respuesta en el control de la hipofagia lactacional mejorando el consumo de alimento, lo que evitaría una excesiva remoción de grasa corporal, aspecto que se reflejaría en una menor pérdida de peso corporal de la cerda al culminar la fase de lactancia. Por ello, el objetivo de esta investigación será evaluar el efecto de la adición del 1.0%, 1.5% y 2% de nopal en base fresca a la dieta de las cerdas en fase de lactación sobre los niveles plasmáticos de glucosa, sanguínea, triglicéridos y su relación con el consumo voluntario de alimento y pérdida de peso corporal al culminar la fase de lactancia.

3. Planteamiento del Problema

Una producción eficiente de la cerda (partos, lechones nacidos vivos y destetados cerda⁻¹ año⁻¹) en los sistemas de producción porcina determina la rentabilidad del sistema. Sin embargo, durante la lactancia la cerda presenta el mayor desgaste fisiológico provocado por la necesidad de producir leche. Pero, después del parto, las cerdas reducen el consumo voluntario de alimento (CVA): hipofagia fisiológica lactacional (HFL). Aspecto que propicia la remoción de reservas corporales durante la lactancia y ello, a su vez, provoca efectos negativos en la reproducción inmediatamente después del destete: decremento de la fertilidad y prolificidad, cuyo efecto se refleja en las metas de productividad del sistema y en los costos de producción. Una estrategia nutricional no convencional para mitigar los efectos de la HFL e incrementar el CVA de las cerdas postparto es la adición de nopal (*O. ficus-indica*) a la dieta de las cerdas (1% con respecto al peso de la cerda) en fase de lactación, misma que provoca que los niveles de glucosa sanguínea disminuyan (55.0 y 64.4 mg dL⁻¹ pre y post-prandial), se incremente el CVA hasta en un 28% cerda⁻¹ y, la pérdida de peso corporal de estas, durante la fase de lactancia, sea ≤10%. Todo ello, sin afectar la producción, calidad (proteína, grasa, lactosa) de la leche y el desarrollo del lechón durante la lactancia. Sin embargo, aún no se ha establecido cuál es la adición óptima de nopal a la dieta de las cerdas en fase de lactación. Por ello, es necesario evaluar el efecto de la adición de tres niveles (1.0, 1.5 y 2.0%) de nopal (*O. ficus-indica*) a la dieta para cerdas en fase de lactación, sobre el consumo de alimento y su relación con los metabolitos energéticos: glucosa sanguínea, colesterol total y triglicéridos.

4. Hipótesis

La adición optima de nopal (*O. ficus-indica*) a la dieta para cerdas en fase de lactación para controlar y mitigar el efecto de la hipofagia lactacional es de 1.5% con base al peso vivo de la cerda cinco días antes del parto. Puesto que, una mayor ingesta de nopal provoca menor consumo de alimento convencional, debido a que el espacio que ocupa la ingesta del nopal fresco en estomago de la hembra puede provocar sinergia entre la disminución de glucosa-saciedad del apetito y, un menor consumo de alimento convencional, no satisface la demanda de nutrientes que la cerda en lactación necesita para mantenimiento y producción de leche y ello ocasionaría una mayor remoción de grasa corporal durante la lactancia.

5. Objetivos

5.1 Objetivo general

- Evaluar tres niveles (1.0, 1.5 y 2.0%) de adición de nopal (*opuntia ficus-indica*) en base fresca (BF) a la dieta para cerdas en lactación en función con el metabolismo energético y pérdida de peso corporal durante la lactancia

2.2 Objetivos particulares

- Determinar el efecto de adición del 1.0% nopal (*opuntia ficus-indica*) en BF a la dieta para cerdas en lactación sobre glucosa sanguínea, colesterol total, triglicéridos, consumo de alimento voluntario día⁻¹ y pérdida de peso de la cerda durante la fase de lactación.
- Evaluar el efecto de adición del 1.5% nopal (*opuntia ficus-indica*) en BF a la dieta para cerdas en lactación sobre glucosa sanguínea, colesterol total, triglicéridos, consumo de alimento voluntario día⁻¹ y pérdida de peso de la cerda durante la fase de lactación.
- Establecer el efecto de adición del 2.0% nopal (*opuntia ficus-indica*) en BF a la dieta para cerdas en lactación sobre glucosa sanguínea, colesterol total, triglicéridos, consumo de alimento voluntario día⁻¹ y pérdida de peso de la cerda durante la fase de lactación.
- Determinar el nivel óptimo de adición de nopal (*opuntia ficus-indica*) en BF a la dieta para cerdas en lactación para reducir glucosa sanguínea, colesterol total, y triglicéridos que contribuyan con mayor consumo de alimento voluntario día⁻¹ y disminuyan la pérdida de peso de la cerda durante la fase de lactación.

6. Materiales y Métodos

La investigación se llevó a cabo en el Sector Porcino de la Posta Zootécnica perteneciente a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (FMVZ) de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), ubicada en el km 9.5 de la carretera Morelia-Zinapécuaro, municipio de Tarimbaro, Michoacán, situada a 1,860 m snm, a 19° 40' 0" norte y 120° 9' 30" oeste, cuyas características climatológicas son: temperatura media anual de 27°C; aunque se registra temperaturas mínima de 5°C y máxima de 29°C ; precipitación pluvial 609,0 mm; con heladas en diciembre y febrero (INEGI, 2010).

Se utilizaron 16 cerdas (Yorkshire x Landrace x Pietrain) nulíparas próximas al parto, con un peso promedio de 150 kg. Con las cuales se formaran cuatro grupos (G): G1 o control (n=4), cerdas alimentadas *ad libitum*; con una dieta convencional para cerdas lactantes; G2 (n=4), cerdas sometidas a una dieta convencional para hembras lactantes adicionada con de 1.0% de nopal (*O. ficus-indica*) en base fresca (BF); porcentaje establecido con base al peso vivo de la cerda cinco días antes del parto; G3 (n=4) cerdas alimentadas a una dieta convencional para hembras lactantes adicionada con 1.5% de *O. ficus-indica* en BF y; G4 (n=4), cerdas sometidas a una dieta convencional para hembras lactantes adicionada con 2.0% de nopal en BF.

Cada cerda grupo⁻¹ se monitoreo en el área de parto y lactancia (maternidad), el ingreso de las cerdas a dicha área se llevó a cabo cinco días antes de la fecha probable de parto. La capacidad del área de maternidad es para seis hembras, por

lo que al entrar a esta área se seleccionaron al azar a una hembra para cada grupo; práctica que se realizó cada mes (duración de la fase de lactación de 21 días) hasta completar la evaluación de las cuatro cerdas grupo⁻¹. Las 16 hembras evaluadas (cuatro cerdas grupo-1) se sometieron a las mismas prácticas zootécnicas durante la fase de lactancia. La alimentación de estas cerdas antes del parto consistió en 2.5 kg día⁻¹ cerda⁻¹ de alimento convencional para hembras gestantes. Posterior al parto, la alimentación fue de acuerdo con lo establecido para cada grupo. La cantidad total de alimento balanceado por día fue dividida en dos porciones: la primera se proporcionó a las 8:00 am y la segunda, a las 13:00 h.

La adición proporcional de nopal a la dieta de cada grupo se realizó a las 8:00 h desde el día 100 de gestación y hasta terminar los 21 días de lactación. Los cladodios de *O. ficus-indica* fueron recolectados a una edad aproximada de 90 días, La recolección diaria de estos se realizó en la parcela de la Posta Zootécnica de la FMVZ-UMSNH. Antes de suministrar el nopal, este fue picado en trozos de 3x3 cm e Inmediatamente después, se suministrará la cantidad cerda⁻¹ grupo⁻¹ correspondiente, previo retiro del alimento sobrante del día anterior. El alimento sobrante se pesó en una báscula digital Dibatec®; capacidad de 40 kg y precisión de ± 5 g), para así obtener el CVA de la cerda día⁻¹ grupo⁻¹.

Las variables evaluadas (cerda⁻¹) fueron: glucosa sanguínea, colesterol total, triglicéridos, consumo de alimento voluntario día⁻¹ y pérdida de peso de la cerda durante la fase de lactación.

Para la evaluación de los niveles de glucosa sanguínea se utilizó un glucómetro On Call Plus®, el cual requiere de una gota de sangre venosa. Para la obtención de la gota de sangre se puncionó la vena auricular media de cada cerda en los días 100 de gestación y 1^{er}, 3^{er}, 7^{mo} y 14^{vo} día postparto.

Para la determinación de triglicéridos séricos se extrajo sangre venosa de la yugular (10 mL cerda⁻¹) por punción de la misma. La muestra de sangre se recolectó en ayuno (ocho horas) y para ello se utilizó un Vacutainer® con aguja de calibre 16G y con contenido EDTA. Inmediatamente después de obtenida cada muestra se almacenó a 4°C hasta su envío al laboratorio para su análisis.

La pérdida de peso (kg) corporal de la cerda (PPCkg) durante la lactancia, se determinó mediante el peso vivo de las cerdas preparto (día 100 de gestación) menos el peso vivo de la cerda al culminar la fase de lactación (21 días postparto); las cerdas fueron pesadas en una báscula electrónica fija (STG-1500-T1500SL, OCONY®/México) con capacidad de 1-1500 kg.

La información recabada, respecto a glucosa sanguínea y consumo de alimento, se analizó estadísticamente a través de la metodología de mediciones repetidas, utilizando para ello, el modelo de efectos fijos (MIXED). Mientras que la información referente a la pérdida de peso corporal de la cerda al finalizar la fase de lactación se analizó a través de modelos lineales generalizados (GLM). Las diferencias entre grupos se obtuvieron mediante el método de medidas de mínimos cuadrados (SAS, 2000) a un $\alpha=0.05$.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con los resultados se observó efecto de grupo ($P=0.001$), semana y de la interacción grupo*semana ($P = 0.001$) (Tabla 1 y Figura 1). Al respecto del efecto de grupo sobre el CVA, este osciló entre 3.15 y 4.46 kg cerda⁻¹ día⁻¹ en promedio durante los 21 días que duró la fase de lactación. Resultados similares reportaron Ordaz *et al.* (2014), Pérez *et al.* (2015) y Ortiz *et al.* (2017): 4.7 y 5.5 kg cerda⁻¹ día⁻¹, para el grupo testigo y grupo experimental (dieta convencional más 1% de nopal), respectivamente. Promedios estos, superiores a los observados en esta investigación.

Tabla 1. Medias de mínimos cuadrados para el consumo de alimento balanceado*, sin considerar el consumo del nopal, de acuerdo con el grupo

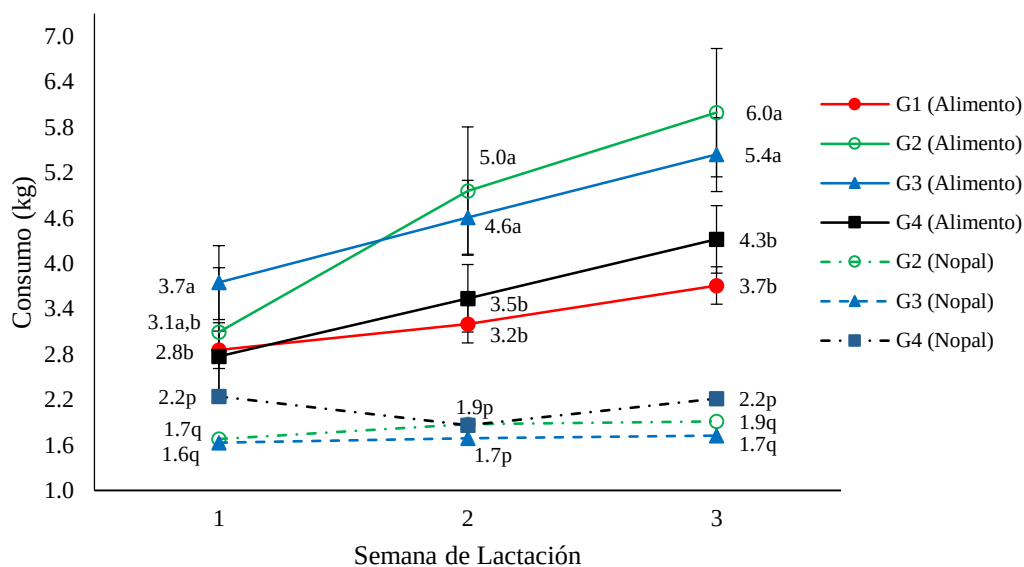
	Nivel de adición de nopal (%)	Media General	E.E.
Grupo 1	0.0	3.2 ^a	0.11
Grupo 2	1.0	4.7 ^b	0.11
Grupo 3	1.5	4.6 ^b	0.11
Grupo 4	2.0	3.5 ^a	0.11

E.E.=error estándar.

Literales ^{a, b}, indican diferencias entre promedios

En cuanto al efecto de semana de lactación sobre el CVA (Tabla 1), este concuerda con Martínez *et al.* (2014), quienes establecieron que el consumo voluntario de alimento, de acuerdo a la semana de lactancia, se ve afectado; siendo la 1^a semana donde se observó un menor consumo de alimento. Así mismo, Pérez *et al.* (2015) y Ortiz *et al.* (2017), encontraron una relación entre el consumo de alimento de las cerdas durante las semanas de lactancia, relación asociada al efecto de la hipofagia fisiológica lactacional, la cual es menos drástica

a partir de la 2ª semana de lactancia. Aspecto que también se observó en la presente investigación (Figura 1).



Literales a, b indican diferencias ($P < 0.05$) entre consumo de alimento grupo⁻¹ dentro de semana
 Literales p, q indican diferencias ($P < 0.05$) entre consumo de nopal grupo⁻¹ dentro de semana

Figura 1. Medias de mínimos cuadrados para el consumo de alimento convencional y de nopal (*O. ficus-indica*) cerda⁻¹ grupo⁻¹ semana⁻¹ en fase de lactación.

De acuerdo con la Figura 1, el CVA cerda⁻¹ se incrementó ($P < 0.05$) conforme se incrementó el tiempo (semanas) de la fase de lactación, iniciando en la 1ª semana con 3.1 kg cerda⁻¹ día⁻¹ y culminar, en la 3ª semana de la fase de lactación en 4.5 kg cerda⁻¹ día⁻¹. Resultados que concuerdan con Martínez *et al.* (2014), Pérez *et al.* (2015) y Ortiz *et al.* (2017), en relación a la tendencia de incremento. Sobre todo, con los resultados del G2 y G3, en cuanto a consumos cerda⁻¹ semana⁻¹: 4.0 ± 0.16 kg día⁻¹ en la 1ª semana 4.9 ± 0.16 kg día⁻¹ en la 2ª semana y 5.3 ± 0.17 kg día⁻¹ en la 3ª semana de lactación

Con respecto al consumo de nopal, este aun y cuando se estableció un consumo específico para cada grupo en el diseño experimenta, existió rechazo de nopal

sobre todo en los grupos de 1.5 y 2.0% de adición de esta cactácea a la dieta de las cerdas; de tal manera que, el consumo cerda⁻¹ día⁻¹ fue igual ($P>0.05$) para los grupos evaluados: 1.65 kg en G2; 1.79 kg en G3 y 2.19 kg G4; en realidad el consumo de nopal en BF del G4 se encuentra dentro del 1.5% de adición de nopal; ello sugiere que, el máximo consumo de nopal en cerdas primíparas sería de 1.5% con base a su peso corporal cinco días antes del parto. Mientras que, durante la fase de lactación, se pudo observar que el consumo de nopal desciende a partir del primer día de lactación: de 1.850 a 1.000 kg cerda⁻¹ en el día 7 de lactancia y, a partir de este día, vuelve a incrementarse el consumo de dicha cactácea hasta alcanzar un máximo de 2.050 kg creda-1 al día 21 de lactación (Figura 2)

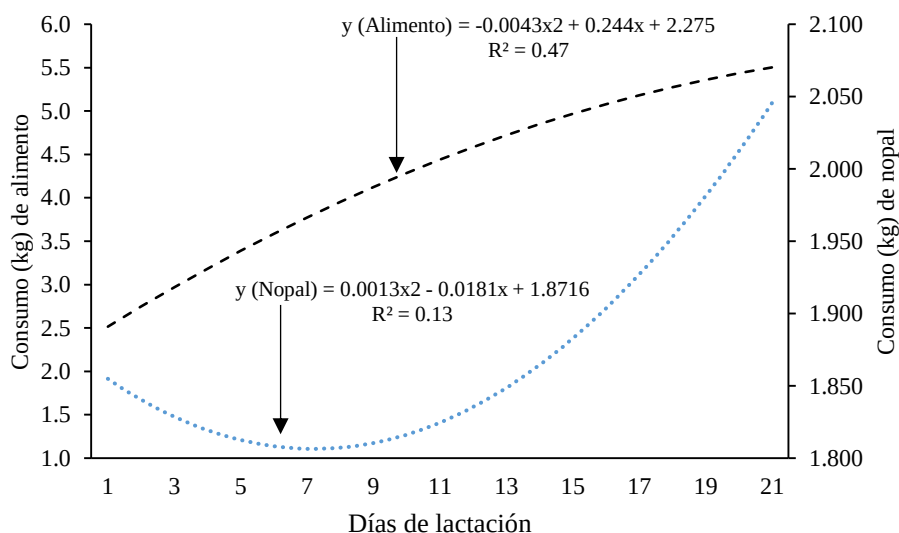


Figura 2. Comportamiento del consumo voluntario de alimento convencional y de nopal BF durante la fase de lactancia

En relación con las concentraciones de glucosa, se encontró efecto de grupo ($P<0.001$), día ($P<0.001$) y de la interacción grupo*día ($P<0.007$). En este sentido, se pudo observar que, en el peri-parto (100 días de gestación) el nivel de glucosa va aumentando paulatinamente llegando a su pico el día del parto ($P<0.05$), bajando sus concentraciones en los días subsecuentes durante la lactancia, normalizándose en el 14^{vo} día de lactancia ($P<0.05$) (Figura 3).

La elevación plasmática de los niveles de glucosa sérica en los días próximos al parto se explica por el fenómeno de hipofagia fisiológica lactacional, dado que la cerda trascurre por un fenómeno de resistencia a la insulina, comenzado desde el día 85 de gestación (Pére y Etienne, 2007), siendo el principal causante de la elevación de glucosa al comienzo de la lactancia, dado que la cerda requiere dicha molécula para satisfacer la demanda durante la fase de lactación (Quesnel *et al.*, 2013). Al respecto, Ortiz *et al.* (2017), encontró 60 mg dL⁻¹ pre-parto y 64 mg dL⁻¹ postparto respectivamente. Aspecto que no concuerda con el G1 (100 y 120 mg dL⁻¹), respectivamente (Figura 3): En cuanto a los grupos que recibieron nopal (G2, G3 y G4), estos antes del parto presentaron niveles de glucosa sanguínea entre 70 y 80 mg dL⁻¹ y al parto (día cero) solo el G2 presentó incremento de glucosa (≥ 90 mg dL⁻¹). Ello sugiere que, un consumo mayor al 1% de nopal provoca que no se presente el pico de glucosa el día de parto (Figura 3), pero ello, no contribuye con el incremento de CVA con respecto al consumo de 1% de nopal como parte de la dieta de las cerdas postparto (Tabla 1 y Figura 3).

El incremento de los niveles de glucosa sérica en los días próximos al parto se explica por el fenómeno de hipofagia fisiológica lactacional, dado que la cerda

trascurre por un fenómeno de resistencia a la insulina, comenzado desde el día 85 de gestación (Pére y Etienne, 2007). La resistencia a la insulina y su consecuente pico de glucosa al momento del parto es esencial para el comienzo de la lactancia, dado que la cerda requiere dicha molécula para satisfacer la demanda de nutrientes en la fase de lactación (Quesnel *et al.*, 2013).

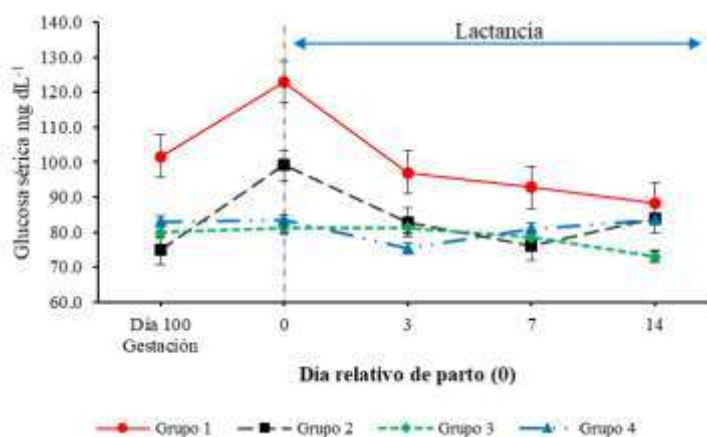


Figura 3. Concentración plasmática de glucosa cerda⁻¹ día⁻¹ de acuerdo con la interacción grupo*día.

En relación a las concentraciones de colesterol total se observa un aumento del día 100 de gestación al parto, tanto del G1 y G2 (87.6 a 100.1 mg dL⁻¹ y 73.4 a 88.3 mg dL⁻¹ respectivamente), valores que disminuyen conforme avanza la lactancia, lo que concuerda con lo encontrado por Diaz (2015) que reporta valores de 87.6 mg dL⁻¹ al día 7 y 81.4 mg dL⁻¹ al día 14 de lactancia. Al respecto Duque *et al.* (2013), afirma que las concentraciones plasmáticas de colesterol total se incrementan del día 100 al día 113 de gestación. Czech *et al.* (2009) reporta

valores de 46.1 mg dL^{-1} y 41.7 mg dL^{-1} a los 110 días de gestación y 21 días de lactancia respectivamente. En los días posteriores al parto los niveles de colesterol y triglicéridos disminuyen; determinando que, dicho efecto se debe a las altas concentraciones de estrógenos y de la activación de la resistencia a la insulina, esto incrementa la actividad lipolítica del tejido adiposo, aunado a ello aumentan las concentraciones de triglicéridos, siendo el colesterol el que los transporta.

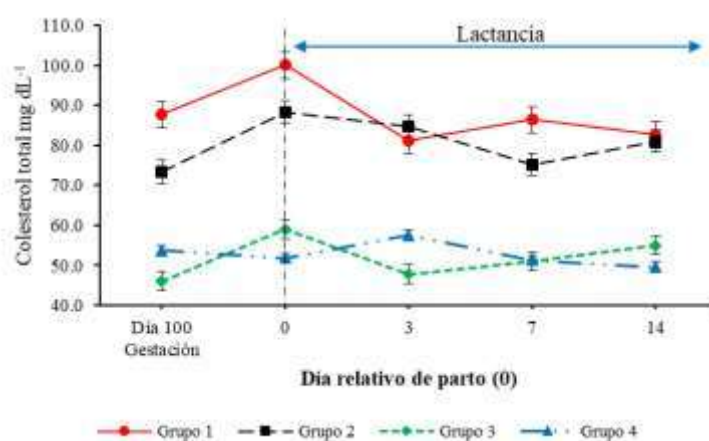


Figura 4. Concentración plasmática de colesterol total de acuerdo con la interacción grupo*día.

En relación a la concentración plasmática de triglicéridos a los 100 días de gestación(figura 5), se observa una concentración (74.39 mg dL^{-1}) en el grupo testigo la cual muestra una disminución hasta el día 7 postparto (59.93 mg dL^{-1}), el G2 muestra un incremento en los niveles de triglicéridos del día 100 de gestación al parto (60.24 mg dL^{-1} y 69.05 mg dL^{-1} respectivamente), por otra parte las concentraciones de triglicéridos en los grupos G3 y G4 mostraron valores similares

al día 100 de gestación (42.5 y 38.75 mg dL⁻¹ respectivamente), estos niveles de colesterol total se mantienen similares hasta el momento del parto, Barrera (2017) reportó valores de 108 mg dL⁻¹ a los 108 días, los cuales disminuyen al momento del parto y a los días 7 y 14 de gestación (98, 80 y 79.5 mg dL⁻¹ respectivamente) siendo superiores a los encontrados en la presente investigación.

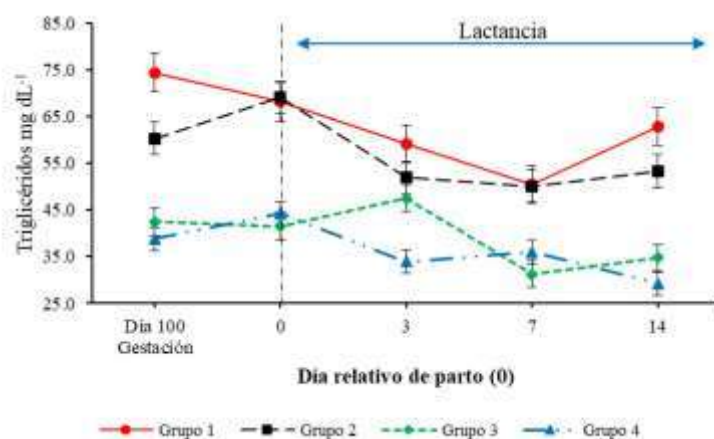


Figura 5. Concentración plasmática de triglicéridos de acuerdo con la interacción grupo*día.

La disminución de los niveles de triglicéridos durante los últimos días de gestación (100 días) hasta el día 14 de lactancia se debe al crecimiento de los lechones en la última etapa del crecimiento, y a la demanda de energía para la producción láctea (Barrera, 2017), ya que posteriormente a la glucosa y el lactato, triglicéridos son las siguientes fuentes de carbono (11%) para la producción láctea por la glándula mamaria (Monsnier *et al.*, 2010).

CONCLUSIÓN

El CVA no se incrementa conforme se incrementa el consumo de nopal. Ello sugiere que, el máximo consumo de nopal en cerdas primíparas sería de 1.5% con base a su peso corporal cinco días antes del parto. Pero, los consumos de esta cactácea $\geq 1.5\%$ cerda⁻¹ día⁻¹ tienden a disminuir aún más los niveles séricos de GS, CT y Ts, con respecto a las dietas adicionadas con 1% de nopal, aspecto que debe ser investigado.

3. Bibliografía

- Aherne, F. 2001 Feeding the lactating sow. University of Alberta. Revista Extensión. Disponible en: [línea] <https://articles.extension.org/pages/27437/feeding-the-lactating-sow>.
- Amitani, M.; Asakawa, A.; Amitani, H. y Inui, A. (2013). The role of leptin in the control of insulin-glucose axis. Departamen of psychosomatic internal medicine, Kagoshima university graduate school of medical and Dental Sciences, Kagoshima, Japan. Revista Frontiers in Neuroscience Disponible en [Línea] <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3619125/>
- Armstrong D. J., Britt H. J. y Cox M. N. 1986. Seasonal differences in function of the hypothalamic-hypophisial-ovarian axis in weaned primiparus sow. Journal of reproduction fertility.
- Astier M. y Masera O. 1997. Metodología para la Evaluación de Sistemas de Manejo Incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS). Agricultura Sustentable Teoría y Práctica desde los Movimientos Sociales. Centro de Estudios Sociales y Ecológicos, A.C. Patzcuaro, Mich. México. pp. 91-121.
- Barrera, S.R.A., 2017. Relación entre consumo voluntario de alimento y la concentración de leptina, insulina, glucosa, triglicéridos y depósito de grasa dorsal en cerdas postparto. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Carrera de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Central del Ecuador.

- Baxter S. H. y Robertson A. M. 1980. Pig housing-the last ten years. Scottish farm building investigation unit. Crabs tone, Bucks burn, Aberdeen, UK. Pig news and information. 1:1.
- Bello, O.R. 2000. Propuesta metodológica para el análisis de sistemas porcícolas intensivos: intensidad de uso y renovación de la cerda. Tesis de Maestría. División de Estudios de Posgrado FMVZ-UMSNH. Morelia Michoacán. México
- Bertalanffy, V.L. 1976. Teoría general de los sistemas: Fundamentos, desarrollo y aplicaciones. Fondo de Cultura Económica: México.
- Berruezo GR, Graciá CM, Valencia JAA. Biodisponibilidad de los ácidos grasos de cadena corta: mecanismos de absorción. Anales 2011; 24: 125-134.
- Boehlje M. y Hurt C. (1996): Industrialization of the U.S. Swine Industry. Departament of Agricultural Econimoics, Purdue University. Allen d. Leman Swine Conference.
- Britt J. H. 1996. Biology and management of the early weaned sow. 27th Annual meeting. American association of swine practitioners.
- Brown N. 1998. Special challenges of benchmarking in today's pork industry. En "Benchmarking Production & Financial Performance". Minesota. Septiembre 20. Mn. USA. Arias, T., Cambo, E y Del Toro. 1987. Uso de diferentes dosis de PMSG en reproductoras y cochinitas. Ciencia Técnica Agricultura. Ganado porcino. 10(4):7-14.
- Bueno, E y Sarniento, A. (2015). Nuevos avances en la alimentación de cerdas ibéricas VII jornadas, Cooperativa COBADU, Salamanca, España.
- Campos M. E. 1995. Sistemas de Producción. La producción porcícola en México: contribución al desarrollo de una vision integral. Universidad Autonoma Metropolitana, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo Morelia, Michoacán.
- Cardenas, M.A. 1982. El enfoque de sistemas: Estrategias para su implementación. Ed. Limusa. México, Df.
- Carne de cerdo 2017. Panorama Agroalimentario. Dirección de Investigación y Evaluación Económica y Sectorial. Fideicomisos Instituidos en Relación

- con la Agricultura (FIRA). [En Línea] Disponible en:
<http://www.ugrpg.org.mx/pdfs/Panorama%20Agroalimentario%20Carne%20de%20cerdo%202017.pdf>
- Clowes E. J., Aherne F. X. y Foxcroft G. R. 1994. Effects of delayed breeding on the endocrinology and fecundity of sows. *Journal of animal science*. 72.
- Coetano De, O.A y Mendoza, M.S.J. 1994. Consideraciones teóricas de la transferencia de tecnología en el sector pecuario. Módulo de transferencia de tecnología pecuaria. FMVZ-UNAM.
- Coleman G.J; Hemsworth P.H; Hay M.; Cox M. 2000. Modifying stockperson attitudes and behaviour towards pigs at a large comercial farm. *Applied Animal Behaviour Science*. Volume 66, issues 1-2, 1 Febraury 2000, Pp 11-20.
- Cools, A., Maes, D., Decaluwé, R., Buyse, J., Van Kempen, T.A., Janssens, G.P (2013). Peripartum changes in orexigenic and anorexigenic hormones in relation to back fat thickness and feeding strategy of sows. *Domestic animal Endocrinology*. 45: 22-27
- Croninn G. M. 1996. Intensive pig production systems. *Pig production*. Elsevier. Notheland, Amsterdam. Pp 251-263.
- Cuevas, V.J. 2018. Carne de cerdo, oportunidades de crecimiento en México (I). *El Economista*. Disponible en [Línea]
<https://www.eleconomista.com.mx/opinion/Carne-de-cerdo-oportunidades-de-crecimiento-en-Mexico-I-20180313-0107.html>
- Cunha T. J. 1980. Programs to advance swine production efficiency. *Journal Animal Science*. 51:1429-1443
- Czech, A. Mokrzycka, A. y Grela, E. R. 2009. Influence of mannanoligosaccharides additive to sows diet on blood parameters of sows and their piglets. *Bull Vet Inst Pulawy* (53): 89-95.
- Devillers, N., Le Dividich, J., Prunier, A. (2011). Influence of colostrum intake on piglet and immunity. *Animal* 5: 1605-1612.
- Devillers, N., Le Dividich, J., Prunier, A. 2011. Influence of colostrum intake on piglet and immunity. *Animal* 5: 1605-1612.

- Dial D. G., Marsh W. E. y Polson D. D. (1992). Reproductive Failure: Differential Diagnosis In: Diseases of Swine. 7a Ed. Iowa State University Press. Ames, Iowa, E.U.A. pp. 88-137
- Dial G. D y Polson D. D. 1996. Optimizing capacity utilization: Calculating breeding animal inventories. Animal Science. Pp 385.
- Dial G. D. 1996. Influence of Source of Variation on Performance Measure. Principles and Application of Constraint Theory and Capacity Utilization to Pig Farms. Allen D. Leman Swine Conference. College of Veterinary Medicine Iowa State University.
- Dial G. D. y Almond W. G. 1998. Postpartum reproductive activity in the sows. Biology of reproduction.
- Díaz M. I. J. y Ortiz R. R. 2003. Evaluación del Trabajador en Tiempos y Movimientos dentro de un Sistema Intensivo de Producción Porcina" Presentada en el XIV Encuentro Sobre Investigación Veterinaria y Producción Animal. Diciembre 2003
- Díaz, D. E. 2015. Efecto de dietas con desperdicio de comedor y cocina deshidratado sobre grasa dorsal, peso corporal y rendimiento productivo de cerdas en gestación y lactación. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo Coahuila. México.
- Duangkaew C. y Dial G. D. 1998. Relative Importance of Factors Affecting Weaned Pig Production. Principles and Application of Constraint Theory and Capacity Utilization to Pig Farms. Allen D. Leman Swine Conference
- Duque, G. P., Campos, G. R., López G. A. 2013. Evaluación del perfil metabólico lipídico en cerdas gestantes y su relación con la nutrición fetal. Rev. MVZ Córdoba 18(2):3543-3550.
- English R. P., Burgess G., Segundo R. y Dunne J. 1992. Stockmanship. Improving the care of the pig and other livestock. Ed. Farming press. UK. Pp 1-190.
- Esminger E. M. 1980. Producción porcina. 3ª ed. El ateneo. Buenos Aires, Argentina.
- Estévez, A.J. (2016). Manejo durante la gestación y lactancia en una unidad integral de producción porcina. Revista de Producción Animal. Volumen.

- 28 No.2-3. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Camagüey Ignacio Agramonte Loynaz, Cuba. [En línea] Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-79202016000200001
- Farmer, C. y Quesnel, H. (2009). Nutritional, hormonal, and enviromental effects on colostrum in sow. *J Anim. Sci.* 87 (13): 56-64.
- Flores P. J. P. 2005. Inestabilidad en los Sistemas Intensivos de Producción Porcina de La Piedad Michoacán. Tesis de Maestría. División de Estudios de Posgrado FMVZ-UMSNH. Morelia Michoacán. México
- García M. R., Del Villar V. F. M., García S. A. J., Mora F. J. S. y García S. C. R. 2004. Modelo econométrico para determinar los factores que afectan el mercado de la carne de porcino en México. *Interciencia*. No. 2. Vol. 29. pp 414-420.
- García, M.A.; Reyes, G.R.; Ávila, R.V. y Muñoz, T.M. (2012). Osteocalcina: nexo de unión entre homeostasis ósea y metabolismo energético. Universidad de Metabolismo Óseo, Servicio de Endocrinología y Nutrición, Hospital Universitario San Celicio, Granada, España. *Revista ELSEVIER*; 60(5): 260-263.
- GENESUS, (2018). Mercado de Cerdo de México, Informe de Mercado mundial México Feb 2018. The first power in genetics. Disponible en [Línea]
- Godina, G.A. (2016). Situación de la porcicultura mexicana: modernización. El Sitio Porcino. Disponible en [Línea] <http://www.elsitioporcino.com/articles/2735/situacion-de-la-porcicultura-mexicana-modernizacion/>
- Gordon I. 1989. Partos más frecuentes en la cerda. En: Control en la crianza de los animales de granja. Ed. CECSA. México, DF.
- Halmi, B.S., Benlaksira, B., Bechtarzi, K., Berouel, K., Serakta, M., Richi, F., Djaalab, H., Maameri, Z., Djerrou, Z., Hamdipacha, Y. 2013. Pharmacotoxicological study of *Opuntia ficus indica* L. aqueous extract in experimental animal. *Int. J. Med. Arom. Plants.* 3(3), 375-381.

- Huang, F.R., Liu, H.B., Sun, H.Q., Peng, J. (2013). Effects of lysine and protein intake over two consecutive lactations on lactation and subsequent reproductive performance in multiparous sows. *Livestock science*. 157: 482-489.
- Hunter F. H. R. 1982. Fisiología y tecnología de la reproducción de la hembra de los animales domésticos. Acriba, Zaragoza, España.
- Hwan, S., Kang., I-J., Sung, S. 2017. Antidiabetic effect of fresh nopal (*Opuntia ficus-indica*) in low-dose streptozotocin-induced diabetic rats fed a high-fat diet. Vol. 2017. Disponible en [Línea] <https://www.hindawi.com/journals/ecam/2017/4380721/>.
- INEGI (2010). Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Anuario estadístico del estado de Michoacan Ed. 2009 Pág. 127-142.
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). 2010. Porcinos
- Kato, L.M, y Bello, O.R. 2002. Impacto de la biotecnología en el sector porcino. UAM-Ascapotzalco , FIRA, Confederación de Porcicultores Mexicanos A.C.
- Kato, L.M. 1995. La producción porcina en México: contribución al desarrollo de una visión integral. UAM-Ascapotzalco y UMSNH. p21-53.
- Kim, S. W., Wu, G., (2008). Regulatory role for amino acids in mammary gland growth and milk synthesis. Springer. 37: 89-95.
- Kim, S.W., Weaver, A.C. Shen, Y.B. Zhao, Y. 2013. Improving efficiency of sow productivity: nutrition and health. *Journal of Animal Scienci and Biotechnology* 4(26): 1-8.
- Leman D. A. 1992. Optimizing farrowing rate and litter size and minimizing nonproductive sows days. *Veterinary Clinics of north America: food-animal practice*.
- Lovise, S.T., Helen, A.G., Petter, N.K. Hetland, H.m Framstad, T. (2013) Pea starch meal as a substitute for cereal grain in diets for lactating sows: the effect on sow and liter performance. *Livestock science*. 157: 210-217.
- Lushmann N. 1998. Sociología del riesgo: El caso especial de la alta tecnología. Triana editores. Universidad Iberoamericana. México, D.F. p. 127-146

- Lushmann N. 1990. Sociedad y sistema: la ambición de la teoría. Ediciones Paidós Ibérica, S. A. Barcelona, España. p. 9-29.
- Martínez, S. Campos, C. Madrid, J. Cerón, Orengo, Tvarijonaviciute, A. Valera, L, Hernández, F. 2013. Conocimiento actual de las hormonas reguladoras de la ingestión de alimentos en la especie porcina. Murcia, España.
- Meunier, S.M.S., Edwards, S.A., Robert, S. 2001. Effect of dietary fiber on the behavior and health of the restricted fed sow. Anim. Feed Sci. Technol. 90, 53-69.
- Mosnier, E., Etienne, 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 multiparus sow. Livestock Science. (127) 127-136.
- Murillo Aluja, A., Álvarez Rodríguez, J. M., Villalba Mata, D., Cano López, G. 2013 La composición de las dietas de las cerdas lactantes y la producción láctea. *FEDNA*. 113-145.
- Musso, C.; Mingote, E.; Durante, C.; Brenta, G.; Gurfinkiel, M.; Fossati, M.P.; Martínez, M.; Fretes, O.; Schurman, L.; Sedlinsky C. y Faingold, C. (2012). Correlación entre osteocalcina, insulinoresistencia, insulinosensibilidad y metabolismo de la glucosa en adultos mayores con síndrome metabólico. Servicio de Endocrinología y Metabolismo. Laboratorio clínico de la Unidad Asistencial Dr. César Milstein. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.
- Neill, C. Williams, N.H. (2011). Producción de leche y necesidades alimentarias de las cerdas. 3tres3 Comunidad Profesional Porcina. España. [En línea] Disponible en: <https://www.3tres3.com/articulos/produccion-de-leche-y-necesidades-alimentarias-en-cerdas-i-3284/>
- Ordaz, O.G.; Juarez C. A., García, V.A. Pérez, S.R.E. y Ortiz, R.R., 2013. Efecto del número de parto sobre los principales indicadores reproductivos de las cerdas. Revista científica, vol. XXIII, núm. 6. Universidad de Zulia, Maracaibo, Venezuela.

- Ordaz, O.G.; Juarez, C. A., Pérez, S.R.E., Román B. R. M. y 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. *Trop Anim Health Prod* (49):1025–1033.
- Ortiz R.R, Pérez S.R.E, Juárez C.A. y Gómez R.B. 2015. Los tres componentes principales de los sistemas de producción animal. En: *Teoría de Sistemas en la Producción Animal*. Capítulo IV. UMSNH. Pp
- Ortiz, R. R y Ortega, G. R. 2001. Importancia del factor humano en la productividad de los sistemas intensivos de producción porcina. *Acontecer Porcino* Agosto-septiembre 2001. Vol. IX (50) 86-98.
- Ortiz, R.R.; Orozco, G.A.; Arreola, V.A.; Martínez, P.L. y Sánchez, P.R.E. (2017). Efecto de la adición de nopal (*Opuntia ficus-indica*) a la dieta de cerdas lactantes sobre la producción y calidad de la leche. *Revista de Investigación de la Universidad De La Salle Bajío*. Nova Scientia. N° 18, Vol. 9 (1). pp.: 290-312
- Ortiz, R.R; Ordaz, O. G.; Andrade. H.E.O.; Saucedo P.A y Pérez, S.R.E. 2014. El nopal (*O. ficus-indica*) como complemento de la dieta de cerdas lactantes sobre los niveles de glucosa sanguínea y consumo de alimento durante la fase de lactancia. *Producción y aprovechamiento del Nopal y Maguey. Desarrollo y bienestar sustentables a través del nopal y maguey*. XII Simposium-Taller nacional VII internacional, Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León. 9 y 10 de octubre de 2014. Monterrey Nuevo León. México.
- Ortiz-Rodríguez R., Pérez-Sánchez R.E., Juárez-Caratachea A. y Gómez-Ramos B. (2015) Los tres componentes principales de los sistemas de producción animal: La Triada hombre-animal-tecnología. En: *Teoría de Sistemas en la Producción Animal*. 1ª Edición 2015. Morelia, México. UMSNH
- Père, M.C., Etienne, M. (2007) insulin sensitivity pregnancy, lactation, and postweaning in primiparous gilts. *J Anim. Sci.* 85 (1): 101-109.
- Père, MC, Quesnel E, Étienne, M. The metabolic status of the lactating sow. consequences on milk production and post weaning reproduction

- response. III congreso CLANA. Cancún, Quintana Roo, México. Noviembre 18 al 21. 2008; 33-45.
- Pérez S.R.E, Ordaz O.G., Juárez C.A., Román B.R.M y Ortiz R.R. 2016. Validation of A Commercial Hand-Held Human Electronic Glucose Meter for use in Pigs. *Int. J. Pure App. Biosci.* **4 (4)**: 1-7
- Pérez, S.R.E. 2000. Estabilización de un sistema de producción porcina a través de la tasa de reemplazo. Tesis de Maestría. División de Estudios de Posgrado FMVZ-UMSNH. Morelia Michoacán. México.
- Pérez, S.R.E., Ordaz, O.G., Juárez, C.A., García, V.A., Ortiz, R.R. (2015). Efecto del número de parto sobre el consume de alimento voluntario de las cerdas durante la fase de lactancia y su repercusión en el intervalo destete-estro. Nota técnica. *Rev. Cient. FCV-LUZ XXV (2)*: 145-152.
- Quesnel, H., Meunier-Salaun, MC., Hamard, A., Guilleminot R., Etienne, M., Farmer, C., Dourmad, J.Y, Péré, M.C. (2009). *Dietary fiber for pregnant sows: Influence on sow physiology and performance during lactation.* *J. Anim.Sci.* 87: 532-543.
- Quiles, A., Hevia, M. (2003) Últimas tendencias en la alimentación de cerdas durante la lactación: Recomendaciones prácticas. Murcia, España. Departamento de producción Animal. Facultad de Veterinaria. Universidad de Murcia. Campus de Espinardo.
- Reece, W. (2010). Fisiología de los animales domésticos. Zaragoza, España: Acribia.
- Resúmenes de mercado. (2018). Perspectivas alimentarias. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Disponible en [línea] <http://www.fao.org/3/CA0910ES/ca0910es.pdf>
- Rigon, R.C.A.; Lovatto, P.A.; Weschenfelder, V.A.; Lehnert, C.R.; Fraga, B.N.; Andretta, I. y Ceron, S.M. (2008). Meta-analysis of relation among backfat thickness and nutritional variables of gestating and lactating sows. *Revista Ciencia Rural*, Santa Maria, v.38, n. 4, p. 1085-109.
- Sagarnaga M., Valencia J y Ramos C. 1999. Impacto del TLCAN en el sistema productivo porcino mexicano. Cinco años y medio de operación.

- Santos F. J. 1999. La Teoria General de sistemas y su Aplicacion al Estudio de Sistemas de Produccion Agropecuarios. Universidad Autónoma de Yucatán. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Dpto. de Investigación en Sistemas y Extensión Agropecuaria. SAS (2000). Stadistical Analysis Sistem Institute. Guide for personal computers. Version 8.
- Serena, A., Hedemann, M.S., Bach Knudsen, K.E. 2007. Feeding high fibre diets changes luminal environment and morphology in the intestine of sows. Livest. Sci. 109, 15-117.
- Shane, M.L. (2009). Dietary Supplements for Diabetes: An Evaluation of Commonly Used Products. American Diabetes Association. University of Utah College of Pharmacy's Departament of Pharmacotherapy in Salt Lake City. Utah.
- Singh, D. 1986. Simulation of Swine Herd Population Dynamics. Agricultural Engineering, Department, University of Hawaii, Honolulu, Hawaii, USA. 22:157-183.
- Soros G. 1999. La Crisis del Capitalismo Global: La sociedad Abierta en Peligro. De. Debate, S.A. México. pp.35-117.
- Spedding, C.R.W. 1988. An introduction to agricultural systems. 2a ed. Elsevier Applied Science.
- Steck J. 1998. Common vs. Special Cause of Variation. En "Benchmarking Production & Financial Performance". Minnesota. Septiembre 20. Mn. USA.
- Trujillo O. M. E. 1998. Control de la información: Sistemas de producción animal 1 cerdos. FMVZ-UNAM. Pp 3-18.
- Tubbs C. R. 1992. Managing and feeding sow for optimum productivity. Veterinary clinics of north America: Food-animal practice.
- Unger G, Fabiana SB, Perruzza FG, Pennacchiotti, L. Triglycerides and glucose index: A useful indicator of insulin resistance. Endocrinol Nutr. 2014;61(10):533-540.

- Valencia B. C. F. 1999. Formación de Grupos de Carga. valencia@gatelink.net. Ciudad Obregon, Sonora.
- Van, G. 1998. Teoría general de sistemas. 2ª ed. Ed. Trillas. México. P 581.
- Velásquez, M.G., Mendoza, T.F y Lopez, T.L. 1975. Administración de los sistemas de producción. 2ª ed. Ed. Diana. México, Df. p. 290
- Venegas V. R. y Siau G. G. 1999. Conceptos, Principios y Fundamentos para el Diseño de Sistemas Sustentables de Producción. Agroecología y Desarrollo. Santiago, Chile. No.7.
- Wadsworth, J. 1997. Análisis de sistemas de producción animal. Tomo 1: Las bases conceptuales. Italia. Pp 08.
- Whittemore C.T. 1979. The Plant and the Product-Pig Units and Pig Meat. Pig Production. Head of Animal Production Advisory and Development, Edinburgh School of Agriculture. Pp. 2-3.
- Wilson G. P., Jerome H. M. y Dewey L. H. 1991. Pork production systems. Efficient use of swine and feed resources. Ed. An avi book. USA: New York. P 43