



# UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

---

## FACULTAD DE AGROBIOLOGÍA “PRESIDENTE JUÁREZ”

TESIS:

**“Efecto de la adición de nopal (*Opuntia ficus-indica*)  
en la dieta de cerdas lactantes sobre producción,  
calidad de la leche y desarrollo del lechón”**

Que presenta:

**MVZ. Alejandro Orozco Gaspar**

Como requisito parcial para obtener el grado de:

**Maestro en Ciencias Biológicas**

MORELIA, MICHOACÁN, MÉXICO, MARZO DE 2017.





**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE  
HIDALGO**

---

**FACULTAD DE AGROBIOLOGÍA  
“PRESIDENTE JUÁREZ”**

**TESIS:**

**“Efecto de la adición de nopal (*Opuntia ficus-indica*)  
en la dieta de cerdas lactantes sobre producción,  
calidad de la leche y desarrollo del lechón”**

Que presenta:

**MVZ. Alejandro Orozco Gaspar**

Director de tesis:

**Dra. en Ciencias Biológicas Rosa Elena Pérez Sánchez**

Co-director:

**Dr. Héctor Eduardo Martínez Flores**

Comité tutorial:

**M.C. Ruy Ortiz Rodríguez  
Dr. Daniel Val Arreola  
Dr. Liberato Portillo Martínez**



MORELIA, MICHOACÁN, MÉXICO, MARZO DE 2017.



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO  
*Programa Institucional de Maestría en Ciencias Biológicas*

---

DRA. LILIANA MÁRQUEZ BENAVIDES  
COORDINADORA GENERAL DEL PROGRAMA INSTITUCIONAL DE  
MAESTRÍA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS  
P R E S E N T E

Por este conducto nos permitimos comunicarle que después de haber revisado el manuscrito final de la Tesis Titulada: "Efecto de la adición de nopal (*Opuntia ficus-indica*) en la dieta de cerdas lactantes sobre producción, calidad de la leche y desarrollo del lechón" presentado por el MVZ. Alejandro Orozco Gaspar, consideramos que reúne los requisitos suficientes para ser publicado y defendido en Examen de Grado de Maestro en Ciencias.

Sin otro particular por el momento, reiteramos a usted un cordial saludo.

A T E N T A M E N T E

Morelia, Michoacán, a 02 de marzo de 2017

MIEMBROS DE LA COMISIÓN REVISORA

Dra. Rosa Elena Pérez Sánchez  
Directora de Tesis

Dr. Héctor Eduardo Martínez Flores  
Co director

Dr. Daniel Val Arreola

Dr. Liberato Portillo Martínez

MC. Ruy Ortiz Rodríguez



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO  
*Programa Institucional de Maestría en Ciencias Biológicas*

---

DRA. LILIANA MÁRQUEZ BENAVIDES  
COORDINADORA GENERAL DEL PROGRAMA INSTITUCIONAL DE  
MAESTRÍA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS  
P R E S E N T E

Por este conducto nos permitimos comunicarle que después de haber revisado el manuscrito final de la Tesis Titulada: "Efecto de la adición de nopal (*Opuntia ficus-indica*) en la dieta de cerdas lactantes sobre producción, calidad de la leche y desarrollo del lechón" presentado por el MVZ. Alejandro Orozco Gaspar, consideramos que reúne los requisitos suficientes para ser publicado y defendido en Examen de Grado de Maestro en Ciencias.

Sin otro particular por el momento, reiteramos a usted un cordial saludo.

A T E N T A M E N T E

Morelia, Michoacán, a 02 de marzo de 2017

MIEMBROS DE LA COMISIÓN REVISORA

\_\_\_\_\_  
Dra. Rosa Elena Pérez Sánchez  
Directora de Tesis

\_\_\_\_\_  
Dr. Héctor Eduardo Martínez Flores  
Co director

\_\_\_\_\_  
Dr. Daniel Val Arreola

\_\_\_\_\_  
  
Dr. Liberato Portillo Martínez

\_\_\_\_\_  
MC. Ruy Ortiz Rodríguez

## **Agradecimientos**

*A Dios, por brindarme salud para éste tiempo lleno de aprendizajes y experiencias.*

*A mis padres, Lucia Rebeca Gaspar Rodríguez y Alejandro Orozco Celis, por brindarme su amor y apoyo.*

*A mi hermana por su amor y apoyo.*

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

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

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

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

*Al Dr. Héctor Eduardo Martínez Flores, por sus enseñanzas, esfuerzo en mi preparación académica.*

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

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

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

*A la M.V.Z. Sandra Betania Gaytán Lemus, por su apoyo y paciencia en la elaboración de ésta tesis.*

*Mi más grande agradecimiento a mis amigos y compañeros, que me brindaron su tiempo y colaboración durante la realización de ésta investigación, a cada uno de ellos, gracias.*

## **Dedicatoria**

*Con mucho cariño a mi familia, que me han demostrado, que, en los malos momentos, son los únicos que estarán para apoyarte, se los agradezco de todo corazón, a ellos les dedico éste trabajo.*



## Índice.

	Pág.
Resumen	1
Abstract	2
Introducción general	3
Hipótesis	10
Objetivo general	11
Objetivos particulares	11
Metodología general	12
Bibliografía	15
<b>Artículo 1.</b> Caracterización y modelación esquemática de la producción de leche de las cerdas	19
Resumen	19
Introducción	20
Enfoque metodológico	21
Modelo esquemático de los factores inherentes al lechón e inherentes a la cerda en la producción láctea	24
Factores inherentes al lechón	29
Factores inherentes a la cerda	33
Consideraciones generales	41
Bibliografía	42
<b>Artículo 2.</b> Validación de equipo convencional para determinación físico-química de leche en vacas (Lactoscan <sup>®</sup> ) para su uso en leche de cerdas	50
Resumen	50
Introducción	51
Materiales y métodos	52

Resultados	54
Discusión	58
Conclusión	60
Bibliografía	60
<b>Artículo 3.</b> Efecto de la adición de nopal ( <i>Opuntia ficus-indica</i> ) a la dieta de cerdas lactantes sobre la producción y calidad de la leche	63
Resumen	63
Introducción	64
Materiales y métodos	67
Resultados	73
Discusión	75
Conclusión	81
Bibliografía	82
<b>Artículo 4.</b> Efecto de la adición de nopal ( <i>Opuntia ficus-indica</i> ) a la dieta de cerdas lactantes sobre la producción, calidad de la leche y desarrollo del lechón lactante y post-destete	87
Resumen	87
Introducción	88
Materiales y métodos	90
Resultados	96
Discusión	99
Conclusión	105
Bibliografía	105
Discusión general	110
Bibliografía	113

## Índice de tablas y figuras

	<b>Pág.</b>
<b>Artículo 1.</b>	
<b>Figura 1.</b> Formulación esquemática “suave” del sistema biológico en la producción de cerda	<b>28</b>
<b>Figura 2.</b> Reformulación esquemática del sistema biológico en la producción láctea de las cerdas	<b>29</b>
<b>Tabla 1.</b> Intervalo y duración del amamantamiento por semanas	<b>31</b>
<b>Figura 3.</b> Producción láctea en cerdas de acuerdo con un tamaño de camada de 12, 9.5 y 8 lechones durante la fase de lactación	<b>33</b>
<b>Figura 4.</b> Ganancia de peso de los lechones dependiendo de la posición anatómica del pezón que amamantaron	<b>36</b>
<b>Tabla 2.</b> Producción de leche de acuerdo al número de lechones lactando y número de parto de la cerda	<b>37</b>
<b>Tabla 3.</b> Producción semanal de leche (kg) de cerdas primíparas y multíparas	<b>37</b>
<b>Artículo 2.</b>	
<b>Tabla 1.</b> Resultados descriptivos de proteína, grasa, lactosa y sólidos totales obtenidos por Lactoscan® y el método convencional del laboratorio	<b>54</b>
<b>Figura 1.</b> Estimación lineal entre método convencional de laboratorio y método por Lactoscan® para: proteínas, grasa, lactosa y sólidos totales	<b>57</b>
<b>Figura 2.</b> Grafica de Bland-Altman entre método de laboratorio y Lactoscan® para: proteínas, grasa, lactosa y sólidos totales	<b>58</b>
<b>Artículo 3.</b>	

<b>Tabla 1.</b> Características morfológicas y bromatológicas de los cladodios de <i>O. ficus-indica</i> del tercer nivel	<b>69</b>
<b>Tabla 2.</b> Insumos y análisis bromatológico del alimento para hembras gestantes y lactantes	<b>70</b>
<b>Tabla 3.</b> Medias de mínimos cuadrados para consumo voluntario de alimento en las cerdas en fase de lactación de acuerdo al grupo y a la semana de lactación	<b>73</b>
<b>Tabla 4.</b> Medias de mínimos cuadrados para producción y calidad de la leche de acuerdo al grupo y día de lactación	<b>74</b>
<b>Tabla 5.</b> Medias de mínimos cuadrados para el peso de los lechones y la pérdida de peso corporal de la cerda durante la fase de lactancia	<b>75</b>
 <b>Artículo 4.</b>	
 <b>Tabla 1.</b> Insumos y análisis bromatológico del alimento para hembras gestantes y lactantes	 <b>92</b>
<b>Tabla 2.</b> Contenido nutricional del alimento® para lechones en fase de destete	<b>95</b>
<b>Tabla 3.</b> Medias de mínimos cuadrados para el consumo de alimento, producción y calidad láctea de la cerda y peso del lechón en fase de lactancia de acuerdo al grupo	<b>97</b>
<b>Tabla 4.</b> Medias de mínimos cuadrados para el consumo de alimento voluntario, ganancia de peso y peso de los lechones durante la fase de destete	<b>98</b>

## Resumen

El objetivo general fue determinar el efecto de la adición de nopal (*Opuntia ficus-indica*) a la dieta de cerdas lactantes sobre la producción, calidad de la leche y desarrollo del lechón. Mientras que los objetivos particulares fueron: I) integrar los conocimientos sobre factores que inciden en la producción de leche de la cerda y su efecto en la supervivencia de la camada; II) validar la exactitud analítica del analizador lácteo (lactoscan®), para determinar el contenido físico-químico de la leche de cerdas, tomando como referencia los métodos convencionales de laboratorio (MCL); III) determinar el efecto de la adición de nopal (*O. ficus-indica*) a la dieta de cerdas lactantes sobre la producción y calidad de la leche; IV) determinar el efecto de la adición de nopal (*O. ficus-indica*) a la dieta de cerdas lactantes sobre el desarrollo del lechón durante la lactancia y post-destete. Para el primer objetivo particular se utilizó la información de las principales investigaciones sobre este tópico. La información recabada fue analizada bajo el enfoque metodológico de la *Teoría General de los Sistemas*. Para el segundo objetivo particular obtenidos los valores de lactoscan® y MCL, el análisis estadístico consistió en: 1) Comprobar normalidad de los parámetros estudiados por la prueba estadística de Kolmogorov-Smirnov; 2) Determinar valores extremos (outliers); 3) Determinar el coeficiente de correlación de concordancia (CC) de Lin; 4); Obtener los valores de la pendiente y la ordenada al origen (regresión lineal) y 5) Análisis gráfico de Bland-Altman, para evaluar la concordancia entre métodos. Para el tercer objetivo particular se determinó la producción láctea en los días 6, 10 y 15 postparto, así como los porcentajes de: lactosa, proteína y grasa en leche en los días 3, 11 y 17 de lactación. Para el cuarto objetivo particular, fue una continuación del tercer objetivo se determinó en la etapa de destete: el consumo voluntario de alimento del lechón, ganancia diaria de peso y peso vivo. La información generada del tercer y cuarto objetivo particular se analizó a través de mediciones repetidas y las diferencias entre grupos mediante medias de mínimos cuadrados. Se encontró que, en cuanto a los aspectos genéticos, se ha estimado que existen diferencias en producción láctea entre razas puras y sus cruza, además de que el índice de herencia ( $h^2$ ) para este rasgo es de 0.20% lo cual establece efecto de otros factores sobre la producción láctea. La producción láctea de la cerda incrementa 0.36 kg por lechón<sup>-1</sup> adicional, alcanza su máxima producción (12.1 kg) con 12 lechones/camada y al tercer parto. No se encontró diferencia ( $P > 0.05$ ) entre los promedios de proteína (8.3 vs 8.2), grasa (6.0 vs 6.5), lactosa (6.1 vs 6.2) y sólidos totales (16.4 vs 17.9) para las metodologías establecidas por MCL y lactoscan®, respectivamente. El grupo no afectó a la producción láctea ( $P > 0.05$ ) y, se encontró que el pico de producción láctea fue al 15<sup>vo</sup> día de lactación: 9.1 y 8.7 kg de leche para GE y GT, respectivamente. Los promedios (%) generales de los componentes físico-químicos de la leche: lactosa ( $6.6 \pm 0.57$ ), proteína ( $4.5 \pm 0.40$ ) y grasa ( $7.9 \pm 1.6$ ) no fueron afectados por el grupo ( $P > 0.05$ ). Se encontró efecto de grupo sobre consumo de alimento del lechón ( $P = 0.0038$ ) y ganancia de peso diaria ( $P = 0.0179$ ), más no afectó al peso vivo de los lechones ( $P = 0.2475$ ) en la etapa de destete. El consumo de alimento de los lechones y la ganancia fue mayor en lechones provenientes de cerdas alimentadas con nopal ( $P < 0.05$ ). La adición de nopal a la dieta de cerdas lactantes no modifica la producción ni los componentes físico-químicos (proteína, lactosa y grasa) de la leche de las cerdas lo que garantiza el desarrollo normal del lechón en la lactancia y post-destete.

**Palabras clave:** Alimentación, lactación, glucosa, hipofagia, productividad.

## Abstract

The general objective was to determine the effect of the addition of prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) to the diet of lactating sows on the production, milk quality and piglet development. While the particular objectives were: i) to integrate knowledge about factors affecting milk production of the sow and its effect on the survival of the litter; II) to validate the analytical accuracy of the milk analyzer (lactoscan®), to determine the physico-chemical content of milk from sows, using conventional laboratory methods (MCL); III) to determine the effect of the addition of prickly pear (*O. ficus-indica*) to the diet of lactating sows on milk production and quality; IV) to determine the effect of the addition of prickly pear (*O. ficus-indica*) to the diet of lactating sows on the development of the piglet during lactation and post-weaning. For the first particular objective, the information of the main investigations on this topic was used. The information collected was analyzed under the methodological approach of the *General Theory of Systems*. For the second particular objective obtained the values of lactoscan® and MCL, the statistical analysis consisted of: 1) To verify normality of the parameters studied by the statistical test of Kolmogorov-Smirnov; 2) Determine outliers; 3) Determine the Lin correlation coefficient (CC); 4) Obtain the slope and ordinate values at the origin (linear regression) and 5) Graphic analysis of Bland-Altman, to evaluate the agreement between methods. For the third particular objective, milk production was determined on days 6, 10 and 15 postpartum, as well as the percentages of lactose, protein and fat in milk on days 3, 11 and 17 of lactation. For the fourth particular objective, was a continuation of the third objective was determined at the stage of weaning: voluntary consumption of piglet food, daily gain of weight and live weight. The information generated from the third and fourth particular objective was analyzed through repeated measurements and the differences between groups using least squares means. It was found that, in terms of genetic aspects, it has been estimated that there are differences in milk production between pure breeds and their crosses, in addition to that the inheritance index ( $h^2$ ) for this trait is 0.20% which establishes effect of others Factors on milk production. The dairy production of the sow increases 0.36 kg per additional piglet-1, reaches its maximum production (12.1 kg) with 12 piglets / litter and the third delivery. There was no difference ( $P > 0.05$ ) between the averages of protein (8.3 vs 8.2), fat (6.0 vs 6.5), lactose (6.1 vs 6.2) and total solids (16.4 vs 17.9) for the methodologies established by MCL and lactoscan®, Respectively. The group did not affect the milk production ( $P > 0.05$ ) and, it was found that the peak milk production was on the 15th day of lactation: 9.1 and 8.7 kg of milk for GE and GT, respectively. Lactose ( $6.6 \pm 0.57$ ), protein ( $4.5 \pm 0.40$ ) and fat ( $7.9 \pm 1.6$ ) were not affected by the group ( $P > 0.05$ ). A group effect on piglet feed intake ( $P = 0.0038$ ) and daily weight gain ( $P = 0.0179$ ) was found, but did not affect live weight of piglets ( $P = 0.2475$ ) at the weaning stage. Feed consumption of piglets and gain was higher in piglets fed with prickly pear fed ( $P < 0.05$ ). The addition of prickly pear to the diet of lactating sows does not modify the production or the physico-chemical components (protein, lactose and fat) of the milk of the sows which guarantees the normal development of the lechon in the lactation and post-weaning.

## Introducción general

En los sistemas de producción porcina, uno de los parámetros que comúnmente se utiliza para evaluar la productividad de la piara, es el número de lechones destetados por cerda al año (Koketsu *et al.*, 2017); puesto que ésta variable, refiere la capacidad de la cerda para destetar la mayor cantidad de lechones con un peso de 6 - 8 kg lechón<sup>-1</sup> a una edad de 21 días. Y éste peso, en los lechones destetados, es un indicador determinante para el desarrollo satisfactorio durante las siguientes etapas (desarrollo y finalización) por las que tendrán que pasar (Sulabo *et al.*, 2010). Sin embargo, antes del destete, el crecimiento, desarrollo y supervivencia de los lechones durante la fase de lactancia, está determinado en gran medida, por la capacidad lechera de la cerda (Farmer y Quesnel, 2009).

Los lechones durante la fase de lactancia, específicamente durante los primeros 14 días, tienen como única fuente de alimento la leche materna, misma que los provee de: energía para el metabolismo, inmunidad y factores de crecimiento (Devillers *et al.*, 2011). Por lo que se ha establecido que gran parte de la mortalidad de lechones durante la fase de lactación es atribuible a la ingesta inadecuada de leche (cantidad y calidad). De aquí, la importancia de la producción de leche en la cerda (Declerk *et al.*, 2014).

La producción láctea de la cerda es afectada principalmente por dos factores generales, los inherentes al lechón y, los inherentes a la cerda (Foisnet *et al.*, 2011). Dentro del primer factor, se encuentran las siguientes interacciones: camada-cerda y lechón-cerda. En la primera interacción el tamaño o número de lechones por camada determinan la intensidad de amamantamiento (frecuencia), y en la segunda interacción se encuentra el efecto producido por la tenacidad del lechón para amamantarse. Aunque también debe ser considerado en la

producción de leche por parte de la cerda es la edad del propio lechón; puesto que a mayor edad del lechón éste tiende a producir un efecto mayor sobre la glándula mamaria, aun y cuando, la frecuencia de amamantamiento disminuye (Hurley, 2015). Dentro del segundo factor (inherentes a la cerda), se encuentran aspectos como el ambiente, número de parto y la alimentación, número de pezones, así como el genotipo (Gourdine *et al.*, 2006).

En lo que respecta a la alimentación, la composición de la dieta es esencial para cumplir con los requisitos de síntesis y calidad de la leche, ambos rasgos (síntesis y calidad), se ven afectados por la etapa de lactancia, es por ello, que cualquier cambio en la alimentación de la cerda lactante, afecta la producción y calidad de la leche (Theil, 2015). Rosero *et al.* (2015), determinaron que, al incrementar la cantidad de grasa en la dieta de las cerdas lactantes, se incrementa el contenido de grasa en la leche. Santos (2014), al proporcionar 1.5% de glutamina y glutamato en la dieta de las cerdas en fase de lactación, encontró incremento en el contenido de grasa en la leche. Los resultados observados por los citados investigadores, son una referencia de la modificación del contenido nutrimental de la leche por efecto de cambios en la dieta de la cerda lactantes.

Otro factor que contribuye en el cambio nutrimental de la leche de las cerdas, es el estado fisiológico por el que transita éstas; por ejemplo, el post-parto, en donde los cambios endocrinológicos asociados al parto desencadenan una serie de reacciones metabólicas que interfieren en los mecanismos hipotalámicos que regulan el apetito (Cools *et al.*, 2013) estableciéndose un fenómeno denominado hipofagia fisiológica lactacional (Pere y Etienne, 2007). Ésta condición repercute principalmente en la condición corporal de la cerda durante la fase de lactancia puesto que al inhibirse el consumo de alimento voluntario por parte de la cerda;

ésta recurre a fuentes de energía para la síntesis y liberación de la leche de sus reservas corporales (grasa principalmente) lo que provoca un ciclo vicioso en la regulación de la energía, es decir, ésta condición fisiológica provoca un balance energético negativo en las cerdas en la primera semana post-parto (Martínez *et al.*, 2013).

El modelo por el cual la ingesta de alimentos controla el balance de energía, está determinado por los circuitos neuroendocrinos del hipotálamo (Kirchner *et al.*, 2012). De ésta manera la sensación de apetito se genera a partir de la ghrelina; en condiciones fisiológicas normales, la secreción de ghrelina surge inmediatamente antes de una comida y se suprime por nutrientes entrantes después de la ingesta de alimentos en el tracto gastrointestinal; el efecto orexígeno de la ghrelina se modula específicamente a través de su receptor, que se expresa principalmente en el hipotálamo (sobre las neuronas de la POMC) (Kirchner *et al.*, 2012).

Dentro del núcleo arqueado del hipotálamo, un conjunto de neuronas activa la formación de neurotransmisores anorexígenos, generados a partir de la proteína precursora de proopiomelanocortina (POMC) y, en otro conjunto de neuronas, se secretan neuropeptidos orexígenos: Neuropeptido Y (NPY) y el péptido relacionado con argouti (AgRP). Así, los ligandos derivados de POMC son los responsables de la activación de los receptores de melanocortina (MSH), en la que, la activación o la inhibición de los receptores de MSH postsinápticos 3 (MC3) y 4 (MC4), resulta en las respuestas para lograr el equilibrio de la ingesta de alimento y el gasto energético (Biebermann *et al.*, 2012). Por lo tanto, la acción de la ghrelina es incrementar el número de sinapsis inhibitoras sobre las neuronas de POMC, e incrementar el número de sinapsis estimulantes de NPY/AgRP (Kirchner *et al.*, 2012).

AgRP es capaz de antagonizar la estimulación del MSH de MC3 y MC4 como antagonista inverso, de este modo, la AgRP promueve la ingesta de alimentos y el gasto energético. Además, las neuronas AgRP, que se expresan sólo en el núcleo arcuato, secretan NPY mismas que son proyectadas hacia las neuronas POMC (Biebermann *et al.*, 2012). El NPY ejerce su acción provocando la sensación de apetito (Chambers y Woods, 2012). Después de la ingesta, un aumento postprandial en PYY se encuentra circulante, la cual manda señales al SNC para inhibir la ingesta de alimentos. En respuesta el PYY disminuye la liberación de NPY y aumenta la liberación de melanocitos; lo que indirectamente, desinhibe las neuronas de POMC, generando la sensación de saciedad (Simpson *et al.*, 2012).

Un mecanismo extra, en la regulación del apetito, es la glucosa (Gonzales *et al.*, 2006). Se ha establecido que, si se produce hipoglucemia en un individuo, los receptores del cerebro lo detectan y desencadenan reflejos para aumentar la secreción de glucosa del hígado estimulando al mismo tiempo el consumo de alimento (Begg y Woods, 2012). Éste efecto de la glucosa se ha tomado como evidencia dentro de los factores que controlan el apetito (Begg y Woods, 2012). Además, se ha observado que un incremento de glucosa en sangre activa los mecanismos hipotalámicos provocando saciedad en el individuo dicho mecanismo ésta relacionado con las neuronas del POMC (núcleo arqueado), específicamente en los denominados canales SUR1 y Kir6.2 (Thorens, 2012).

La importancia del canal Kir6.2 en la detección de glucosa y el control glucémico se ha demostrado en ratones con Kir6.2 mutado, el cual impide el cierre del canal en respuesta al incremento de la relación ATP/ADP. Así, las neuronas de estos ratones ya no responden a altas concentraciones de glucosa en sangre, lo que genera un cuadro similar al denominado resistencia

a la glucosa (Thorens, 2012). Fenómeno éste, similar al experimentado por las cerdas inmediatamente después del parto es decir en hipofagia fisiológica lactacional.

Bajo condiciones normales, el aumento de la glucosa sanguínea es el estimulante principal de la secreción de insulina (Begg y Woods, 2012). En las cerdas lactantes, sobre todo en la primera semana post-parto la cerda experimenta una hiperglucemia y ello origina un hiperinsulinemia, ésta condición a su vez genera un estado de resistencia a la insulina (Pérez *et al.*, 2015). En el cuadro de resistencia a la insulina, la insulina estimula la secreción de leptina por los adipocitos, Así, la insulina y la leptina se sinérgisan para estimular las neuronas POMC y, en consecuencia, se liberan los melanocitos y éstos a su vez provocan la reducción de la ingesta de alimento (Cottrell y Mercer, 2012).

De acuerdo con lo párrafos anteriores, la hipofagia fisiológica lactacional genera remoción de reservas corporales tanto para producir leche como para garantizar el gasto energético de la propia cerda (Peltoniemi y Olivero, 2015). Sin embargo, el desarrollo de la cerda moderna ha tenido como consecuencia, animales con pocas reservas corporales grasas, mayor tamaño de camada y sometida a periodos de lactación cortos (21 días). Lo que aunado con hipofagia fisiológica lactacional no alcanza la recuperación de peso perdido durante la fase de lactación y ello afecta parámetros productivos (como lo es el caso de la producción láctea, menor peso de los lechones al destete) y reproductivos, tales como, incremento en el intervalo destete-estro, así como disminución en la fertilidad y prolificidad en el parto subsiguiente (Koketsu *et al.*, 2017).

Las estrategias para tratar de dar solución a la hipofagia fisiológica de la cerda, se limitan en la modificación de las dietas, procurando el consumo óptimo de nutrientes y energía para cubrir los requerimientos demandantes en la producción de leche, así como, para prevenir la pérdida

de peso corporal de la cerda (Rosero *et al.*, 2016). Así, por ejemplo, Rosero *et al.* (2012), incrementaron el contenido de grasa en la dieta con el objetivo proporcionar un mayor aporte de energía. Por su parte, Soltwedel *et al.* (2006) adicionaron a la dieta un mayor contenido de aminoácidos (lisina, valina y treonina), con objetivo de disminuir la pérdida de peso en la cerda durante la fase de lactación. Sin embargo, dichas estrategias no han dado solución al problema, debido a que son económicamente inviables o no solucionan el origen del problema, el cual es la regulación de los niveles de glucosa sanguínea.

Dentro de las alternativas para mitigar la hipofagia fisiológica lactacional de la cerda, la complementación de la dieta, de éstos animales, con nopal (*O. ficus-indica*), es una alternativa viable para disminuir los niveles de glucosa en sangre en la cerda que transitan por el cuadro de hipofagia fisiológica lactacional como consecuencia del incremento de la glucosa sanguínea post-parto (Ortiz *et al.* 2016). Así, la ingesta de nopal, por éste tipo de cerdas, provoca el efecto hipoglucémico e hipocolesterolemico cuya consecuencia es el incremento del apetito (Yoon *et al.*, 2011; Iturriga y Nazareno, 2016). Además de dichos efectos, *O. ficus-indica* posee otras cualidades que la hacen viable en la alimentación de las cerdas: disponibilidad, puesto que se puede obtener en México, en la mayor parte del país y, en cualquier época del año (Torres *et al.*, 2011); capacidad de producción de biomasa, al compararlo con forrajes convencionales; resistencia a la sequía y condiciones de aridez (Lim, 2011).

Ortiz *et al.* (2014; 2016) señalan que la ingesta de nopal por parte de las cerdas provoca en éstas un efecto hipoglucémico, puesto que observaron que los niveles de glucosa disminuyen hasta en 20 % e incrementa el consumo voluntario de alimento en cerdas lactantes hasta en 28%, ello comparado con los niveles de glucosa sanguínea y el consumo voluntario de alimento registrado

en cerdas cuya dieta no fue complementada con nopal. Aun y cuando, el nopal como parte de la dieta de las cerdas lactantes se considera como la solución a la hipofagia fisiológica post-parto, es importante investigar si el efecto hipoglucémico e hipocolesterolemico pudieran afectar la producción y composición de la leche de la cerda, y en consecuencia afectar el desarrollo de los lechones lactantes. Puesto que, Theil (2015) y otros expertos (Farmer y Quesnel, 2009; Hurley, 2015) en éste tópico establecen que un cambio en la composición de la dieta puede modificar la producción y calidad de la leche de las cerdas.

En el presente trabajo de investigación se aborda el análisis de los resultados obtenidos en la fase experimental en la cual se sometió a un grupo de cerdas a una dieta complementada con 1% de *O. ficus-indica* (con base al peso vivo de la cerda al entrar a maternidad) y en donde se observó tanto el incremento del consumo voluntario cerda<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> durante la fase de lactación sin verse comprometida la producción, calidad de la leche de las cerdas ni el peso del lechón durante el periodo de lactación (21 días).

## Hipótesis

- La adición del 1% de *O. ficus-indica* (con respecto al peso de la cerda a 109 días de gestación) a la dieta de cerdas lactantes mitiga el efecto de la hipofagia lactacional al restablecer las señales del apetito debido al efecto hipoglucémico provocado por la ingesta de nopal.
- La adición del 1% de *O. ficus-indica* (con respecto al peso de la cerda a 109 días de gestación) a la dieta de cerdas lactantes provoca mayor consumo de alimento voluntario de las cerdas en lactación (al restablecerse las señales del apetito) y ello, origina el incremento de la producción láctea; puesto que, a mayor ingesta de alimento mayor cantidad de nutrientes se canalizan hacia la síntesis de leche.
- La adición del 1% de *O. ficus-indica* (con respecto al peso de la cerda a 109 días de gestación) a la dieta de cerdas lactantes al provocar una mayor ingesta de alimento durante la fase de lactación permite canalizar más cantidad de nutrientes hacia la síntesis de leche generando un incremento del contenido de lactosa, proteína y grasa en la leche de las cerdas.
- La adición del 1% de *O. ficus-indica* (con respecto al peso de la cerda a 109 días de gestación) a la dieta de cerdas lactantes permite canalizar más cantidad de nutrientes hacia la síntesis de leche y generar mayor contenido de lactosa, proteína y grasa en éste aspecto que mejora el desarrollo del lechón durante el periodo de lactación.

### **Objetivo general**

Determinar el efecto de la adición del 1% *Opuntia ficus-indica* (con respecto al peso de la cerda a 109 días de gestación) a la dieta de cerdas lactantes sobre la producción, calidad de la leche y desarrollo del lechón.

### ***Objetivos particulares***

I.- Determinar el efecto de la adición de 1% *Opuntia ficus-indica* (con respecto al peso de la cerda a 109 días de gestación) a la dieta de cerdas lactantes sobre el consumo voluntario de alimento.

II.- Determinar el efecto de la adición de 1% *Opuntia ficus-indica* (con respecto al peso de la cerda a 109 días de gestación) a la dieta de cerdas lactantes sobre la producción láctea.

III.- Determinar el efecto de la adición de 1% *Opuntia ficus-indica* (con respecto al peso de la cerda a 109 días de gestación) a la dieta de cerdas lactantes sobre el contenido de lactosa, proteína y grasa de la leche de la cerda.

IV.- Determinar el efecto de la adición de 1% *Opuntia ficus-indica* (con respecto al peso de la cerda a 109 días de gestación) a la dieta de cerdas lactantes sobre el desarrollo del lechón durante la lactancia y post-destete.

### **Metodología general**

La investigación se llevó acabo en el sector de cerdos de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (FMVZ), perteneciente a la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), ubicada en el km 9.5 de la carretera Morelia-Zinapecuaro, municipio de Tarimbaro, Michoacán, situada a 1860 m snm, a 19° 40' 0" norte y 102° 9' 30" oeste, cuyas características climatológicas son: temperatura mínima de 2.5°C y máxima de 26.1°C; precipitación pluvial 609 mm (García, 2004).

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

**Primera Etapa**, en esta etapa se determinó el estado del arte de la producción de leche de las cerdas, por lo cual se caracterizó y modelo esquemáticamente la producción de leche de este tipo de hembras. Para ello, se utilizó la información de las principales investigaciones sobre este tópico durante el periodo 1990-2017; sin descartar, los artículos clásicos generados en la década de los 70 y 80. La información recabada se analizó bajo el enfoque metodológico de la *Teoría General de los Sistemas* (TGS); que postula que con la integración de diferentes disciplinas científicas -de una misma área o de un conjunto de ellas- se logra la solución de problemas agropecuarios de manera integral; puesto que, éste enfoque se basa principalmente en el estudio del «todo», es decir, no investiga partes aisladas de un fenómeno (o al mismo en forma aislada), sino más bien, busca explicar la interrelación con todo lo que le rodea y lo afecta (Ortiz *et al.*, 2015).

**Segunda Etapa**, para efecto de contar con una tecnología que facilitara la determinación del contenido nutricional de la leche de las cerdas, se recurrió a la validación analítica del analizador

lácteo (lactoscan®); equipo que fue diseñado para determinar las características físico-químicas de la leche de bovinos. Para dicha validación se tomó como referencia los resultados obtenidos tanto por el Lactoscan® como los obtenidos mediante el método convencional de laboratorio (AOAC, 1990). Para ello, se evaluaron 20 muestras de leche (10 ml cerda<sup>-1</sup>) obtenidas de cerdas híbridas (Yorkshire x Landrace x Pietrain). En estas muestras se evaluó: proteína, lactosa, grasa y sólidos totales muestra<sup>-1</sup>. La cantidad de cada muestra fue dividida para analizarse en el equipo lactoscan® (2 mL muestra<sup>-1</sup>) y mediante los métodos convencionales de laboratorio (8 mL muestra<sup>-1</sup>) de acuerdo con la AOAC, (1990). La concordancia entre ambos métodos se obtuvo mediante: el análisis gráfico de Bland-Altman (Bland y Altman, 1999) y con la determinación del coeficiente de correlación de concordancia (CC) de Lin (Camacho, 2008). Para dichos análisis se empleó el paquete estadístico SAS (SAS, 2010).

**Tercera Etapa**, en ésta se determinó el efecto de la adición de nopal (*Opuntia ficus-indica*) a la dieta de cerdas lactantes sobre la producción y calidad de la leche. Se monitorearon a 22 cerdas híbridas (Yorkshire x Landrace x Pietrain), próximas al parto, mismas que fueron seleccionadas al azar y con las cuales se formaron dos grupos (G): G testigo (GT) (n=11), cerdas que recibieron alimento balanceado *ad libitum* y G experimental (GE) (n=11), cerdas que recibieron en promedio 2.5 kg d<sup>-1</sup> de nopal cerda<sup>-1</sup> más alimento balanceado *ad libitum* durante 21 días de lactación. La adición del 1% de nopal al alimento se realizó en función del peso corporal de la cerda cinco días antes del parto. Las variables evaluadas fueron: producción láctea en los días 6, 10 y 15 postparto, así como los porcentajes de: lactosa, proteína y grasa en leche en los días 3, 11 y 17 de lactación. La información recabada se analizó mediante la metodología

de mediciones repetidas y las diferencias entre grupos se obtuvieron a través de medias de mínimos cuadrados.

**Cuarta Etapa**, en dicha etapa, se determinó el efecto de la dieta para cerdas lactantes complementada con nopal (*Opuntia ficus-indica*) sobre la producción y calidad de la leche con énfasis en el desarrollo del lechón tanto durante el periodo de lactancia como en la fase de 6-20 kg (fase de destete). Esta etapa es una continuación de la Tercera etapa, por lo que el diseño experimenta es el mismo durante la fase de lactancia. En ésta fase se midió, el desarrollo del lechón y para ello, se monitorearon 176 lechones en fase de lactación (ocho lechones cerda<sup>-1</sup>). Mientras que para la fase de destete se seleccionaron al azar a 70 lechones (5.3 kg lechón<sup>-1</sup>), mismos que se dividieron en dos grupos (n=35) de acuerdo al grupo al cual pertenecían sus madres: grupo testigo, lechones provenientes de madres que no consumieron nopal como parte de su dieta (LGT) y, grupo experimental: lechones provenientes de madres que consumieron nopal como parte de su dieta (LGE). En ésta etapa se evaluó: peso vivo del lechón lactante al nacimiento, a 7, 14 y 21 días de edad y en la fase de destete, al inicio y al final de dicha fase. Además, se evaluó el consumo voluntario de alimento del lechón, ganancia diaria de peso y peso vivo tanto en fase de lactancia como en la fase destete. La información se analizó a través de mediciones repetidas y las diferencias entre grupos mediante medias de mínimos cuadrados.

## Bibliografía

- Begg, D.P., and Woods, S.C. (2012). The central insulin system and energy balance. In *Appetite Control* (pp. 111-129). *Springer*.
- Biebermann, H., Kühnen, P., Kleinau, G., y Krude, H. (2012). The Neuroendocrine Circuitry Controlled by POMC, MSH and AGRP. In *Appetite Control* (pp. 47-75). *Springer*.
- Bland, J.M. y Altman, D.G. (1999). Measuring agreement in method comparison studies. *Statistical Methods in Medical Research*. 8: 135-160.
- Chambers, A.P., and Woods, S.C. (2012). The role of neuropeptide Y in energy homeostasis. In *Appetite control* (pp. 23-45). *Springer*.
- Cools, A., Maes, D., Decaluwé, R., Buyse, J., Van kempen, T.A., Janssens, G.P. (2013). Peri-partum changes inorexigenic and anorexigenic hormones in relation to back fat thick-ness and feedind strategy of sows. *Domestic animal Endocrinology* 45: 22-27
- Cottrell, E.C., and Mercer, J.G. (2012). Leptin receptors. In *Appetite Control* (pp. 3-21). *Springer*.
- Declerk, I., Dewulf, J., Piepers, S., Decaluwe, R. and Maes, D. (2015) Sow and litter factors influencing colostrum yield and nutritional composition. *J. Anim. Sci.* 93: 1309-1317.
- Devillers N., Le Dividich, J., Prunier, A. (2011). Influence of colostrum intake on piglet sur-vival and immunity. *Animal* 5: 1605 – 1612.
- Farmer, C. y Quesnel, H. (2009). Nutritional, hormonal, and enviromental effects on colostrum in sow. *J.Anim.Sci.* 87(13): 56-64.
- Foisnet, A., Farmer, C., David, C., y Quesnel, H. (2011) Farrowing induction induces transient alterations in prolactin concentrations and colostrum composition in primiparous sows *J. Anim. Sci.* 89:3048–3059.
- González, M.E.H., Ambrosio, K.G.M., y Sánchez, S.E. (2006). Regulación neuroendócrina del hambre, la saciedad y mantenimiento del balance energético. *Artemisa* 8(3): 191-200
- Gourdine, J.K., Bidanel, J.P., Noblet, J. and Renaudeau, D. (2006) Effects of breed and season on performance of lactating sows in a tropical humid climate. *J. Anim. Sci.* 84: 360-369.

- Hurley W.L (2015). The gestating and lactating sow Chapter 9: Composition of sow colostrum. *Wageningen Academic Publishers*
- Iturriaga, L., & Nazareno, M. (2016). Functional Components and Medicinal Properties of Cactus Products. In *Functional Properties of Traditional Foods* (pp. 251-269). *Springer*.
- Kirchner, H., Heppner, K.M., and Tschöp, M.H. (2012). The role of ghrelin in the control of energy balance. In *Appetite Control* (pp. 161-184). *Springer*.
- Koketsu, Y., Tani, S. and Lida, T. (2017) Factors for improving reproductive performance of sows and herd productivity in commercial breeding herds. *Porcine Health Management*. 3: 1-10.
- Lim, T.K. (2012) *Opuntia ficus-indica* in Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants (pp. 660-682). *Springer*.
- Matínez, S., Valera, L., Villodre, C., Madrid, J., Orengo, J., Tvaeijonaviciute, A., Cerrón, J.J., Hernández, F. (2014) Effect of feeding on hormones related with feed intake in reproductive sows with different energy balances. *Can. J. Anim. Sci.* 94: 639646
- Ortiz, R.R., Pérez, R.R.S., Juárez, A.C., y Gómez, B.R. (2015). Teoría de Sistemas en la Producción Animal. *Coordinación de la Investigación Científica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*. Primera edición. Morelia, Michoacán México.
- Ortiz-Rodríguez R., Ordaz-Ochoa G., Andrade-Hernández E.O., Saucedo P.A y Pérez-Sánchez 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. XIII Simposium-Taller nacional y 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., Ordaz-Ochoa, G., Juárez-Caratachea, A., Pérez-Sánchez, R.E. (2016). Efecto del nopal (*Opuntia ficus-indica*) sobre niveles de glucosa sanguínea en cerdas lactantes y su repercusión en el consumo voluntario de alimento. XXIV congreso de la asociación latinoamericana de producción animal y XL congreso de la sociedad chilena de reproducción animal Sochipa. A.G. Que se llevó a cabo del 9 al 13 de noviembre en Puerto Varas Chile.

- Peltoniemi, O.A.T. y Olivero, C. (2015). Chapter 10: Housing, management and environment during farrowing and early lactation. In *The gestating and lactating sow. Wageningen Academic Publishers.*
- Pére, M.C., Etienne, M. (2007). Insulin sensitivity during pregnancy, lactation, and postweaning in primiparous gilts. *J. Anim. Sci.* 85(1): 101-109.
- Pérez, S.R.E., Ordaz, O.G., Juárez, C.A., García, V.A., Ortiz, R.R. (2015). Efecto del número de parto sobre el consumo 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.
- Rosero, D.S., Dean, R.B., Odle, J., and Van Heugten, E. (2016) Optimizing dietary lipid use to improve essential fatty acid status and reproductive performance of the modern lactating sow: a review. *Journal of Animal Science and Biotechnology.* 7: 1-18.
- Rosero, D.S., Mendoza, S.M., Boyd, R.D., Fellner, V. and Van Heugten, E. (2015) Impact of dietary lipids on sow milk composition and balance of essential fatty acids during lactation in prolific sows. *J. Anim. Sci.* 93: 2935-2947.
- Rosero, D.S., Van Heugten, E., Arellano, C. and Boyd, R.D. (2012) Response of the modern lactating sow and progeny to source and level of supplemental dietary fat during high ambient temperatures. *J. Anim. Sci.* 90: 2609-2619.
- Santos, R.A., Dutra, W.M.J., Manso, H.E.C.C., Manso, H.C.F., Kutschenko, M., Nogueira, E.T. and Watford, M. (2014). Glutamine and glutamate (AminoGut) supplementation influences sow colostrum and mature milk composition. *Livestock Science.* 169: 112-117.
- SAS: Statistical Analysis System Institute. Guide for personal computers. Version 8. (2010).
- Simpson, K., Parker, J., Plumer, J., and Bloom, S. (2012). CCK, PYY and PP: the control of energy balance. In *Appetite Control* (pp. 209-230). *Springer.*
- Soltwedel, K.T., Easter, R.A. and Pettigrew J.E. (2006) Evaluation of the order of limitation of lysine, threonine, and valine, as determined by plasma urea nitrogen, in corn-soybean meal diets of lactating sows with high body weight loss. *J. Anim. Sci.* 84: 1734-1741.

“EFECTO DE LA ADICIÓN DE NOPAL (*O. ficus-indica*) EN LA DIETA DE CERDAS LACTANTES SOBRE LA PRODUCCIÓN, CALIDAD DE LA LECHE Y DESARROLLO DEL LECHÓN”

- Sulabo, R.C., Tokach, M.D., Dritz, S.S., Goodband, R.D., De rouchey, J.M., and Nelssen, J.L. (2010). Effects of varyin creep fedind duration on the proportion of pigs consuming creep feed and neonatal pig performance. *J. Anim. Sci.* 88: 3154-3162.
- Theil, P.K. (2015). Transition feeding of sows in The gestating and lactating sow. *Wageningen Academic Publishers.* 147-172.
- Thorens, B. (2012). Sensing of glucose in the brain. In *Appetite Control* (pp. 277-294). *Springer.*
- Torres, A.S., Composición química del nopal y sus implicaciones en la nutrición de rumiantes (experiencias de brasil). *RESPYN.* 5: 143-151.
- Yoon, J.A., Sung, L.J., Han, K.K., and Toung, S.S. (2011) Ameliorating Effects of a Nopal (*Opuntia ficus-indica*) Complex on Blood Glucose in db/db Mice. *Food Sci. Biotechnol.* 20: 255-259.
- Camacho, J. 2008 Coeficiente de concordancia para variables continuas. *AMC.* 50(4).

## ARTICULO 1

### CARACTERIZACIÓN Y MODELACIÓN ESQUEMÁTICA DE LA PRODUCCIÓN DE LECHE DE LAS CERDAS.

#### Resumen

El objetivo fue integrar los conocimientos sobre factores genéticos y ambientales que inciden en la producción de láctea de la cerda y su efecto en la supervivencia y crecimiento de la camada. Para ello, se utilizó la información de las principales investigaciones sobre este tópico durante el periodo 1990-2017; sin descartar, los artículos clásicos generados en la década de los 70 y 80. La información recabada se analizó bajo el enfoque metodológico de la *Teoría General de los Sistemas* (TGS); puesto que, dicho enfoque se basa principalmente en el estudio del «todo» e intenta explicar la interrelación con todo lo que le rodea y lo afecta. Las investigaciones sugieren que el crecimiento y supervivencia del lechón durante la fase de lactancia está supeditado por la producción láctea; debido a que la leche es el principal alimento de los lechones. En cuanto a los aspectos genéticos, se ha estimado que existen diferencias en producción láctea entre razas puras y sus cruza. Además, el índice de herencia ( $h^2$ ) para este rasgo es de 0.20%. Aspecto que determina, que en la producción de leche están implícitos otros factores, tales como, los inherentes a la cerda (número de parto, estado metabólico, número de pezones, tamaño de camada, entre otros más) y los ambientales. De manera general, la producción láctea de la cerda incrementa  $0.36 \text{ kg lechón}^{-1}$  -a partir de un tamaño de camada de 8 lechones- durante la fase de lactancia. Bajo esta condición, una cerda que amanta a una camada de 12 lechones puede producir 12.1 kg en el pico de producción (día 17 post-parto). No obstante, si se compara la producción láctea de la cerda registrada en 1930, ésta era de  $3.0 \text{ kg día}^{-1}$  vs  $7.7 \text{ kg día}$  en 2012, aun y cuando se sugiere que el potencial genético puede ser de  $11.0 \text{ kg día}$ . Sin embargo, el potencial genético para producir leche está limitado por una serie de factores ambientales que deben ser conocidos para poder controlarlos y evitar, en lo posible, una ineficiencia productiva de la cerda (lechones con  $<5.0 \text{ kg}$  al destete) ligada a la producción láctea.

**Palabras clave:** Teoría general de sistemas, lactancia, lechón, revisión.

## Introducción

En los sistemas de producción porcina, alguno de los aspectos por los cuales se tienen pérdidas económicas es el periodo del nacimiento de los cerdos a la finalización (90-100 kg de peso vivo), tiempo que no debe superar 150 días (Zindove *et al.*, 2013; Novotni *et al.*, 2015). Se sugiere que para que los cerdos alcancen los días y peso al mercado (finalización) dentro de los parámetros de eficiencia, el peso de los lechones pre-destete es una condicionante para lograr la eficiencia durante las etapas de desarrollo (20-50 kg) y finalización (50-100 kg); así, el bajo peso al destete de los lechones impacta negativamente el logro de la meta para llevarlos a 90-100 kg en 150 días (Sulabo *et al.*, 2010) y, por cada día de incremento para lograr el peso al mercado le cuesta al productor \$1.2 dólares<sup>1</sup> en promedio (Ruco y Muños 2006).

El periodo de lactancia y la calidad de la misma son elementos esenciales para el desarrollo del lechón, pero sobre todo para lograr un adecuado peso al finalizar la fase de lactancia. Es decir, los lechones durante dicha fase, depende de la disponibilidad de nutrientes aportados por la leche materna, única fuente de alimentación durante ésta etapa (Vadmand *et al.*, 2015; Novotni *et al.*, 2015); debido a que, el lechón nace con pocas reservas corporales (grasa) y un deficiente sistema inmune. Por ello, la leche les proporciona la energía requerida para su termorregulación, metabolismo e inmunidad. Además, su tracto gastrointestinal aún no está bien desarrollado y esto lo condiciona, hasta cierto punto, a depender de la leche materna (Farmer y Quesnel, 2009; Devillers *et al.*, 2011).

---

<sup>1</sup> Cotización del dólar (USD) en el Banco México: 1:20 (dólares USD: pesos mexicanos)

Los lechones lactantes, al depender de la leche materna, sí exponen a una deficiente cantidad y calidad de la leche durante los primeros 4 días de vida, pueden no solo retardar su crecimiento, sino que incluso eso puede ocasionar la muerte al 50% de los lechones de la camada (Papadopoulus *et al*, 2010). No obstante, bajo condiciones normales de alojamiento y nutrición, la cerda es capaz de sintetizar la cantidad y calidad de la leche para satisfacer los requerimientos nutricionales de su camada. No obstante, se ha establecido que, la cantidad, así como la calidad nutricional de la leche de las cerdas está supeditada por diferentes factores (King, 2000): los inherentes al lechón y los inherentes a la cerda (Farmer y Quesnel, 2009).

En lo que respecta a los factores que predisponen a la producción de leche y que son inherentes al lechón, se encuentran: la intensidad de amamantamiento, concepto que involucra al tamaño de la camada, edad y peso de los lechones y, dependiendo de éstos, la producción láctea puede incrementarse (Hurley, 2001). Mientras que, los factores que determinan la cantidad y calidad de la leche y que son inherentes a la cerda, se consideran la edad de la cerda (medida en número de partos), estado fisiológico, ambiente; así como, el genotipo de la cerda (Marshall *et al.*, 2006). Por ello, el objetivo de este trabajo fue hacer una revisión bibliográfica sobre éste tópico: factores que inciden en la producción de leche de la cerda y su efecto en la supervivencia y crecimiento de la camada.

### **Enfoque metodológico**

Para efectos de la caracterización y modelación esquemática de la producción de leche de las cerdas, se utilizó la información de las principales investigaciones sobre este tópico durante el periodo 1990-2017, así como el uso de artículos clásicos generados en la década de los 70 y 80. La información recabada fue analizada bajo el enfoque metodológico de la *Teoría General de*

*los Sistemas* (TGS) (Ortiz *et al.*, 2015 ); que postula que con la integración de diferentes disciplinas científicas de una misma área o de un conjunto de ellas se logra la solución de problemas agropecuarios de manera integral; puesto que este enfoque, se basa principalmente en el estudio del «*todo*», es decir, no investiga partes aisladas de un fenómeno (o al mismo en forma aislada), sino más bien, busca explicar la interrelación con todo lo que le rodea y lo afecta (Bertalanffy, 1976). El concepto de sistema de manera sintética 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 y tiene una delimitación específica que considera a todos los mecanismos de retroalimentación participantes (Spedding, 1988; Ortiz y Ortega, 2001).

Los sistemas de producción animal están compuestos de manera general por tres elementos: el hombre, el animal y la tecnología (Van Gigch, 1998). Aspecto que debe ser considerado al analizar o caracterizar a un sistema; sin embargo, para efectos de este trabajo se consideró el componente tecnológico tomando en cuenta las directrices señaladas por Gilbert *et al.* (1980) en el sentido de que se considera que sistemas de producción de esta naturaleza pueden ser determinados por un elemento técnico, que puede estar presente en dos ámbitos: el físico (asociado a las alternativas que se utilizan para modificar el medio ambiente) y el biológico (asociado con el conocimiento generado para controlar los ciclos biológicos). Desde el punto de vista tecnológico y bajo el enfoque metodológico de la TGS, los sistemas de producción animal no son capaces de tener vida propia, autorregulada e independiente del hombre (Lushmann, 1990). Ello implica que de acuerdo al control y manipulación de los eventos biológicos del animal, por parte del hombre, a través de la tecnología se puedan encontrar, de

forma general, las siguientes categorías: I) sistema de producción *ideal*: el hombre manipula y controla los 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 transformarlo 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 (Juárez *et al.*, 2008).

Es posible que la mayoría de los sistemas de producción de cerdos en México se encuentren en las categorías II (sistema ordinario) y III (sistema en paralelo), tomando estas consideraciones, se caracterizó y modeló (esquemáticamente) la producción de leche de las cerdas bajo dos modelos de organización, previo análisis de la información. Wadsworth (1997), establece que la “modelación” es especialmente importante porque de esta manera es posible desarrollar una representación del sistema con cierto grado de precisión, pero sin pretender una réplica de lo que existe en la realidad.

El modelo gráfico es un instrumento común en el estudio de sistemas de producción pecuaria, puesto que tiene ventajas que permiten obviar extensas explicaciones, ya que todos los rasgos están expuestos y la estructura y contenido del modelo son percibidos con claridad. De aquí que el primer modelo esquemático que se realizó, en torno a la caracterización, la producción de leche de las cerdas contiene un enfoque “suave”, en donde se obtienen los factores atribuibles y no atribuibles a la cerda. Mismos que pueden condicionar el funcionamiento del sistema “producción láctea de la cerda”; en el segundo modelo se consideró un enfoque con mayor formalidad puesto que la información recabada fue analizada considerando los criterios de Goodall (1976): i) homogeneidad interna con respecto a una propiedad del sistema; ii)

interdependencia relativa de los componentes del sistema y, iii) disciplinas afines como base para descomponer el sistema. Todo ello para desarrollar la síntesis total o caracterizar el sistema, eliminando en lo posible las inconsistencias que sesgan la percepción de la realidad.

### **Modelo esquemático de los factores inherentes al lechón e inherentes a la cerda en la producción láctea**

**Contexto.** El consumo alimentos de origen animal, a nivel mundial, de acuerdo con Errecart *et al.* (2013), aumentó en más de 100 millones de t, pasando de 149,450 millones de t a más de 252 mil millones de t, entre 1993-2013; en la que, el 43.41% de éste total, correspondió a la carne de cerdo: 109,450 millones de t, cifra que posiciona a la carne de cerdo como la carne de mayor consumo mundial. Aspecto que se ha mantenido, puesto que, en los últimos 10 años, éste sector presentó una tasa de crecimiento media anual de 1.8%; lo que significó un aumento del consumo de 93.5 millones de t en 2005 a 110.3 millones en 2014 (FIRA, 2015). Sin embargo, más del 80% de la producción mundial se concentró principalmente en tres regiones: China (56.7 millones de t); la Unión Europea (22.4 millones de t) y los Estados Unidos (10.4 millones de t) (Boari *et al.*, 2013). Este contexto determina en gran medida la maximización productiva de la especie, puesto que el control y manipulación de cada uno de los eventos biológicos reproductivos y productivos típicos del cerdo estará supeditada por el conocimiento sobre estos mismos eventos biológicos (Ortiz y Ortega 2001).

Ante el crecimiento de la producción de carne de cerdo, soportado por la demanda de éste tipo de carne, optimizar el ciclo productivo es la estrategia a seguir. Puesto que, el objetivo de la piara reproductiva es: destetar la mayor cantidad de lechones cerda<sup>-1</sup> parto<sup>-1</sup> (Quiles 2010;

García et al. 2008). Por lo que, un evento biológico a controlar y manipular es la producción de leche de la cerda (Figura 1), si se quiere incrementar el número de lechones destetados cerda<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>; puesto que, la leche materna es vital en la supervivencia y crecimiento del lechón (Papadopoulus *et al.*, 2010).

**Componente Humano.** La visión que los productores tienen sobre la producción láctea, no les permite diferenciar con objetividad entre los factores que minimizan o potencializan la producción láctea atribuibles a la cerda y los que no son imputables a ella (Figura 1). Ante esta situación, es común que la supervivencia y crecimiento de la camada sea atribuible únicamente a la cerda, sin considerar la producción láctea y los factores que pueden modificar a la misma. Con respecto a esto, Ortiz y Ortega (2001) establecen que toda alteración por pequeña que ésta sea, se propaga a todo el sistema de forma ondulatoria, aumentando el tamaño de onda conforme se propaga. La dificultad con ésta manifestación es que se ataca el efecto del problema y no al problema mismo, cuyo origen es casi imperceptible dadas sus características de baja intensidad. De acuerdo con esta premisa, es importante considerar los aspectos que determinan o modifican la producción de leche de las cerdas, cuyo resultado final se verá reflejado en la supervivencia y crecimiento de la camada pre-destete (Figura 2).

**Componente Animal.** La producción láctea por parte de la cerda es esencial para el desarrollo adecuado del lechón, debido a que éste nace con pocas reservas corporales grasas y deficiente sistema inmune, este nutriente le proporciona la energía, para que pueda generar su termorregulación, metabolismo e inmunidad; así como desarrollo del tracto gastrointestinal (Devillers *et al.*, 2011; Farmer y Quesnel, 2009). Una deficiente producción en la cantidad y calidad de la leche durante los primeros 4 días de vida del lechón representa una mortalidad del

50%, ocasionada por la ingesta inadecuada de éste nutriente (Papadopoulus *et al.*, 2010). No obstante, la producción láctea de la cerda, se ve afectada por dos factores generales: inherentes al lechón y, los inherentes a la cerda (Hurley, 2001; Marshall *et al.*, 2006). Sin embargo, antes de describir dichos factores, que modifican la producción y calidad de leche de la cerda, se requiere establecer el comportamiento de la producción y calidad de la leche en esta especie.

### **Composición y producción de leche de la cerda.**

La leche de las cerdas, de manera general, tiene una composición físico-química como sigue: 80% humedad y 20% sólidos totales, dentro de los cuales el 7% es grasa, 5% es proteína, y 5% es lactosa; contenido nutricional de la leche regulado por las hormonas lactogénicas, principalmente por prolactina, la cual provoca: a) el inicio de la lactación al promover el desarrollo alveolar así como la lactogénesis (Horigan *et al.*, 2009; Rowson *et al.*, 2012); b) el mantenimiento de la lactación y; c) regula la síntesis y absorción tanto de proteínas como glucosa en la glándula mamaria, para formar los componentes nutricionales de la leche, tales como, grasa, lactosa y proteína (Farmer *et al.*, 2008; Yun *et al.*, 2014).

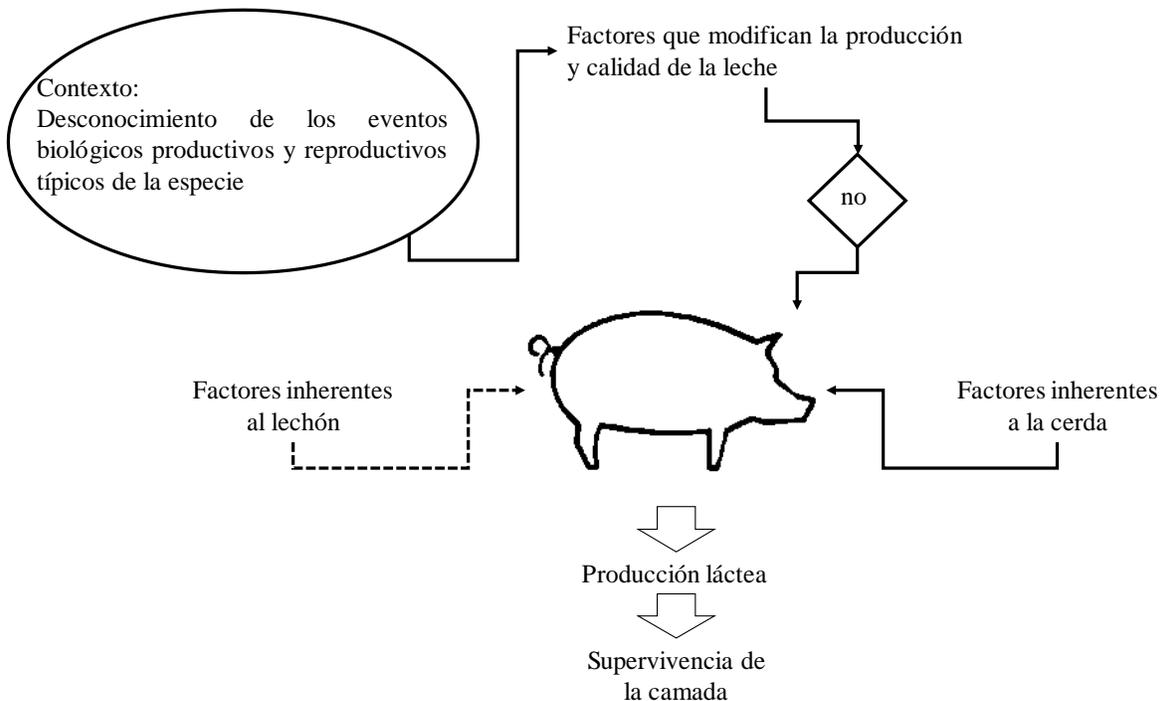
Perrin, (1955) estableció que el comportamiento en el contenido nutricional de la leche cambia, conforme transcurre el periodo de lactación. Por ello, en las primeras 24 h post-parto la secreción de la glándula mamaria de la cerda (o de cualquier mamífero) se denomina calostro; de 34 h al 4<sup>to</sup> día pos-parto la secreción de la glándula mamaria se le conoce como leche de transición; Del 4<sup>to</sup> día hasta el final de la lactación es denominada leche madura (Theil *et al.*, 2014).

En cuanto a la composición del calostro, éste es de 24 a 30% de sólidos totales, 5 a 7% de grasa, 2 a 3% de lactosa y 15 a 19% de proteínas; siendo éste último compuesto la principal

característica del calostro. Puesto que en ésta secreción el 80% de la proteína son inmunoglobulinas (95.6 mg de igG/ml, 21.2 mg de igA/ml y 9.1 mg igM/ml) y sus niveles disminuyen a la mitad en las primeras 12 h postparto (Foisnet *et al.*, 2010), sin embargo el calostro no sólo contiene nutrimentos, además de ello, contiene principios bioactivos que le proporcionan a lechón protección contra infecciones y/o modular su metabolismo y crecimiento, entre los que se encuentran: hormonas (progesterona, estradiol, somatotropina y prolactina); factores de crecimiento similar a insulina (IGF-I e IGF-II); varios tipos de células (neutrófilos, linfocitos, macrófagos, eosinófilos y células epiteliales) (Farmer *et al.*, 2006).

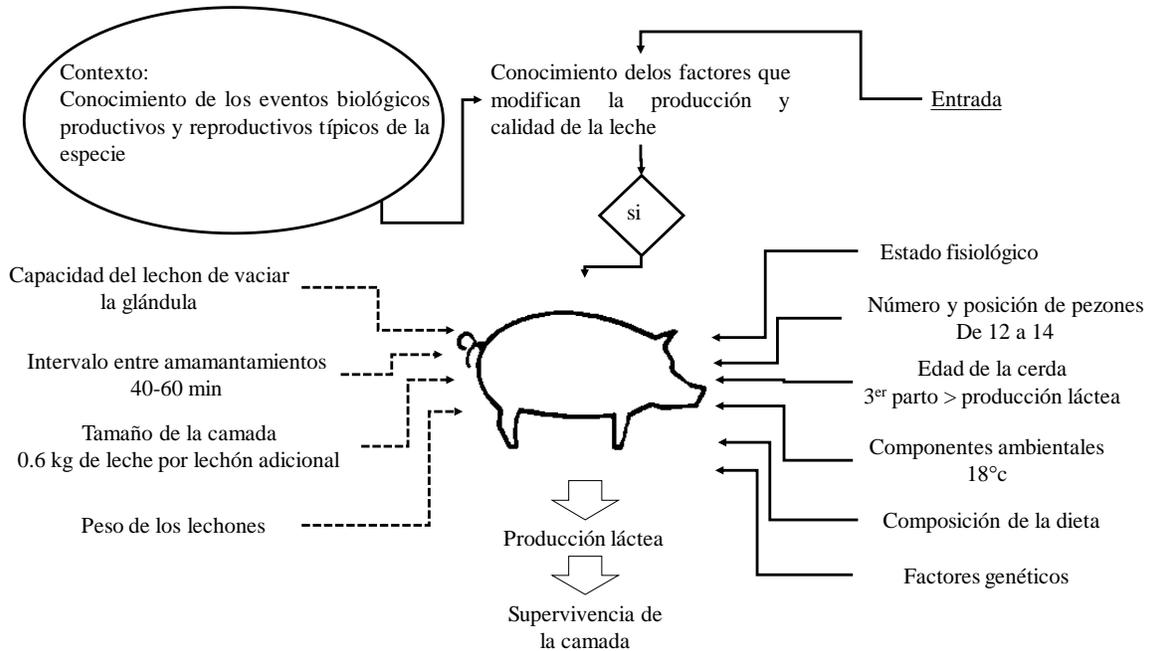
En cuanto a la leche de transición, ésta difiere del calostro principalmente en el contenido de la leche, en donde se observa cambios en los compuestos nutricionales; en ésta transición, el contenido de proteína, antes de 72 h de iniciada la lactación, se encuentra en su nivel más alto (13-19%), debido al mayor contenido de inmunoglobulinas que posee el calostro. Posterior a 72 h, la proteína en la leche de las cerdas disminuye hasta en más del 50%, encontrándose en un rango de 4.6 a 9.9%. Comportamiento opuesto a la dinámica de síntesis de grasa: de 5 a 7 % en calostro a 13% en éste periodo (transición)(Hurley, 2015); porcentaje que se mantiene hasta el 7<sup>mo</sup> día. Mientras que los cambios en lactosa son menores, si se comparan con los ocurridos con la proteína y grasa en leche, entre los periodos de calostro a transición. Hansen *et al.* (2012) encontró que en el 3<sup>er</sup> día de lactación es donde se encuentra el mayor contenido de éste carbohidrato: 3.8 a 5.3%. Finalmente, los contenidos nutricionales de la leche madura, Babicz *et al.*, (2011) establecen que en éste periodo dichos contenidos permanecen constantes: lactosa, ésta se encuentra entre 5.1 a 5.3%, 7.0 a 7.6% de grasa y, la proteína se encuentra entre 5.0 a 5.4%.

En cuanto a la cantidad de leche de acuerdo a su clasificación (calostro, transición o madura), se ha demostrado que la cantidad de leche fluctúa de acuerdo al individuo al genotipo y a las condiciones ambientales. No obstante, y de manera general, la cantidad de calostro producido oscila entre 1.9 y 5.3 kg con un promedio de 3.6 kg. La producción de leche de transición se encuentra dentro de un rango entre 4.6 y 9.6 kg con un promedio de 8 kg (Farmer *et al.* 2009). Mientras que la cantidad de leche madura puede encontrarse hasta 10 o más kg de leche cerda<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> (Kim *et al.*, 2013).



**Figura 1.** Formulación esquemática “suave” del sistema biológico en la producción láctea de las cerdas

*“EFECTO DE LA ADICIÓN DE NOPAL (O. ficus-indica) EN LA DIETA DE CERDAS LACTANTES SOBRE LA PRODUCCIÓN, CALIDAD DE LA LECHE Y DESARROLLO DEL LECHÓN”*



**Figura 2.** Reformulación esquemática del sistema biológico en la producción láctea de las cerdas

**Factores inherentes al lechón**

La demanda de leche por parte del lechón, se relacionada con el estímulo que el lechón genera, a través del estímulo desde el sistema nervioso periférico a el sistema nervioso central, el cual puede ser resumido en masaje pre y post succión (Hurley, 2001). En lo referente al masaje de la ubre, éste estimula la secreción de oxitocina y prolactina, la primera estimula la liberación de la secreción de la glándula mamaria (Algers y Uvnäs, 2007), mientras que la segunda estimula el crecimiento de la glándula e interviene en la captación de nutrientes para la formación de los componentes de la leche (Theil *et al.* 2006; Algers y Uvnäs, 2007).

Adicional a los estímulos antes referidos y a la capacidad de los lechones para remover la leche de la glándula mamaria, en los cerdos, el rendimiento de la leche también se afecta por el

fenómeno denominado intensidad de amamantamiento; el cual que involucra varias interacciones entre la camada y el lechón, en las que se incluyen: la frecuencia del amamantamiento, tamaño de la camada, edad y peso de los lechones (Hurley, 2015).

### ***Frecuencia de amamantamiento***

La frecuencia de amansamiento refiriere al número de veces que el lechon es amantado durante el día. En este sentido, la cerda alimenta a sus lechones en intervalos de 1.5 h en promedio (Beltran *et al.* 2011); intervalo en el que la mayoría de los autores coinciden, puesto que el rango entre cada amansamiento se encuentra entre 21 a 92 minutos (Ellendorff *et al.* 1982; Wechsler y Brodmann, 1996), No obstante, existen investigadores (Rushen *et al.*, 1993) que reportan un rango de 40 a 60 minutos entre cada amansamiento. De acuerdo con éstas observaciones, el intervalo de tiempo entre un amamantamiento y el siguiente, puede deberse, al tiempo en que tarda la glándula mamaria en volverse a llenar después de amantar a la camada ( $\leq 35$  minutos) (Hurley, 2001).

Un aspecto que debe tomarse en cuenta, al momento de intentar explicar la intensidad de amansamiento, es la edad del lechón lactante; pues ésta variable, modifica el intervalo entre cada amansamiento: a mayor edad del lechon, la frecuencia del amamantamiento disminuye. Hartman *et al.* (1962) observaron que el intervalo entre amansamientos se incrementa de 43.5 a 50.4 minutos (7 y 14 días de nacido el lechon); de 50.4 a 52.0 minutos cuando el lechon transita de los 14 a los 21 días de edad y, de 52.0 a 54.9 minutos cuando el lechon tiene de 21 a 28 días de dad. No obstante, Hernández (2014) difiere con este comportamiento, puesto que él midió el tiempo de los intervalos de amansamiento dentro de cada semana de lactación (Tabla 1) y no encuentro diferencias entre éstas ( $P > 0.05$ ).

Posiblemente, esta discrepancia en torno al intervalo de tiempo entre amansamientos, citados en el párrafo anterior, se deba a la brecha del tiempo (1962-2014) y en el que el mejoramiento genético de ésta variable en las cerdas actuales no presente tanta variabilidad. Auld *et al.* (2000) lo demostró, al medir el intervalo de éstas durante la lactación temprana (9<sup>no</sup> día de lactación) y lactación tardía (23<sup>vo</sup> día de lactación) en cerdas con un tamaño de camadas de 6 y 12 lechones, en la que no se encontró diferencia entre los promedios de dichos tiempos: 44.9 y 43.5 min. respectivamente, en la lactación temprana y 47.6 y 51.2 min. en el mismo orden de tamaño de camadas para la lactación tardía, sin embargo, el tamaño de camada tiene efecto sobre la producción láctea.

**Tabla 1.** Intervalo y duración del amamantamiento por semanas (Hernández, 2014).

Parámetro de amamantamiento	Semanas de lactancia			
	1 <sup>era</sup>	2 <sup>da</sup>	3 <sup>era</sup>	4 <sup>ta</sup>
Intervalo (min.)	51.5	50.8	51.5	55.7
Duración (min.)	10	9.8	8.3	8.5

Aun y cuando, la evidencia demuestra que de manera “natural” el intervalo entre amamantamientos no es diferente, éste tiene un efecto sobre la producción láctea. Spinka *et al.* (1997) observaron que, los lechones con el intervalo 35 minutos entre un amansamiento y otro, consumieron 27% más leche y obtuvieron 44% mayor ganancia de peso, ello comparado con los lechones sometidos a un intervalo de amansamiento de 70 minutos.

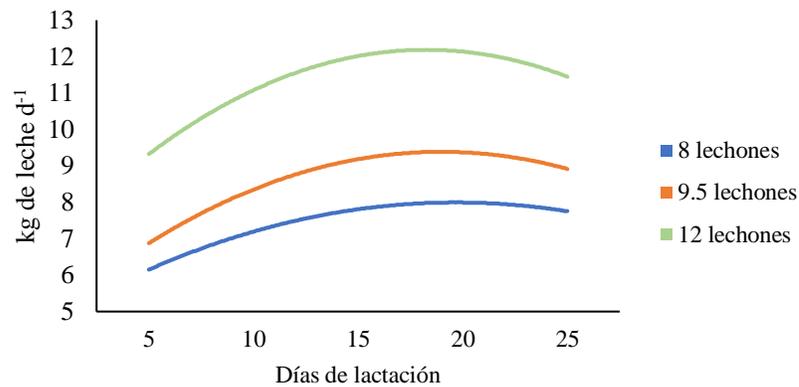
### ***Tamaño de la camada***

El tamaño de la camada de las cerdas se ha incrementado gracias a la aplicación, principalmente, de las herramientas de la genética y nutrición en las últimas décadas (Kim *et al.*, 2013) y, ello, ha sometido a éstas hembras a una mayor presión al monto de amantar a un mayor número de

lechones por camada (King, 2000). No obstante, Quesnel *et al.* (2012) observaron mayor tasa de crecimiento de los lechones, cuando estos pertenecían a una camada numerosa (13 lechones), en comparación con el desarrollo de los lechones de camadas pequeñas (7 lechones).

El comportamiento referido en el párrafo anterior, se ha explicado a través del incremento de glándulas mamarias funcionales, provocado (indirectamente) por el tamaño de la camada; incremento que afecta positivamente el rendimiento de la producción de leche: 50% más, cuando el tamaño de la camada cambia de 6 a 12 lechones (Quesnel *et al.* 2012; Kim *et al.*, 2013). De acuerdo con éstas observaciones se pudo establecer que, la producción láctea se incrementa linealmente conforme se incrementa el número de lechones por camada: 0.6 kg de leche por día por cada lechón adicional en la camada (Farmer y Quesnel, 2009).

Hansen *et al.* (2012), caracterizaron la curva de la producción láctea de la cerda y propusieron que, la producción láctea se incrementa conforme el número de lechones por camada es mayor. Además, logran establecer que el pico de lactancia se encuentra en 12.1, 9.26 y 7.9 kg de leche, cuando la cerda amanta a 12, 9.5 y 8 lechones por camada, respectivamente (Figura 3). En cuanto al componente físico-químico de la leche, estos investigadores demostraron que, tanto el contenido de lactosa como el de proteína en leche aumentan linealmente cuando el tamaño de camada se modifica de 8 a 14 lechones (Voilqué *et al.*, 2012).



**Figura 3.** Producción láctea de las cerdas de acuerdo con el tamaño de camada de 12, 9.5 y 8 lechones durante la fase de lactación (Hansen *et al.*, 2012)

### ***Peso de los lechones***

En lo referente al peso del lechón (altamente relacionado con la edad del mismo) y su efecto en la producción de leche, King *et al.* (1997), establecieron la estrecha relación entre el peso al nacimiento-consumo de leche- crecimiento. Ello debido a que, los lechones más pesados son más eficientes en el estímulo y vaciamiento de la glándula mamaria; provocando en la cerda, la necesidad de una mayor síntesis de leche, ello en comparación con el menor estímulo y vaciamiento de la glándula mamaria efectuados por los lechones más ligeros: Este hallazgo se logró cuando: colocaron camadas de cerdos, de dos semanas de edad, a cerdas recién paridas, el estímulo fue tal, que la leche se incrementó en 26% en la primera semana. Por el contrario, cuando utilizaron lechones recién nacidos, para que fueran amantados por cerdas en su tercera semana de lactación, provocaron la reducción de la producción de leche hasta en 22 % (King *et al.*, 1997).

### **Factores inherentes a la cerda**

### ***Estado fisiológico***

Durante el parto, el metabolismo de la cerda cambia a un estado catabólico. Ello, debido a que en los primeros días post-parto la cerda se encuentra sometida a los efectos de la hipofagia fisiológica lactacional y, en consecuencia, el consumo de alimento voluntario esta disminuido. Esta alteración del apetito, está ligado a los cambios endocrinológicos producidos por la proximidad del parto; mismos que se acentúan al inicio de la lactación (Cools *et al.*, 2013; Pérez *et al.*, 2015). Ante la proximidad del parto, se aumenta la concentración de glucosa sanguínea y, durante el parto, se incrementa la síntesis y liberación de estrógenos. Así, la combinación del incremento de la glucosa sanguínea y de estrógenos activan el mecanismo, a nivel hipotalámico, que estimula los receptores de propiomelanocortina, principalmente MC3 y MC4 responsables de inhibir la sensación de apetito en las cerdas (Peré y Etienne, 2007; Quesnel *et al.*, 2009).

Entre las alteraciones metabólicas que afectan el consumo de alimento, de las cerdas lactantes, destaca el incremento de sustratos energéticos (glucosa principalmente) a nivel sanguíneo, esenciales en esta fase para la síntesis y producción de leche (Valros *et al.*, 2003; Quesnel *et al.*, 2009). Sin embargo, ante la ausencia del equilibrio hormonal que regula el apetito, el organismo se ve obligado a utilizar otras fuentes de energía, tales como la grasa; es decir, en los primeros días post-parto las cerdas consumen poco alimento y en consecuencia requieren de movilizar las reservas internas de energía: ácidos grasos no estratificados de depósitos de grasa y proteínas musculares, para producir grandes cantidades de leche (Peltoniemi y Olivero 2015). No obstante, éste proceso se convierte en un ciclo vicioso, puesto que, para cubrir la energía perdida en la leche y el costo energético del mantenimiento, por lo que movilizan sus reservas corporales para apoyar la producción de leche, genera en las cerdas el estado catabólico; mismo que, es

más acentuado cerdas primíparas que en cerdas multíparas, debido a que fisiológicamente necesitan energía extra para su crecimiento (Pluske *et al.* 1998).

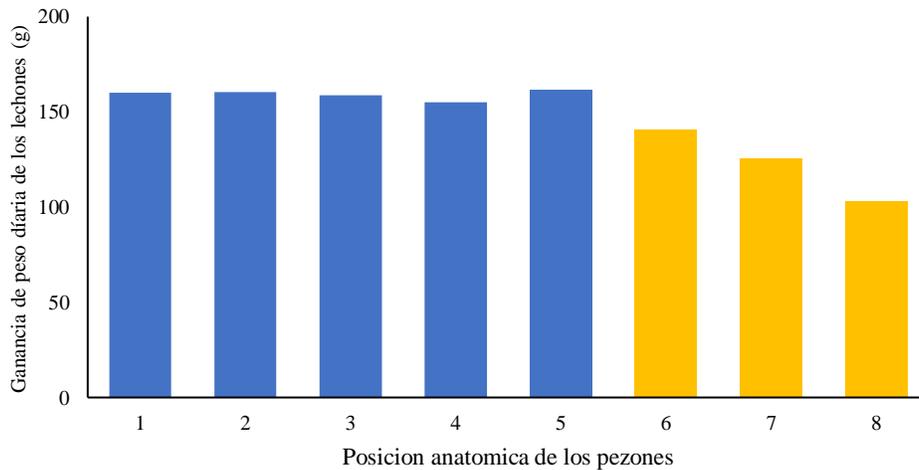
### ***Número y posición de pezones***

Generalmente las cerdas poseen 12 pezones, ello debido a que, en los sistemas de producción porcina, para maximizar el peso y número de lechones al destete, se ha optado por eliminar los replazos con un número menor, ya que la cantidad de pezones, es un indicativo de los lechones que puede alimentar. Por ello, las cerdas modernas tienen más de 12 pezones, llegando a mostrar hasta 14 o más (Pinilla *et al.* 2008).

La glándula mamaria de la cerda requiere de su crecimiento para su posterior secreción láctea, este crecimiento, cual inicia en el último tercio de gestación, ya no se detiene e, incluso, continúa creciendo durante el periodo que dura la lactancia. Sin embargo, cuando un pezón no es succionado por el lechón, comienza el proceso de involución, mismo que es irreversible después de 3 días; afectando negativamente la capacidad de la cerda para producir leche. Además, el pezón no succionado durante la lactancia tiene efectos negativos directos sobre su desarrollo, puesto que la abundancia en ARNm, para genes implicados en la producción de leche, se reduce en la lactancia subsiguiente (Farmer *et al.* 2012)

Si la glándula se divide, para efectos de comprensión, en dos porciones: anterior y posterior, se ha establecido que los lechones que prefieren las glándulas mamarias de la porción anterior tienen un crecimiento más rápido, en comparación con los lechones que se alimentan de la glándula mamaria posterior (Wu *et al.* 2010). Skok *et al.* (2007), observaron que, el crecimiento de los lechones lactantes fue mayor cuando amamantaron los primeros cinco pares de glándulas

mamarias (parte anterior) en comparación con el peso de los lechones que prefirieron las glándulas mamarias posteriores (Figura 4), éstos presentaron mayor variación en sus tamaños (Kim *et al.* 2000).



**Figura 4.** Ganancia de peso de los lechones dependiendo de la posición anatómica del pezón que amamantaron (Kim *et al.*, 2000; Kim *et al.* 2013)

### ***Edad de la cerda***

La máxima producción de leche por parte de las cerdas, de acuerdo con investigaciones realizadas, es cuando éstas alcanzan la madurez física, lo cual sucede al cuarto o quinto parto, después de los cuales empieza a descender (Tabla 2), debido a los cambios metabólicos producidos por la edad del animal (Pour, 1983; Whittemore y Colin, 1996).

**Tabla 2.** Producción de leche de acuerdo al número de lechones lactando y número de parto de la cerda (Whittemore y Colin 1996).

No. de parto de la cerda	Producción de leche (kg/día)
1	8
2	10
4	11
6	12
8	10

Por otro lado, Daza *et al.* (1999) determinaron el efecto de la edad de la cerda sobre la producción de leche en cada semana de la fase de lactación (Tabla 3). Al respecto, se encontró que la producción láctea de las cerdas primíparas no fue diferente ( $P > 0.05$ ) conforme el periodo de lactación incrementaba, caso contrario en las múltiparas, que mostraron un incremento ( $P < 0.05$ ) en la producción de leche conforme avanza el periodo de lactación, encontrando el pico de producción en la tercera semana de lactación, para posteriormente disminuir a partir de la cuarta semana.

**Tabla 3.** Producción semanal de leche (kg) de cerdas primíparas y múltiparas

Semana	Primíparas	Promedio día <sup>-1</sup>	Múltiparas	Promedio día <sup>-1</sup>
1	26.4±9.8	3.7	32.5±8.8	4.6
2	30.9±12.3	4.4	38.9±9.7	5,5
3	33.5±14.3	4.7	43.3±11.1	6,1
4	29.5±12.3	4,2	36.4±10.9	5.2

Fuente: Modificado de Daza *et al.* (1999)

### ***Componentes ambientales***

Durante la fase de lactación de las cerdas, la temperatura ambiente puede ser un factor determinante en la cantidad de producción de leche. Cuando la temperatura se encuentra dentro de zona de confort (18 °C) la cerda expresa su potencial lechero, pero, si la temperatura se incrementa, por arriba de los 25 °C, se puede observar un decremento en el consumo de alimento

y una disminución de la producción de leche (Myer y Bucklin, 2001). Es conocido que la producción de leche en la cerda bajo condiciones de calor, el consumo de alimento y, en un menor grado, la producción de leche disminuyen. Ello, al parecer, para evitar el incremento de la temperatura corporal (Renaudeau *et al.* 2003). Puesto que, el proceso de digestión incrementa el calor corporal (Black *et al.*, 1993).

Otras investigaciones (Mullan *et al.* 1992) sugieren que se encuentra un efecto directo por el incremento en la temperatura, en la que, en condiciones de altas temperaturas, las cerdas distribuyen el flujo sanguíneo que va hacia la piel para aumentar la pérdida de calor, lo que reduce la cantidad de nutrientes en la glándula mamaria. En el sentido, Vidal *et al.*, (1991) sometieron a un grupo de cerdas a 22 y 30 °C, se observó que la temperatura de 30 °C provocó una reducción la producción láctea de hasta 36% al compararse con la producción de leche de las cerdas sometidas a 22°C: 10.2 kg día<sup>-1</sup>.

Finalmente, en cuanto a factores ambientales que afectan la producción de leche se refiere, Marby *et al.* (1982) establecieron que las horas luz (fotoperiodo) afectan la producción de leche: foto periodos de 8 h día<sup>-1</sup> produjeron una menor producción de leche en comparación con la producción de cerdas sometidas a un fotoperiodo de 16 h. Además, 16 h de luz día<sup>-1</sup> logró reducir la mortalidad a los 21 días de lactación e incrementar el peso de los lechones, ambas variables asociadas también, con el incremento de la producción latean.

### ***Composición de la dieta***

Farmer y Quesnel (2009); y Hurley (2015), han establecido que la modificación de la composición de la alimentación de la cerda, en fase de lactación, altera la cantidad y calidad de

la leche de las cerdas. Aspecto que repercute en el desarrollo del lechón durante y después de lactancia. Shieck *et al.* (2010), encontraron modificaciones en el contenido de la leche al adicionar glicerina en la dieta de las lactantes: se incrementaron los niveles de sólidos totales, grasa y lactosa. Efecto con una relación positiva; a mayor porcentaje de glicerina, mayor cantidad de los componentes nutrimentales en leche.

Loisel *et al.* (2013), observaron incremento en la grasa del calostro por efecto del cambio en los componentes de la alimentación (trigo y cebada por soja, salvado de trigo, harina de girasol y pulpa de remolacha azucarera) durante el último tercio de la gestación. De la misma manera, Laws *et al.* (2009) al adicionar diferentes tipos de grasas a la dieta de las cerdas, durante las diferentes fases de la gestación, modificaron la grasa en la leche de éstas cerdas. Kim y Wu, (2009), suplementaron el alimento de las cerdas primíparas con 0.89% de L-Arginina y observaron un incremento mayor al 11% en la producción láctea, así como, una mayor concentración de proteína en la leche (43.8 g/L).

El éxito en la modificación en el contenido nutricional de la leche, puede deberse a un cambio en los precursores en la formación de ésta (Mateo *et al.*, 2008). Por ejemplo, la glucosa no solo es precursora en la formación de grasa, también, es esencial para la formación de lactosa (Stelwagen, 2011a). Mientras que la síntesis de proteína, utiliza como precursores, los aminoácidos suministrados a la glándula mamaria por parte de la circulación sanguínea, el medio de transporte es el de aminoácidos sodio-dependientes, con diferentes transportadores específicos para diferentes grupos de aminoácidos, posteriormente en el epitelio secretor, el proceso para formar proteínas es el mismo que en los diferentes tejidos del cuerpo, una vez formada la proteína son excretadas en la luz alveolar (Stelwagen, 2011b).

### ***Factores genéticos***

Se ha reportado que los aspectos genéticos de la cerda tienen efecto sobre la tasa de supervivencia de los lechones. Ante esta situación, la selección genética ha contribuido para maximizar la supervivencia de la camada durante la fase de lactación reproduciendo las habilidades maternas de la cerda. Puesto que, el comportamiento materno de ésta contribuye al bienestar y supervivencia de un mayor número de lechones al finalizar la fase de lactancia; rasgos de importancia económica, para los sistemas de producción porcina (Gäde *et al.* 2008). Así, la selección genética enfocada a variables como mayor tamaño de camada, ha provocado que la cerda necesite producir mayor cantidad de leche para soportar la demanda de alimento de una camada >10 lechones. Hecho que se puede ilustrar al comparar la producción láctea de cerdas de 1935 (3.0 kg día<sup>-1</sup>) con las del 2000 (11.0 kg día<sup>-1</sup>), en la que se observa un incremento de hasta 300% más, en la producción de leche (Kim *et al.*, 2013); aun y cuando, la heredabilidad ( $h^2$ ) para el rasgo es de 0.2 (Rydhmer, 2000),

Farmer *et al.* 2001, demostraron que las cerdas upton-meishan producen más leche, en comparación con cerdas Large White: 10.59 vs 8.03 kg día<sup>-1</sup>, respectivamente; ello, debido a que la cantidad de pezones activos es mayor y, a un intervalo de amansamiento más corto en las cerdas Mesishan. Por el contrario, Meusnier *et al.* (1991) no reportan diferencias en la producción de leche entre Landrace y Meishan: 26.3 y 43.9 kg de leche semana<sup>-1</sup> o 161.4 y 126.3 kg durante toda la lactancia, respectivamente. Las diferencias no se pudieron encontrar debido

a que las cerdas Meishan tenían mayor tamaño de camada, influyendo en un mayor estímulo en la producción de leche. Thodberg y Sorensen (2006), encontraron mayor producción láctea, en cerdas Landrace comparada con Yorkshire en los días 11 y 18 post-parto: 5.7 vs 4.6 kg y 6.6 vs 5.3 kg de leche día<sup>-1</sup>, respectivamente. Estas diferencias se pudieron deber, a que las cerdas Landrace presentaron mayor frecuencia de amamantamiento y una duración más larga en la eyección de leche.

En cuanto al contenido nutrimental de la leche, se sugiere que la raza Duroc posee más proteína que la raza Landrace. Por otro lado, las razas asiáticas, como Meishan, producen más grasa y menos lactosa que razas de cerdas de origen europeo (Farmer y Quesnel 2008). Estas diferencias entre los genotipos, en producción y contenido de la leche, son efecto del proceso selectivo (artificial para el caso del genotipo europeo y, de manera general, natural para el genotipo asiático) por las que fueron creadas en el origen de éstas (Vidovic *et al.* 2012).

### **Consideraciones generales**

Para la explicación de fenómenos, tales como, la producción de leche de las cerdas bajo condiciones de producción porcina a escala comercial, la teoría general de sistemas determina que los sistemas suelen ser muy complejos, pero para su explicación se debe aumentar su complejidad al momento de descomponer al sistema, solo de esta manera al recomponerlo aumenta la comprensión del fenómeno. Ante este reto, se pudo establecer que la eficiencia productiva de las cerdas (producción de leche y desarrollo del lechón), puede verse afectada si no se contemplan los diversos factores que afectan la fase de lactación, puesto que la supervivencia y el crecimiento de la camada están supeditados a la producción láctea. Así, el mejoramiento de la producción de leche ofrece acciones muy específicas al controlar los factores

inherentes a la cerda y su camada, independientemente del genotipo de la cerda. Por lo que, los factores mediatos a controlar son: tamaño de camada, número de parto, estado fisiológico, número de pezones, composición de la dieta, foto periodo y temperatura. Puesto que estos factores que rodean y afectan la producción de leche de la cerda no son atribuibles a esta, son atribuibles al factor humano.

## **Bibliografía**

- Algers, B., y Uvnäs, K.M. (2007) Maternal behavior in pigs. *Hormones and Behavior*. 52 :78–85
- Auldust, D.E., Carlson, D., Morrish, L., Wakeford, C.M., King, R.H. (2000) The influence of suckling interval on milk production of sows. *J. Anim. Sci.* 78:2026–2031.
- Babicz, M., Cichocki, R., Kasprzak, K., Kropiwek, K., Szuba, K. (2011) Analysis of relationship between sow’s colostrum and milk somatic cell count and reproductive performance traits. *Annales Universitatis Mariae Curie – Sklodowska Lublin- Polonia*. Vol. XXIX (3).
- Bertalanffy, L. V. (1976). Fundamentos, Desarrollo, y Aplicaciones; Teoría General de los Sistemas. Ed. Fondo de Cultura Económica. México D.F. 13-64 pp.
- Boari, R., Chuard, N., Fernández, V. y Pouiller, P. (2013). Mercado internacional de carnes en Ministerio de agricultura, ganadería y pesca.
- Cools, A., Maes, D., Decaluwé, R., Buyse, J., Van kempen, T.A., Janssens, G.P. (2013). Peripartum changes inorexigenic and anorexigenic hormones in relation to back fat thickness and feeding strategy of sows. *Domestic animal Endocrinology* 45: 22-27
- Daza, A., Bezerra, J.N.E., Gutierrez, M.G.B., (1999). Milk production in crossbred sows (Large White X Landrace). Evolution and analysis of variation factors. *Ann Zootech.* 48: 67-74.
- Devillers N., Le Dividich, J., Prunier, A. (2011). Influence of colostrum intake on piglet survival and immunity. *Animal* 5: 1605 – 1612
- Ellendorf, F., Forsling, M.L., Poulain, D.A. (1982) The milk ejection reflex in the pig. *J. Physiol.* 333, 577-594.

“EFECTO DE LA ADICIÓN DE NOPAL (*O. ficus-indica*) EN LA DIETA DE CERDAS LACTANTES SOBRE LA PRODUCCIÓN, CALIDAD DE LA LECHE Y DESARROLLO DEL LECHÓN”

- Errecart, M. V., Lucero, M., & Sosa, M. A. (2013). Análisis del mercado mundial de carnes. Escuela de economía y negocios.
- Farmer, C. y Quesnel, H. (2009). Nutritional, hormonal, and environmental effects on colostrum in sow. *J.Anim.Sci.* 87(13): 56-64.
- Farmer, C., Devillers, N., Rooke, J.A., Le Dividich, J. (2006) Colostrum production in swine: from the mammary glands to the piglets. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources.* 3:
- Farmer, C., Palin, M.F., Sorensen, M.T., y Robert, S. (2001) Lactational performance, nursing and maternal behavior of Upton-Meishan and Large White sows. *Can. J. Anim. Sci.* :487-493.
- Farmer, C., Palin, M.F., Theil, P.K., Sorensen, M.T., y Devillers, N. (2012) Milk production in sows from a teat in second parity is influenced by whether it was suckled in first parity. *J. Anim. Sci.* 90:3743–3751.
- Farmer, C., Trottier, N.L., Dourmad, J.Y., (2008) Review: Current knowledge on mammary blood flow, mammary uptake of energetic precursors and their effects on sow milk yield. *Can. J. Anim. Sci.* 88: 195-204.
- Farmer, C., y Hurley, W.L., (2015) Mammary development. In *The gestating and lactating sow. Wageningen Academic Publishers* pp 73-94.
- FIRA, 2015, Panorama agroalimentario. Carne de porcino 2015. Dirección de investigación y evaluación económica y sectorial. En línea: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/61951/Panorama\\_Agroalimentario\\_Carne\\_Porcino\\_2015.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/61951/Panorama_Agroalimentario_Carne_Porcino_2015.pdf). 18/01/ 2017
- Foisnet, A. Farmer, C., David, C., Quesnel, H. (2010) Relationships between colostrum production by primiparous sows and sow physiology around parturition. *J. Anim. Sci.* 88:1672–1683
- Gäde, S., Bennewitz, J., Kirchnner, K., Looft, H., Knap, P.W., Thaller, G., Kalm, E. (2008) Genetic parameters for maternal behaviour traits in sows. *Livestock science.* 114: 31-41.
- García C. A. del C.; Martínez, B.N.R; Amaro, G.R.; Aguirre, A.F.A.; Angulo, M. (2008). Manual de evaluación de la unidad de producción porcina. SAGARPA, INIFAP, CIRPAS. Campo Experimental “Zacatepec”. Publicación Especial No. 45. Zacatepec, Morelos. 40 p.

- Goodall, W.D. (1976). The hierarchical approach to model building M 10-21. In: Arnold G W and De Wit C T (Editors) *Waneningen Centre for Agricultural Publishing and Documentation*. 107 p.
- Hansen, A., Strathe, A., Kebreab, E., France, J., Theil, P. (2012). Predicting milk yield and composition in lactating sows: A Bayesian approach. *J.Anim.Sci.* 90(7): 2285-2298.
- Hartman, D.A., Lundwick, T.M., y Wilson, R.F., (1862) Certain aspects of lactation performance in sows. :883-886.
- Hernández, A.G. (2014) Conducta de la Cerda doméstica y su camada. *Abanico veterinario*. 4: 51-60.
- Horigan, K.C., Trott, J.F., Barndollar, A.S., Scudder, J.M., Blauwiekel, R.M. Hovey, R.C. (2009) Hormone interactions confer specific proliferative and histomorphogenic responses in the porcine mammary gland. *Domestic Animal Endocrinology* Vol. 37 Pág. 124-138
- Hurley W.L (2015). The gestating and lactating sow Chapter 9: Composition of sow colostrum. *Wageningen Academic Publishers*
- Hurley, W.L. (2001) Mammary gland growth in the lactating sow. *Livestock Production Science* 70 :149–157.
- Juárez, C.A., Ortiz, R.R., Pérez, S.R.E., Gutiérrez, V.E, Val, A.D. 2008. Caracterización y modelación del sistema de producción avícola familiar. *Livestock Research for Rural Development*. Volumen 20, Article #25. Retrieved may 23.
- Kim, S.W. y Wu, G. (2009) Regulatory role for amino acids in mammary gland growth and milk synthesis. *Amino Acids*. 37:89–95.
- 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 Science and Biotechnology* 4(26):1-8.
- Kim. S.W., Hurley, W.L., Han, I.K. y Easter, R.A. (2000) Growth of nursing pigs related to the characteristics of nursed mammary glands. *J. Anim. Sci.* 78: 1313-1318.
- King, R.H. (2000) Factors that influence milk production in well-fed sows. *J. Anim. Sci.* 78: 19-25.

- King, R.H., Mulla, B.P., Dunshea, F.R., Dove, H. (1997). The influence of piglet body weight on milk production of sows. *Livestock production science*. 47: 169-174.
- Laws, J., Amusquivar, E., Herrera, E., Lean, I.J., Dodds, P.F., Clarke, L. (2009). Supplementation of sow diets with oil during gestation: Sow body condition, milk yield and milk composition. *Livestock Science*, 123: 88-96.
- Lee, S.H., Joo, Y.K., Lee, J.W., Ha, Y.J., Yeo, J.M. and Kim, W.Y. (2014). Dietary conjugated linoleic acid (CLA) increases milk yield without losing body weight in lactating sows. *Journal of animal science and technology*. 56:11 1-9
- Loisel, F., Farmer, C., Ramaekers, P. and Quesnel, H. (2013). Effects of high fiber intake during late pregnancy on sow physiology, colostrum production, and piglet performance. *J. Anim. Sci.* 91: 5269-5279.
- Lovise, S. T., Helen, .A.G., Petter, N.K., Hetland, H., Framstad, T. (2013). Pea starch meal as a substitute for cereal grain in diets for lactating sows: the effect on sow and litter performance. *Livestock science*. 157: 210-217
- Lushmann N. 1990. Sociedad y sistema: la ambición de la teoría. Ediciones Paidós Ibérica, S. A. Barcelona, España. 9-29 pp.
- Marby, J.W. Cunningham, F.L., Kraeling, R.R., Rampecek, G.B. (1982). The effect of artificially extended photoperiod during lactation on maternal performance of the sow. *J. Anim. Sci.* 54: 918-921.
- Marshall, K.M., Hurley, W.L., Shanks, R.D., Wheeler, M.B. (2006) “Effects of suckling intensity on milk yield and piglet growth from lactation-enhanced gilts” *Journal Animal Science* Vol 84 Pag. 2346-2351.
- Mateo, R.D., Wu, G., Moon, H.K., Carroll, J.A., Kim, S.W. (2008) Effects of dietary arginine supplementation during gestation and lactation on the performance of lactating primiparous sows and nursing piglets. *J. Anim. Sci.* 86:827–835.
- Mullan, B.P., Brown, W., y Kerr, M. (1992) The response of the lactating sow to ambient temperature. *Proc. Nutr. Soc. Aust.* 17: 215

- Myer, R. y Bucklin, R. (2001). Influence of Hot-Humid Environment on Growth Performance and Reproduction of Swine. *IFAS Extension*.
- Novotni, G.D., Balogh, P., Huzsvai, L. and Zs. Györi. (2015) Effect of feeding liquid milk supplement on litter performances and on sow back-fat thickness change during the suckling period. *Arch. Anim. Breed.* 58:229-235.
- Ortiz, R. R., Ortega, G. R. (2001). Importancia del factor humano en la productividad de los sistemas. En: *Acontecer Porcino*. Agosto-Septiembre 2001. IX (50):86-98.
- Ortiz, R.R., Pérez, R.R.S., Juárez, A.C., y Gómez, B.R. (2015). Teoría de Sistemas en la Producción Animal. *Coordinación de la Investigación Científica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*. Primera edición. Morelia, Michoacán México.
- Papadopoulos, G.A., Vanderhaeghe, C., Janssens, G.P., Dewulf, J., Maes, D.G. (2010) “Risk factors associated with postpartum dysgalactia syndrome in sows” *The Veterinary Journal* Vol.184 Pag. 167-171
- Peltoniemi, O.A.T. y Olivero, C. (2015)]. Chapter 10: Housing, management and environment during farrowing and early lactation. In *The gestating and lactating sow*. *Wageningen Academic Publishers*.
- Pérez, M.C., Etienne, M. (2007). Insulin sensitivity during pregnancy, lactation, and postweaning in primiparous gilts. *J Anim. Sci.* 85(1): 101-109.
- Pérez, S.R.E., Ordaz, O.G., Juárez, C.A., García, V.A., Ortiz, R.R. (2015). Efecto del número de parto sobre el consumo 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.
- Perrin, D. R., (1955) The chemical composition of the colostrum and milk of the sow. 103-107.
- Pinilla, J.C. Geiger, J. Kummer, R., Piva, J., Schott, R., Williams, N.H. (2008). Management strategies to maximize weaning weight. *American association of swine veterinarians*. :185-192.
- Pluske, J.R., Williams, I.H., Zak, L.J., Clowes, E.J., Cegielski, A.C., y Aherne, F.X. (1998) Feeding Lactating Primiparous Sows to Establish Three Divergent Metabolic States: III. Milk Production and Pig Growth. *J. Anim. Sci.* 1998. 76:1165–1171.

- Quesnel, H., Meunier-Salaün, M.C., Hamard, A., Guillemet, 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. C.H., 2010 Factores que inflen en la producción y rentabilidad de la empresa porcina. Revista porcicultores. En línea: [http://www.porcicultura.com/porcicultura/home/articulos-interior.asp?cve\\_art=1307](http://www.porcicultura.com/porcicultura/home/articulos-interior.asp?cve_art=1307) 18/01/ 2017.
- ROUCO, Y.A.; MUÑOZ, A. (2006). Análisis de costes. En: Producir carne de cerdo en el siglo XXI, generando un nuevo orden zootécnico. Ed. Muñoz, L.A. Acalanthis. Madrid, España. 525 pp.
- Rowson, A.R., Daniels, K.M., Ellis, S.E., Hovey, R.C. (2012). Growth and development of the mammary glands of livestock: A veritable barnyard of opportunities. *Seminars in Cell & Developmental Biology* 23: 557-566.
- Rushen, J., Foxcroft, G., Passillé, A.M., (1993) Nursing-Induced Changes in Pain Sensitivity, Prolactin, and Somatotropin in the Pig. *Physiology & Behavior.* 53: 265-270.
- Rydhmer, L. (2000). Genetics of sow reproduction, including puberty, oestrus, pregnancy, farrowing and lactation. *Livestock Production Science* 66: 1–12
- Schieck, S., Kerr, B., Baidoo, S., Shurson, G., Johnston, L. (2010). Use of crude glycerol, a biodiesel coproduct, in diets for lactating sows. *J. Anim. Sci.* 88: 2648-2656.
- Skok, J., Brus, M., y Skorjanc, D. (2007) Growth of piglets in relation to milk intake and anatomical location of mammary glands. *Acta Agriculturae Seand Section A.* 57: 129-135.
- Spedding C.R.W. 1988. An introduction to agriculture systems. 2nd Edition. *Elsevier Applied Science.* London 189 pp.
- Spinka, M., Illmann, G., Algers, B., Stetková, Z. (1997) The Role of Nursing Frequency in Milk Production in Domestic Pigs. *J. Anim. Sci.* 75:1223–1228.
- Sulabo, R.C., Tokach, M.D., Dritz, S.S., Goodband, R.D., De rouchey, J.M., and Nelssen, J.L. (2010). Effects of varyin creep fedind duration on the proportion of pigs consuming creep feed and neonatal pig performance. *J. Anim. Sci.* 88: 3154-3162.
- Stelwagen K. (2011a). Mammary gland, milk biosynthesis and secretion Lactose. *Elsevier*
- Stelwagen K. (2011b). Mammary gland, milk biosynthesis and secretion Protein. *Elsevier*

- Theil, P.K., Lauridsen, C., Quesnel, H. (2014). Neonatal piglet survival: impact of sow nutrition around parturition on fetal glycogen deposition and production and composition of colostrum and transient milk. *Animal* 8(7): 1021-1030.
- Theil, P.K., Sejrsen, K., Hurley, W.L., Labouriau, R., Thomsen, B., Serensen, M.T. (2006). Role of sucking in regulating cell turnover and onset and maintenance of lactation in individual mammary glands of sow. *J. Anim. Sci.* 84: 1691-1698
- Thodberg, K., y Sorensen, M.T. (2006) Mammary development and milk production in the sow: Effects of udder massage, genotype and feeding in late gestation. *Livestock Science*. 101: 116–125.
- Vadmand, C.N., Krogh, U., Hansen, C.F., and Theil, P.K., (2015). Impact of sow and litter characteristics on colostrum yield, time for onset of lactación, and milk yield of sow. *J. Anim. Sci.* 93: 2488-2500.
- Valros, A., Rundgren, M., Špinková, M., Saloniemi, H., Rydhmer, L., Hultén, F., Uvnäs-Moberg, K., Tománek, M., Krejčí, P., Algers, B. (2003). Metabolic state of the sow, nursing behaviour and milk production. *Livestock Prod. Sci.* 79, 155-167.
- Van Gigch J. 1998. Teoría general de sistemas. 3da edición Editorial Trillas. México. 581 p.
- Voilqué G, Zhao Y, Kim SW. (2012) Composition of porcine colostrum and milks affected by various production environments. *J Anim Sci*, 90(2):32.
- Wadsworth J. 1997. Análisis de sistemas de producción animal: las herramientas básicas. Estudio FAO Producción y sanidad animal 140/2. Versión electrónica. 4-10 pp. <http://www.fao.org/docrep/w7452s/w7452s00.htm>.
- Wechsler, B., y Brodman, N., (1996) The synchronization of nursing bouts in group-housed sows. *Applied Animal Behaviour Science* 47 :191-199
- Whittemore y Colin. 1996. Ciencia y práctica de la producción porcina.
- Wu, W.Z., Wang, X.Q., Wu, G.Y., Kim, S.W., Chen, F., y Wang, J.J. Differential composition of proteomes in sow colostrum and milk from anterior and posterior mammary glands *J. Anim. Sci.* 88:2657–2664.

*“EFECTO DE LA ADICIÓN DE NOPAL (O. ficus-indica) EN LA DIETA DE CERDAS LACTANTES SOBRE LA PRODUCCIÓN, CALIDAD DE LA LECHE Y DESARROLLO DEL LECHÓN”*

Yun, J., Swan, K.M, Vienola, K., Kim, Y.Y., Oliviero, C., Peltoniemi, O.A., Valros, A. (2014) Farrowing environment has an impact on sow metabolic status and piglet colostrum intake in early lactation. *Livestock Science* 163: 120-125.

Zindove, T.J., Dzomba,E.F., Kanengoni, A.T. y Chimonyo, M. (2013) Effects of within-litter birth weight variation of piglets on performance at 3 weeks of age and at weaning in a Large White x Landrace sow herd. *Livestock Science*. 155: 348-354.

Black, J.L., Mullan, B.P., Lorschy, M.L., y Giles, L.R. (1993). Lactation in the sow during heat stress. *Livestock Prod. Sci.* 35 : 153-170.

## **ARTICULO 2**

### **VALIDACIÓN DE EQUIPO CONVENCIONAL PARA DETERMINACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LECHE EN VACAS (LACTOSCAN®) PARA SU USO EN LECHE DE CERDAS**

#### **Resumen**

El objetivo fue validar la precisión analítica del Lactoscan® para determinar el contenido físico-químico (proteína, grasa, lactosa y sólidos totales) de la leche de cerdas, tomando como referencia los métodos convencionales de laboratorio (MEL). Se utilizaron 40 muestras de leche (dos muestra cerda<sup>-1</sup>) de cerdas híbridas cuyo peso fue de  $237.5 \pm 32.5$  kg, las muestras se tomaron de manera manual el 11<sup>vo</sup> día de lactancia. La determinación del grado de concordancia entre ambos métodos se realizó mediante los procedimientos de análisis gráfico de Bland-Altman y el cálculo del coeficiente de correlación de concordancia (CCC) de Lin; así como, por lo establecido por la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales (AOAC). No se encontró diferencia ( $P > 0.05$ ) entre los promedios de proteína (8.3 vs 8.2%), grasa (6.0 vs 6.5%), lactosa (6.1 vs 6.2%) y sólidos totales (16.4 vs 17.9%) entre métodos, MCL y lactoscan®, respectivamente. Ambos métodos mostraron relación lineal, con coeficientes de correlación ( $r$ )  $> 0.91$  y coeficientes de determinación ( $R^2$ )  $> 0.84$  ( $P < 0.05$ ), de acuerdo a cada indicador físico-químico. De acuerdo con la AOAC, los resultados que mostró el Lactoscan® en cada uno de los indicadores evaluados se consideraron como aceptables; aspecto confirmado, mediante el análisis de Bland-Altman y CCC de Lin (0.95;  $P < 0.05$ ). Por lo que, el Lactoscan® es viable para monitorear de los indicadores físico-químicos de la leche de cerda, no solo por su precisión sino, además, facilita la medición y reduce los costos si se compara con los métodos convencionales de laboratorio.

**Palabras clave:** Asociación, concordancia, linealidad, correlación

## Introducción

La producción y calidad de la leche de la cerda es esencial para el desarrollo adecuado del lechón, debido a que los lechones presentan pocas reservas corporales grasas, así como, deficiente sistema inmune al nacimiento (Devillers *et al.*, 2011). Debido a que las cerdas, a diferencia de otras especies como los bovinos, metabolizan las reservas de glucógeno al feto tardíamente, lo cual propicia menor cantidad de reservas corporales al nacimiento (Theil *et al.*, 2011). Por lo tanto, la leche es la que proporcionara la energía requerida al lechón para que pueda sobrevivir, a través de, la termorregulación, inmunidad pasiva, así como, el desarrollo del tracto gastrointestinal (Farmer y Quesnel, 2009).

Se ha establecido que, la capacidad de la cerda para sintetizar la cantidad y calidad de la leche está supeditada, principalmente por la alimentación (cantidad y calidad) durante la fase de lactancia; así como, por la intensidad de amamantamiento (Farmer y Quesnel, 2009). Sin embargo, debido a procesos fisiológicos por los que transita la cerda durante la lactancia, el consumo de alimento de éstas es afectado de manera negativa durante dicha fase (Cools *et al.*, 2013). Por ello, en la actualidad se investigan alternativas nutricionales que incidan en un mayor consumo de alimento de las cerdas durante la lactancia (Rosero *et al.*, 2016). No obstante, un cambio en la alimentación de la cerda afecta la producción y calidad láctea (Farmer y Quesnel, 2009; Devillers *et al.* 2011). Por ello, es esencial el análisis del contenido nutricional de leche de la cerda para garantizar que no fue afectado por el tipo de dieta suministrada en lactancia (Laws *et al.* 2009; Shieck *et al.* 2010; Loisel *et al.* 2013).

Existen muchos métodos para determinar la composición de la leche, los cuales derivan de metodologías establecidas por la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales (AOAC, 1990),

que permiten el análisis de los componentes principales de la leche, entre ellos: sólidos totales, grasa, proteína y lactosa. De acuerdo a la AOAC, el método más objetivo para el análisis de los sólidos totales, es a través de determinaciones gravimétricas después de secar la muestra de leche; en cuanto al contenido de grasa se determina mediante el método de Babcock o el método de Gerber, que utilizan ácido sulfúrico para hidrolizar componentes orgánicos. Otro método es a través de la extracción con disolvente a través del Soxhlet que emplea éter o éter de petróleo, seguido de secado y pesaje del extracto. Para determinar la proteína se emplea el método de Kjeldahl, o alguna modificación del ensayo de proteína de Lowry (ensayo de unión a cobre), o modificación del ensayo de proteína de Bradford (ensayo de unión de colorante), mientras que la lactosa se determina mediante ensayos de azúcares reductores, por hidrólisis enzimática, o por diferencia restando otros componentes del valor de sólidos totales (Hurley, 2015).

Algo que caracteriza a los métodos para la determinación de la composición de la leche antes mencionados es la cantidad de muestra a utilizar, mayor tiempo, costo en equipo y reactivos, así como, la capacitación del personal para llevar a cabo el análisis. Motivo por el cual, se han desarrollado tecnologías que determinen de una manera más rápida, con menor cantidad de muestra y menor costo la composición nutricional de la leche. No obstante, dichas tecnologías se han desarrollado para leche de carácter alimenticio para el humano como lo es la leche de vaca. Por ello, el objetivo fue la validación analítica del lactoscan<sup>®</sup> analizador lácteo, para determinar el contenido físico-químico de la leche de cerdas, tomando como referencia los métodos convencionales de laboratorio.

## **Materiales y métodos**

Se monitorearon veinte cerdas híbridas (Yorkshire x Landrace x Pietrain), en fase de lactación, con una edad promedio de  $4.0 \pm 1.4$  partos y peso promedio de  $237.5 \pm 32.5$  kg. Dichas cerdas, fueron alojadas en jaulas elevadas siete días previo al parto. Para llevar a cabo la validación, se extrajeron 10 mL de leche cerda<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> en el 11<sup>vo</sup> día post-parto; la extracción de ésta fue de forma manual (ordeño), previa administración de 2 mL de oxitocina<sup>®</sup> vía intramuscular; un minuto después de la aplicación de oxitocina se procedió a dar masaje a la ubre y se realizó el ordeño. Cada muestra se colocó en envases esterilizados e identificados, mismos que se refrigeraron a 4°C para su posterior análisis mediante el equipo Lactoscan<sup>®</sup> (n=20), y los métodos convencionales de laboratorio (MCL) (n=20).

Para la determinación de los componentes de la leche de cerda por los MCL se realizó de la siguiente manera: 1) proteína, el método de Kjeldahl, 2) grasa, mediante el equipo Soxhlet, 3) lactosa, mediante la metodología de azúcares reductores y, 4) sólidos totales, mediante desecación de la muestra, de acuerdo a lo estipulado por la AOAC (1990). Mientras que para la determinación de los componentes nutricionales de la leche de cerda mediante el lactoscan<sup>®</sup> fue de manera automática a través de pipeteo para posterior análisis mediante sonda ultrasónica con la que cuenta el dispositivo.

Obtenidos los valores de lactoscan<sup>®</sup> y MCL se procedió con el análisis estadístico en el siguiente orden: i) Comprovar normalidad de los parámetros estudiados, para ello, se utilizó la prueba estadística de Kolmogorov-Smirnov; ii) Determinar valores extremos (outliers); en donde se compararon las diferencias absolutas entre cada método. Dichas diferencias estadísticas no deben superar cuatro veces el valor de la media de las diferencias absolutas; iii) Estimar el coeficiente de correlación (r); si éste es superior o igual a 0.975, el intervalo de valores puede

ser considerado adecuado y, por lo tanto, se puede utilizar una regresión lineal para estimar la pendiente y la ordenada en el origen; iv) Mediante regresión lineal, se obtienen los valores de la pendiente y la ordenada al origen para cada par de resultados, así como sus respectivos intervalos de confianza (IC) al 95%.

Cumplidos los cinco criterios señalados en el párrafo anterior, se evaluó la concordancia entre ambos métodos (MCL vs lactoscan®) mediante: 1) análisis gráfico de Bland-Altman y, ii) determinación del coeficiente de correlación de concordancia (CC) de Lin. Para dichos análisis se empleó el paquete estadístico SAS.

### Resultados

De acuerdo con la prueba de *t* para muestras apareadas, no se encontraron diferencias ( $P < 0.05$ ) de proteína, grasa, lactosa y sólidos totales entre los dos métodos (MEL vs Lactoscan). Los valores promedio de proteína fueron: 8.3 y 8.2 para MEL y Lactoscan, respectivamente; en cuanto al coeficiente de variación para la diferencia de proteína entre los métodos fue de 5.7% (Tabla 1). Las diferencias entre los valores de proteína obtenidos por ambos métodos fueron 0.2% para valores mínimos, 0.8% para valores máximos y 0.1% para la media aritmética.

**Tabla 1.** Resultados descriptivos de proteína, grasa, lactosa y sólidos totales obtenidos por Lactoscan® y el método convencional de laboratorio

Proteína	MÉTODO	
	Kjeldhan	Lactoscan®
Valores mínimos, %	4.1	3.9
Valores máximos, %	12.3	13.1
Media aritmética, %	8.3	8.2
	IC (6.9 a 9.6)	IC (6.8 a 9.5)
Coeficientes de variación		
	Mínimo (%)	Máximo (%)
	0.8	13.7
	Promedio (%)	
	5.7	

MÉTODO

*“EFECTO DE LA ADICIÓN DE NOPAL (O. ficus-indica) EN LA DIETA DE CERDAS LACTANTES SOBRE LA PRODUCCIÓN, CALIDAD DE LA LECHE Y DESARROLLO DEL LECHÓN”*

Grasa	Soxhlet	Lactoscan®
Valores mínimos, %	2.4	3.0
Valores máximos, %	9.4	10.1
Media aritmética, %	6.0	6.5
	IC (5.0 a 7.8)	IC (5.0 a 7.1)
Coeficientes de variación		
Mínimo (%)	Máximo (%)	Promedio (%)
0	16.0	7.7
MÉTODO		
Lactosa	Azúcares reductores	Lactoscan®
Valores mínimos, %	3.7	3.4
Valores máximos, %	7.7	7.2
Media aritmética, %	6.1	6.2
	IC (5.6 a 6.7)	IC (5.8 a 6.7)
Coeficientes de variación		
Mínimo (%)	Máximo (%)	Promedio (%)
0	14.6	5.6
MÉTODO		
Sólidos totales	Secado	Lactoscan®
Valores mínimos, %	10.4	12.6
Valores máximos, %	23.6	25.1
Media aritmética, %	16.4	17.9
	IC (14.2 a 18.1)	IC (16.3 a 19.7)
Coeficientes de variación		
Mínimo (%)	Máximo (%)	Promedio (%)
0.6	14.5	8.8

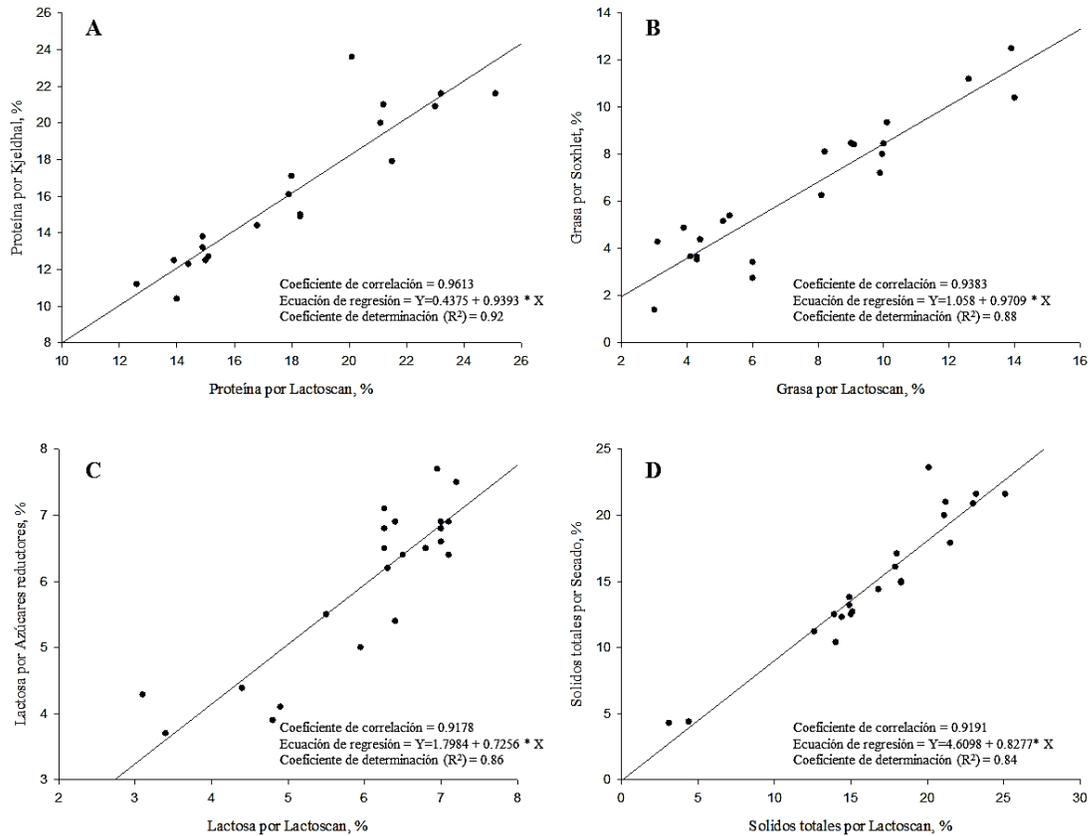
Con respecto a la grasa promedio fue de 6.0 para MEL y 6.5 para lactoscan®, con coeficiente de variación de entre métodos de 7.7% y las diferencias entre los valores de grasa entre métodos fueron 0.6% para los valores mínimos, 0.7% para los valores máximos y 0.5% para la media aritmética (Tabla 1). Los promedios de lactosa fueron de 6.1 y 6.2% para método MEL y lactoscan®, respectivamente; coeficiente de variación entre de 5.6% y diferencias entre los valores de lactosa de 0.3% para valores mínimos, 0.5% para valores máximos y 0.1% para la media aritmética. Para los sólidos totales los promedios fueron de 16.4 y 17.9 para MEL y lactoscan® respectivamente; en cuanto al coeficiente de variación entre los métodos fue de 8.8%

(tabla 1), con una diferencia entre valores de sólidos totales de: 2.2% para los valores mínimos, 1.5% para los valores máximos y 1.5% para la media aritmética.

En cuanto a los resultados de la prueba de Kolmogorov-Smirnov, mostro que los valores de los nutrientes por los MEL y el lactoscan tienen una distribución normal en ambos métodos, puesto que, todas las probabilidades no fueron significativas ( $P > 0.05$ ); rango de 0.121 a 0.252. Además, los coeficientes de correlación de Pearson ( $r$ ) fueron altos y positivos en cada uno de los nutrientes evaluados (Figura 1): i) proteína:  $r=0.96$  con coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.92; ii) grasa,  $r=0.93$  y  $R^2=0.88$ ; iii) lactosa,  $r=0.91$  y  $R^2=0.86$  y; iv) sólidos totales,  $r=0.91$  y  $R^2=0.84$ . Cumplido el criterio de correlación es factible utilizar los coeficientes de regresión lineal ( $\beta_0$  y  $\beta_1$ ), en lo que respecta al valor de los coeficientes de la ecuación lineal, intercepto ( $\beta_0$ ) y la pendiente ( $\beta_1$ ) de proteína, grasa, y sólidos totales, fueron significativos ( $P < 0.05$ ) (Figura 1).

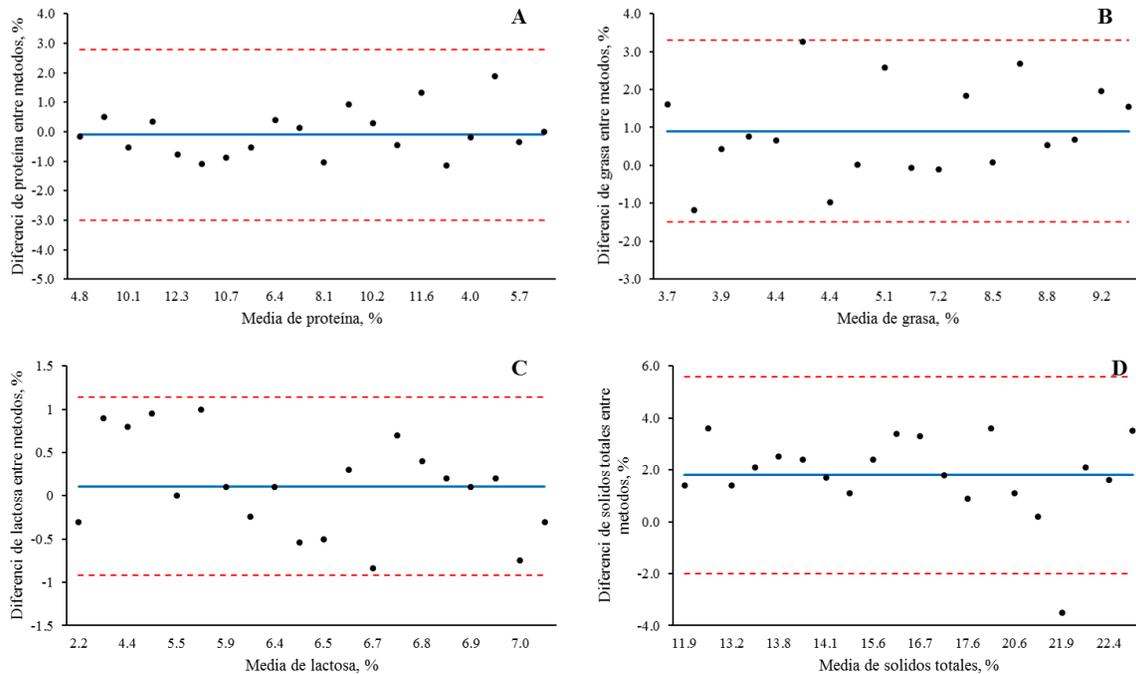
Se ha indicado que el mejor indicador para establecer la linealidad entre dos métodos en remplazo del Coeficiente de correlación de Pearson es el cálculo del estimador “t” Student para coeficiente de correlación de Pearson ( $t_r$ ) con  $n-2$  grados de libertad. Al respecto, los resultados mostraron que  $t_r$  fue significativo ( $P < 0.05$ ). En contraste al método  $t_r$  se encuentra el coeficiente de correlación de concordancia (CCC) de Lin, en esta investigación el CCC de Lin para proteína fue de 0.93 con IC 95 % de 0.89 a 0.98, para la grasa fue: 0.94 con IC 95% de 0.92a 0.97, para la lactosa fue de: 0.92 con IC 95% de 0.88 a 0.95, y para sólidos totales fue de: 0.90 con IC 95% de 0.87 a 0.94.

“EFECTO DE LA ADICIÓN DE NOPAL (*O. ficus-indica*) EN LA DIETA DE CERDAS LACTANTES SOBRE LA PRODUCCIÓN, CALIDAD DE LA LECHE Y DESARROLLO DEL LECHÓN”



**Figura 1.** Estimación lineal entre método convencional de laboratorio y método por Lactoscan para: proteínas (A), grasa (B), lactosa (C) y sólidos totales (D).

La concordancia presentada en el análisis estadístico también fue evaluada mediante el método gráfico de Bland-Altman (Figura 2), el cual resultó: 1) proteína, tendencia para -0.1 y límites de concordancia entre -3 y 2.8, 2) grasa, tendencia para 0.9 y límites de concordancia entre 3.3 y -1.5, 3) lactosa, tendencia para 0.11 y límites de concordancia entre 1.14 y -0.92, y, 4) sólidos totales, tendencia para 1.8 y límites de concordancia entre 5.6 y -2.0, en el cual solo un valor salió de los límites de referencia.



**Figura 2.** Grafica de Bland-Altman entre método de laboratorio y Lactoscan para: proteínas (A), grasa (B), lactosa (C) y solidos totales (D).

## Discusión

En lo referente a los valores de los coeficientes de variación (CV) entre ambas metodologías, no supero el 10% de variabilidad (Tabla 1). Al respecto, el CV es la variación, entorno a la media aritmética, expresada en porcentaje (Vásquez y Caballero 2011), por lo que, la variabilidad obtenida en esta investigación entre ambos métodos (MEL vs lactoscan) indica analogía entre los valores obtenidos. Resultados que concuerdan con Ortiz *et al.* (2015) y Hurley, (2015) en donde la primera investigación, reporta resultados similares en la composición láctea de la cerda mediante lactoscan y la segunda investigación reporta los resultados por métodos convencionales.

Duffao *et al.* (2010) sugieren que es preciso que el coeficiente de correlación de Pearson sea mayor o igual a 0.99 para una curva de calibración, aunque, para el caso de trazas se admite un valor igual a 0.99. No obstante, hay controversias sobre la implementación de dicho coeficiente de correlación para determinar la linealidad en la validación de método (Duffao *et al.* 2010). Ante esta situación, la FAO (2007) indica que el mejor indicador para establecer la linealidad en la validación de un método analítico, en reemplazo del coeficiente de correlación de Pearson, es el cálculo del estimador “t” Student para coeficiente de correlación de Pearson ( $r$ ) con  $n-2$  grados de libertad. Al respecto, los resultados mostraron que  $r$  fue significativo ( $P = 0.05$ ).

En contraste al método  $r$  se encuentra el coeficiente de correlación de concordancia (CCC) de Lin, coeficiente que califica la fuerza de asociaciones en: casi perfecta, para valores mayores a 0.99; sustancial, de 0.95 a 0.99; moderado, de 0.90 a 0.94 y pobre, por debajo de 0.90 (Camacho, 2008; Cortéz, 2009). De acuerdo con ello, las determinaciones de proteína, grasa, lactosa y sólidos totales por MCL y Lactoscan se ubican a en una clasificación de concordancia moderada.

En cuanto al método gráfico de Bland-Altman (Figura 2), permite evaluar si la diferencia entre los valores encontrados tiene o no, alguna relevancia desde un punto de vista clínico (Hanneman, 2008). Los resultados obtenidos por el método de Bland-Altman no mostraron valores fuera de los límites que marcan las diferencias a  $\pm 1.96$  desviación estándar. La diferencia entre MCL y Lactoscan fue constante, ello de acuerdo al análisis de Bland-Altman (Figura 2) No obstante, y de acuerdo con Ortega *et al.* (2013), cuando las diferencias entre los valores de referencia y los obtenidos por el método alternativo son constantes o mínimas se refleja en un menor sesgo. Además, habiendo analizado muestras pareadas el menor sesgo indica correspondencia entre

ambas respuestas obtenidas y exactitud en los resultados del método alternativo, respecto a los valores de referencia.

## Conclusión

El equipo lactoscan<sup>®</sup>, es un equipo viable para determinar los componentes nutricionales (proteína, grasa, lactosa y sólidos totales) en la leche de la cerda, no solo por su precisión, sino porque, además, facilita su medición y reduce los costos si se compara con los métodos convencionales de laboratorio.

## Bibliografía

- Association of Official Analytical Chemists (1990). Official methods of analysis. AOAC, Washington, DC, USA.
- Camacho, J. 2008 Coeficiente de concordancia para variables continuas. *AMC*. 50(4).
- Clinical and Laboratory Standards Institute (2008). Development of in vitro susceptibility testing criteria and quality control parameters; approved guideline. Third ed. CLSI document M23–A3. Wayne, PA: Clinical and Laboratory Standards Institute.
- 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.
- Cortéz, R.E. 2009. Métodos estadísticos de evaluación de la concordancia y la reproducibilidad de pruebas diagnósticas. *Rev Colomb Obstet Ginecol*. 61, 247-55.
- Devillers N., Le Dividich, J., Prunier, A. (2011). Influence of colostrum intake on piglet survival and immunity. *Animal* 5: 1605 – 1612.
- Duffau, B., Rojas, F., Guerrero, I., Roa, L., Rodríguez, L., Soto, M. 2010. Validación de métodos y determinación de la incertidumbre de la medición. Aspectos generales sobre la validación de métodos. Santiago de Chile: Departamento de salud ambiental. Instituto de Salud Pública.

- FAO: Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. 2007. Producción y manejo de datos de composición química de alimentos en nutrición. Instituto de nutrición y tecnología de los alimentos. Universidad de Chile.
- Farmer, C. y Quesnel, H. (2009). Nutritional, hormonal, and enviromental effects on colostrum in sow. *J.Anim.Sci.* 87(13): 56-64.
- Hanneman, S. K. 2008. Design, analysis and interpretation of method-comparison studies. *AACN advanced critical care*, 19(2), 223.
- Hurley W.L (2015). The gestating and lactating sow Chapter 9: Composition of sow colostrum. *Wageningen Academic Publishers*
- Laws, J., Amusquivar, E., Herrera, E., Lean, I.J., Dodds, P.F., Clarke, L. (2009). Supplementation of sow diets with oil during gestation: Sow body condition, milk yield and milk composition. *Livestock Science*, 123: 88-96.
- Loisel, F., Farmer, C., Ramaekers, P. and Quesnel, H. (2013). Effects of high fiber intake during late pregnancy on sow physiology, colostrum producción, and piglet performance. *J. Anim. Sci.* 91: 5269-5279.
- Ortiz, R.R., Orozco, A.G, Martinez, H.E.F., Perez, R.E.S., (2015) Efecto de la adición de nopal (*Opuntia ficus-indica*) a la dieta de cerdas en fase de lactación sobre la calidad de la leche. Producción y aprovechamiento del Nopal y Maguey. Desarrollo y bienestar sustentables a través del nopal y maguey. XIV Simposium-Taller nacional y VII Internacional. Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León. 15 y 16 de Octubre de 2015. Monterrey Nuevo León. 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 consumo 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.
- SAS: Statistical Analysis System Institute 2010. Guide for personal computers. Version 8.
- Schieck, S., Kerr, B., Baidoo, S., Shurson, G., Johnston, L. (2010). Use of crude glycerol, a biodiesel coproduct, in diets for lactating sows. *J. Anim. Sci.* 88: 2648-2656.

*“EFECTO DE LA ADICIÓN DE NOPAL (O. ficus-indica) EN LA DIETA DE CERDAS LACTANTES SOBRE LA PRODUCCIÓN, CALIDAD DE LA LECHE Y DESARROLLO DEL LECHÓN”*

Vasquez, E.R., y Caballero, A. 2011. Inconsistencia del coeficiente de variación para expresar la variabilidad de un experimento en un modelo de análisis de varianza. *Cultivos Tropicales*, 32(3), 42-45.

### ARTICULO 3

## EFFECTO DE LA ADICIÓN DE NOPAL (*Opuntia ficus-indica*) A LA DIETA DE CERDAS LACTANTES SOBRE LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE LA LECHE

### Resumen

Se evaluó el efecto de la adición de nopal (*Opuntia ficus-indica*) a la dieta de cerdas lactantes sobre la producción y calidad de la leche. 22 cerdas híbridas (Yorkshire x Landrace x Pietrain), próximas al parto fueron seleccionadas al azar, con las que se formaron dos grupos (G): G testigo (GT) (n=11) cerdas que recibieron alimento balanceado *ad libitum* y G experimental (GE) (n=11) cerdas que recibieron 1% d<sup>-1</sup> de nopal cerda<sup>-1</sup> (con respecto al peso corporal de la cerda antes del parto) más alimento balanceado *ad libitum* durante 21 días de lactación. Las variables evaluadas fueron: producción láctea en los días 6, 10 y 15 postparto, así como los porcentajes de: lactosa, proteína y grasa en leche en los días 3, 11 y 17 de lactación. La información recabada se analizó mediante la metodología de mediciones repetidas y las diferencias entre grupos se obtuvieron a través de medias de mínimos cuadrados. No se encontró efecto de grupo sobre la producción láctea (P = 0.4904). sin embargo, el pico de producción láctea fue al 15<sup>vo</sup> día de lactación: 9.1 y 8.7 kg de leche para GE y GT, respectivamente. Los promedios (%) generales de los componentes físico-químicos de la leche: lactosa (6.6±0.57), proteína (4.5±0.40) y grasa (7.9±1.6) no fueron afectados por el grupo (P>0.05). La adición de nopal a la dieta de cerdas lactantes no modifica la producción ni los componentes físico-químicos (proteína, lactosa y grasa) de la leche de las cerdas lo que asegura el desarrollo del lechón del nacimiento al destete (21 días de edad).

**Palabras Clave:** Alimentación, hipofagia lactacional, glucosa, lechón

## Introducción

La utilización de cerdos (*Sus scrofa domestica*) mejorados genéticamente en los sistemas de producción porcina, tiene como objetivo incrementar la productividad del sistema de producción (mayor velocidad de crecimiento) y mejorar la calidad del producto (magrez de la canal) (Murillo *et al.*, 2013, 113). Sin embargo, las actuales líneas genéticas utilizadas en producción de cerdos, sobre todo las especializadas en velocidad de crecimiento, han mostrado problemas en la eficiencia reproductiva, puesto que en estas líneas genéticas se ha agudizado el fenómeno conocido como hipofagia fisiológica lactacional (Quesnel *et al.*, 2009, 533). Ésta condición provoca la disminución del consumo de alimento voluntario de las cerdas durante la primera semana de lactancia, para posteriormente restablecerse (Capdevila, 2006, 1). Al respecto, Kim y Wu (2008, 89) y Kim *et al.*, (2013, 2) establecieron que un menor consumo de alimento durante la fase de lactación afecta los indicadores productivos y reproductivos de las cerdas, manifestándose en una menor producción láctea, menor peso del lechón al destete, mayor pérdida de peso corporal de la cerda al destete, incremento en el intervalo destete-estro, así como, decremento en la fertilidad y prolificidad de las cerdas destetadas. Aspectos que repercuten negativamente en la productividad de los sistemas de producción e incrementan los costos de producción (Murillo *et al.*, 2013, 114).

La disminución del consumo de alimento de las cerdas, provocado por la hipofagia fisiológica lactacional, está ligado al cambio endocrinológico originado por la proximidad del parto y se acentúa, al inicio de la lactación (Cools *et al.*, 2013, 22; Pérez *et al.*, 2015, 146). Ante la proximidad del parto, se aumenta la concentración de glucosa sanguínea y, durante el parto, se incrementa la síntesis y liberación de estrógenos. Así, la combinación del incremento de la

glucosa sanguínea y de estrógenos activan el mecanismo, a nivel hipotalámico, que estimula los receptores de proopiomelanocortina, principalmente MC3 y MC4 responsables de inhibir la sensación de apetito en las cerdas (Peré y Etienne, 2007, 109; Quesnel *et al.*, 2009, 539). Este mecanismo fisiológico es perfectamente soportado por hembras cuya selección no haya sido a través de indicadores tales como magrez y velocidad de crecimiento. Las hembras que poseen una aceptable cantidad de grasa dorsal ( $\geq 24$  mm) toleran mejor la hipofagia fisiológica lactacional y su productividad subsiguiente al periodo de lactación no se ve tan afectada (Peré y Etienne, 2007, 109) como en aquellas hembras que genéticamente poseen menor grasa corporal (Murillo *et al.*, 2007, 384), esencial para enfrentar las consecuencias de una disminución del consumo de alimento voluntario durante la fase de lactación.

Entre las alteraciones metabólicas que afectan el consumo de alimento de las cerdas lactantes, destaca el incremento de sustratos energéticos (glucosa principalmente) a nivel sanguíneo, esenciales en esta fase para la síntesis y producción de leche (Valros *et al.*, 2003, 156; Quesnel *et al.*, 2009, 539). Motivo por el cual, el detrimento del consumo de alimento (hipofagia fisiológica lactacional) de las cerdas, durante la fase de lactancia, se seguirá presentando; debido a que es un efecto fisiológico inherente de la cerda.

Meunier *et al.*, (2001, 54) y Rajesh y Berrocoso (2016, 19) en investigaciones para mitigar la hipofagia lactacional en cerdas observaron efectos benéficos de la fibra dietética sobre el consumo de alimento en cerdas lactantes. Ello debido a los efectos favorables de la fibra dietética sobre el perfil metabólico, bacteriano, la fermentación, tiempo de tránsito de la ingesta, y, mayor capacidad de retención de agua (Serena *et al.*, 2007, 117); Rajesh y Berrocoso, 2016, 19). Otras estrategias implementadas para contrarrestar los efectos de la hipofagia fisiológica

lactacional, se basan principalmente en: incrementar la energía y disminuir el volumen de proteína en las dietas o sustituir el almidón de cereales por almidón de guisantes más la adición de aminoácidos sintéticos en las dietas (Lovise *et al.*, 2013, 211) o incrementar lisina (1.10%) y proteínas (19.0%) en dietas de cerdas lactantes (Huang *et al.*, 2013, 483). Sin embargo, dichas estrategias han fracasado, puesto que no lograron 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, 109).

En investigaciones recientes con cerdas híbridas (Yorkshire x Landrace x Pietrain) y en fase de lactación, se encontró que el consumo voluntario de alimento de éstas hembras se incrementó cuando se sometieron a una dieta complementada con nopal (*Opuntia ficus-indica*) (Ortiz *et al.*, 2014, 211); puesto que ésta cactácea posee propiedades hipoglucémicas e hipocolesterolemicas (Hwan *et al.* 2017). En investigaciones, la fibra dietética del nopal (*Opuntia spp*), se ha relacionado con una mejora en el metabolismo de la glucosa, debido a un efecto positivo sobre la síntesis de insulina (Núñez *et al.*, 2013, 10984). Por lo que, el consumo de nopal podría regular la glucosa sanguínea, aminorando la resistencia a insulina durante la fase de lactación y que en gran parte sería el factor de la presentación de la hipofagia fisiológica lactacional, en las cerdas (Pére y Etienne, 2007, 109; Mosnier *et al.*, 2010, 128).

Ortiz *et al.*, (2014, 216) observaron en cerdas lactantes que consumieron una dieta complementada con *O. ficus-indica* una disminución de los niveles de glucosa sanguínea, incremento del consumo de alimento voluntario de las cerdas hasta en 28% y menor pérdida de peso corporal ( $\leq 10\%$ ) al término de la fase de lactancia. Sin embargo, se sabe que la

modificación de la dieta de la cerda en fase de lactación, puede afectar la producción y calidad láctea (Shieck *et al.*, 2010, 2654; Loisel *et al.*, 2013, 5270) y, en consecuencia, el desarrollo del lechón, (Farmer y Quesnel, 2009, 59; Devillers *et al.*, 2011, 1605). Por ello, se debe tener en cuenta que, la inclusión de nopal a la dieta de cerdas lactantes puede afectar la producción y calidad de la leche, debido al efecto hipoglucémico e hipocolesterolemico que posee ésta catacea (Hwan *et al.* 2017). Si esto es así (cambio en la producción y calidad de la leche), sería nula la posibilidad de mejorar la productividad de la cerda, mediante esta estrategia. Puesto que, al cambiar la cantidad y calidad de la leche por efecto de la ingesta de nopal, se afectaría el desarrollo y la viabilidad de la camada. Por ello, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la adición de nopal (*O. ficus- indica*) a la dieta de cerdas lactantes sobre la producción y calidad de la leche.

## **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 102° 9' 30" oeste, cuyas características climatológicas son: temperatura mínima de 25°C y máxima de 26,1°C; precipitación pluvial 609,0 mm; con heladas en diciembre y febrero (INEGI, 2010).

Se monitorearon 22 cerdas híbridas (Yorkshire x Landrace x Pietrain) con una edad promedio (medida en partos) de  $4.0 \pm 1.4$  parto y con un peso promedio de  $237.5 \pm 32.5$  kg, mismas que parieron en diferentes fechas; debido a la capacidad y características de la sala de maternidad

donde fueron alojadas. Esta área solo permite alojar a seis hembras por mes. Por ello, en los primeros tres meses de la fase experimental se monitorearon a 18 cerdas (seis por mes) mientras que, en el cuarto mes, se monitorearon 4 cerdas puesto que solo ésta cantidad ingresó a la sala de parto y lactancia. El número de cerdas que ingresó al área de parto y lactancia por mes se dividido en dos grupos: grupo testigo (GT) y grupo experimental (GE).

El área de parto y lactancia cuenta con: seis jaulas elevadas del piso y cada jaula tiene un comedero tipo cangilón en acero inoxidable (44.5 cm/ancho, 37.0 cm/alto y 33.0 cm/fondo) y bebedero automático tipo chupón. La temperatura de ésta área se mantiene constante (18 °C; para las cerdas y sus camadas) a través de un calefactor automático tipo infrarrojo marca Holme® con potencia de 750 a 1500 W. La ventilación se controló a través del manejo de cortinas.

Al entrar las cerdas al área de parto y lactancia se procedió a asignar a cada cerda de forma aleatoria, al grupo al cual pertenecería (GT o GE) de esta manera se monitorearon en el GT 11 hembras e igual número de hembras en el GE. A las hembras del GT se les ofreció alimento balanceado sin la adición de nopal a la dieta. El GE recibió alimento balanceado más 1% de nopal en base fresca (con respecto al peso pre-parto de cada cerda). Tanto el GT como el GE se sometieron a las mismas prácticas zootécnicas durante la fase de lactancia (21 días). El ingreso de las cerdas al área de maternidad se realizó a los cinco días antes de la fecha de parto probable. La alimentación de éstas cerdas (GT y GE) durante los cinco días previos al parto consistió en 2.5 kg diarios ( $d^{-1}$ ) de alimento balanceado para hembras gestantes. Posterior al parto, a cada cerda de cada grupo se le ofreció alimento para hembras lactantes (Tabla 1) *ad libitum* durante 21 días de lactancia. Únicamente en el GE se adicionó al alimento balanceado de cada cerda el

1% de nopal (*O. ficus-indica*). La cantidad de alimento balanceado suministrado cerda<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> fue de 8 kg, mismo que se dividió en dos porciones: la primera porción se proporcionó a las 8:00 h y la segunda, a las 13:00 h. La adición del 1% de *O. ficus-indica* nopal a la dieta del GE se realizó a las 7:30 h durante los 21 días de lactación.

Los cladodios de nopal *O. ficus-indica* (especie que carece de espinas) fueron recolectados de la parcela de la Posta Zootécnica de la FMVZ-UMSNH. Estos cladodios pertenecían al tercer nivel (del suelo hacia arriba) (Santos *et al.* 1990, citados por la FAO, 2003) y poseían una edad aproximada de 90 días. Las características morfológicas y bromatológicas de dichos cladodios se presentan en la Tabla 1. Una vez recolectados los cladodios, no se sometieron a proceso de lavado o de desinfección, únicamente se procedió a picarlos en trozos de 3x3 cm<sup>2</sup>. Inmediatamente después de picar el nopal, se ofreció la cantidad correspondiente a cada cerda del GE, previo retiro del alimento sobrante del día anterior. Treinta minutos después de suministrar el nopal se ofreció el alimento balanceado a las cerdas de éste grupo.

**Tabla 1.** características morfológicas y bromatológicas de los cladodios de *O. ficus-indica* del tercer nivel.

Variable	Promedio	D.E.
Largo del cladodio (cm)	46.9	4.7
Ancho del cladodio (cm)	15.5	2.6
Peso fresco (kg)	1.1	0.3
Humedad (%)	88.9	3.3
Cenizas (%)	26.5	2.5
Fibra (%)	32.9	1.2
Proteína cruda (%)	5.2	0.8
Grasa (%)	0.5	0.08
E.L.N. (%)	34.6	2.6

Después del parto, los lechones fueron pesados e identificados por medio de aretes enumerados.

Las camadas ( $9.1 \pm 2.3$  lechones nacidos vivos camada<sup>-1</sup>) se uniformaron a ocho lechones 24 h

post-parto; cuidando que el peso del lechón (adoptado) fuera similar a los de la camada adoptiva. Ésta práctica se realizó para evitar sesgos en los resultados puesto que se sabe que el tamaño de camada influye en la producción de leche y en pérdida de peso corporal de las cerdas durante la fase de lactación (Kim *et al.* 2013, 5) Todas las camadas recibieron alimento comercial® (pre-iniciación) a partir del 15<sup>vo</sup> día de edad.

**Tabla 2.** Insumos y análisis bromatológico del alimento para hembras gestantes y lactantes\*

Ingredientes	Gestante	Lactante
	Contenido (g./kg)	Contenido (g./kg)
Sorgo	824.0	649.7
Pasta de soja	60.0	100.0
Pasta de canola	61.5	185.3
Aceite de soja	22.0	38.5
Sal	4.0	4.0
Ortofosfato	11.8	5.4
Carbonato de calcio	14.0	12.4
Lisina	1.2	2.5
Vitaminas y minerales	2.0	2.5

<i>Análisis bromatológico</i>	Alimento* <sup>&amp;</sup> para	Alimento* <sup>&amp;</sup>	Alimento* <sup>&amp;</sup> + nopal <sup>&amp;</sup>
	gestación	para lactación	para lactación
	(G. Testigo y Experimental)	(G. Testigo)	(G. Experimental)
Humedad %	9.5	12.0	12.8
Cenizas %	5.6	10.0	9.9
Fibra %	3.5	4.3	4.5
Proteína Cruda %	12.5	17.5	17.4
Grasa %	4.8	4.5	4.4
Energía metabolizable, MJ/kd <sup>d</sup>	9.6	9.6	9.6

\*Elaborado en el Sector de Alimentos perteneciente a la FMVZ-UMSNH con base a 16% de proteína cruda (PC);  
<sup>&</sup>= alimento en forma de harina

Las variables evaluadas fueron: consumo diario de alimento voluntario, producción láctea cerda<sup>1</sup>, calidad de la leche y pérdida de peso de la cerda durante la fase de lactación. El alimento sobrante d<sup>-1</sup> cerda<sup>-1</sup> en ambos grupos se pesó en una báscula digital (Dibatec®; capacidad de 40 kg y precisión de ± 5g); previo a la alimentación de las 8:00 h para obtener el consumo

voluntario de alimento cerda<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>. La estimación de producción láctea d<sup>-1</sup> de las cerdas se realizó de acuerdo a la metodología propuesta por Sinclair *et al.* (1999; citados por Laws *et al.*, 2009, 89), misma que consiste en el método pesaje succión–pesaje de cada lechón en los días 6, 10 y 15 de nacimiento. Cada lechón fue pesado (bascula digital, venta, Dibatec®; capacidad de 40 kg y precisión de ± 5g) antes y después de ser amamantados. Actividad que se realizó cuatro veces d<sup>-1</sup>. Además, se registró el tiempo de amamantamiento y el intervalo entre estos. Con esta información se estimó la producción de leche cerda<sup>-1</sup> en los días 6, 10 y 15 de lactación y para ello se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Producción de leche (kg)} = W + U + D + M$$

Dónde:

W= ganancia de peso (kg) del lechón<sup>-1</sup>

U= pérdida de peso debido a la micción

D= pérdida de peso debido a la defecación

M= pérdida de peso metabólico

La pérdida de peso debido a la micción (U) fue calculada con la ecuación descrita por Klaver *et al.* (1981, 1093)

$$U = [NU * (2.9 * W^{0.75} + 18.7)]$$

Dónde:

NU= número de micciones

W<sup>0.75</sup> = peso metabólico.

Se tomó en cuenta 10 g como pérdida por defecación (D) de acuerdo con Sinclair *et al.* (1999; citados por Laws *et al.*, 2009, 89). Y la estimación para la pérdida de peso metabólico (M) se calculó usando la ecuación descrita por Noblet y Etienne (1986, 1890).

$$M (mg) = 60 \text{ por kg de peso } \text{min}^{-1}$$

Para la evaluación de la calidad de la leche, se extrajeron 10 mL de leche cerda<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> en el 3<sup>er</sup>, 11<sup>vo</sup> y 17<sup>vo</sup> días de lactación. La extracción de esta fue de forma manual (ordeño), previa administración de 2 mL de oxitocina<sup>®</sup> vía intramuscular; un minuto después de la aplicación de oxitocina se procedió a dar masaje a la ubre y se realizó el ordeño. Cada muestra se colocó en envases esterilizados e identificados, mismos que se refrigeraron a 4°C para su posterior análisis mediante el equipo Lactoscan<sup>®</sup>, el cual determinó el contenido de lactosa, proteína y grasa.

La pérdida de peso corporal de la cerda (PPC<sub>kg</sub>) durante la fase de lactancia, se determinó mediante el peso vivo de las cerdas pre-parto (día 110 de gestación) menos el peso vivo de la cerda al culminar la fase de lactación (21 días post-parto). Estos pesos se obtuvieron mediante una báscula electrónica fija (STG-1500-T1500SL, OCONY<sup>®</sup>/México) con capacidad de 1-1500 kg.

$$PPC_{kg} = \text{Peso de la cerda preparto} - \text{Peso al destete}$$

También se evaluó el peso del lechón en los 14 días y al finalizar la fase de lactancia (destete), para ello, se pesó cada lechón cerda<sup>-1</sup> grupo<sup>-1</sup> (báscula digital, venta, Dibatec<sup>®</sup>; capacidad de 40 kg y precisión de ± 5g).

La información recabada en relación a consumo de alimento, producción y calidad de la leche se analizó estadísticamente a través de mediciones repetidas, utilizando para ello la metodología de modelos de efectos fijos (MIXED). Mientras que la información referente al peso del lechón y pérdida de peso de las cerdas se analizó a través de modelos lineales generalizados (GLM) y las diferencias entre grupos se obtuvieron mediante la metodología de medias de mínimos

cuadrados (LsMeans, siglas en inglés) a un  $\alpha=0.05$ . Para la estimación de la producción de leche, durante los 21 días de la fase de lactación, se calcularon los estimadores de la regresión polinómica ( $\beta_0$ ,  $\beta_1$  y  $\beta_2$ ) para ambos grupos utilizando el día de lactación como efecto lineal y cuadrático (SAS, 2000).

## Resultados

Se encontró efecto de grupo ( $P=0.0001$ ) y de la anidación grupo(semána) ( $P=0.0001$ ) sobre el consumo de alimento voluntario  $d^{-1}$  cerda $^{-1}$ . En la primera semana de lactación se observó menor consumo de alimento balanceado en ambos grupos ( $P<0.05$ ) en comparación con el resto de semanas analizadas (Tabla 3). Sin embargo, el consumo de alimento balanceado, en cada una de las semanas evaluadas, fue mayor en el GE ( $P<0.05$ ) en comparación con el consumo de alimento del GT (Tabla 3).

**Tabla 3.** Medias de mínimos cuadrados para consumo voluntario de alimento en las cerdas en fase de lactación de acuerdo al grupo y a la semana de lactación.

Días Post-parto (semanas)	Grupo				
	Testigo (GT)	Experimental (GE)			
	Alimento*	Alimento*	Alimento* más nopal <sub>(BS)</sub>	Nopal <sub>(BF)</sub>	Alimento* más nopal <sub>(BF)</sub>
	$\bar{x} \pm E.E.$	$\bar{x} \pm E.E.$	$\bar{x} \pm E.E.$	$\bar{x} \pm E.E.$	$\bar{x} \pm E.E.$
1-7 (1)	4.0 <sup>a1</sup> $\pm$ 0.16	4.6 <sup>a2</sup> $\pm$ 0.16	4.9 <sup>a2</sup> $\pm$ 0.16	1.9 <sup>a</sup> $\pm$ 0.04	6.6 <sup>a2</sup> $\pm$ 0.17
8-14 (2)	4.9 <sup>b1</sup> $\pm$ 0.16	6.0 <sup>b2</sup> $\pm$ 0.16	6.2 <sup>b2</sup> $\pm$ 0.16	1.8 <sup>a</sup> $\pm$ 0.04	7.8 <sup>b2</sup> $\pm$ 0.17
15-21 (3)	5.3 <sup>b1</sup> $\pm$ 0.17	6.1 <sup>b2</sup> $\pm$ 0.17	6.3 <sup>b2</sup> $\pm$ 0.17	2.0 <sup>a</sup> $\pm$ 0.04	8.1 <sup>b2</sup> $\pm$ 0.18

\*= Balanceado en base seca (BS); BF= base fresca (kg)

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

Numerales <sup>1,2</sup> indican diferencias ( $P<0.05$ ) dentro de fila.

En relación a la producción de leche de las cerdas, ésta no fue afectada por el grupo ( $P=0.4904$ ).

En este sentido, se encontró una producción promedio de  $7.2 \pm 2.2$  y  $7.4 \pm 2.7$  kg de leche cerda $^{-1}$

<sup>1</sup> para GT y GE, respectivamente (Tabla 4). Sin embargo, de acuerdo con los estimadores de la

regresión polinómica (GT:  $\beta_1= 1.0326$ ,  $\beta_2= -0.0341$ ,  $P<0.0001$  y; GE:  $\beta_1= 1.0844$ ,  $\beta_2= -0.0331$ ,

P>0.0001) sobre la producción de leche determinó que conforme la fase de lactación avanza la producción de leche se incrementa, siendo en el 15<sup>vo</sup> día de lactación cuando las cerdas, de ambos grupos, mostraron el pico de producción: 8.7 y 9.1 kg de leche cerda<sup>-1</sup> para GT y GE, respectivamente.

En relación al contenido de lactosa, proteína y grasa de la leche de las cerdas, no se encontró efecto del grupo sobre éstos nutrientes (P= 0.5635, P=0.9396 y P= 0.0564, respectivamente). En este sentido, los promedios generales de estos nutrientes fueron como sigue: 6.6 ± 0.57% para lactosa, 4.5 ± 0.40% para proteína y 7.9 ± 1.6% para grasa. No obstante, se encontró efecto de la anidación grupo(día lactación) sobre el contenido de lactosa, proteína y grasa de la leche (P>0.001). De esta manera, el mayor valor lo presentaron en el 3<sup>er</sup> día de lactación (P<0.05), ello en comparación con el 7<sup>mo</sup> y 11<sup>vo</sup> día de lactación (Tabla 4).

**Tabla 4.** Medias de mínimos cuadrados para producción y calidad de la leche de acuerdo al grupo y día de lactación.

Indicador	Día de lactación	Grupo	
		Testigo $\bar{X} \pm E.E.$	Experimental $\bar{X} \pm E.E.$
Producción de leche (kg)	3	3.7 <sup>a1</sup> ± 0.46	3.2 <sup>a1</sup> ± 0.46
	7	6.5 <sup>b1</sup> ± 0.46	6.2 <sup>b1</sup> ± 0.46
	11	8.2 <sup>c1</sup> ± 0.46	8.2 <sup>c1</sup> ± 0.46
	15	8.7 <sup>c1</sup> ± 0.46	9.1 <sup>c1</sup> ± 0.46
	19	8.2 <sup>c1</sup> ± 0.46	8.9 <sup>c1</sup> ± 0.46
	21	7.6 <sup>c1</sup> ± 0.46	8.4 <sup>c1</sup> ± 0.46
		$\bar{X} \pm E.E.$	<b>7.2<sup>1</sup> ± 0.19</b>
Lactosa (%)	3	7.1 <sup>a1</sup> ± 0.12	7.3 <sup>a1</sup> ± 0.12
	11	6.6 <sup>b1</sup> ± 0.12	6.9 <sup>b1</sup> ± 0.12
	17	6.1 <sup>c1</sup> ± 0.12	5.8 <sup>c1</sup> ± 0.12
		$\bar{X} \pm E.E.$	<b>6.6<sup>1</sup> ± 0.07</b>
Proteína (%)	3	5.0 <sup>a1</sup> ± 0.08	5.1 <sup>a1</sup> ± 0.08
	11	4.5 <sup>b1</sup> ± 0.08	4.6 <sup>b1</sup> ± 0.08
	17	4.0 <sup>c1</sup> ± 0.08	3.8 <sup>c1</sup> ± 0.08

“EFECTO DE LA ADICIÓN DE NOPAL (*O. ficus-indica*) EN LA DIETA DE CERDAS LACTANTES SOBRE LA PRODUCCIÓN, CALIDAD DE LA LECHE Y DESARROLLO DEL LECHÓN”

		$\bar{X} \pm E.E.$	<b>4.5<sup>1</sup> ± 0.49</b>	<b>4.5<sup>1</sup> ± 0.49</b>
Grasa (%)	3		11.1 <sup>a1</sup> ± 0.34	10.7 <sup>a1</sup> ± 0.34
	11		7.9 <sup>b1</sup> ± 0.34	7.1 <sup>b1</sup> ± 0.34
	17		5.6 <sup>c1</sup> ± 0.34	5.0 <sup>c1</sup> ± 0.34
		$\bar{X} \pm E.E.$	<b>8.2<sup>1</sup> ± 0.19</b>	<b>7.6<sup>1</sup> ± 0.19</b>

Literales <sup>a, b</sup> indican diferencias (P < 0.05) dentro de columna e indicador.

Numerales <sup>1, 2</sup> indican diferencias (P < 0.05) dentro de fila.

En relación al peso del lechón no fue afectado por el grupo (P=0.6533), de esta manera el peso a los 14 días de nacido, antes de que iniciara con el consumo de alimento sólido (pre-iniciador) y, al destete (21 días de edad) fue similar (P>0.05) (Tabla 5). Finalmente, se encontró efecto de la pérdida de peso corporal y porcentaje de pérdida de peso (<.0001), de esta manera las cerdas del GT registraron mayor pérdida de peso (10.8 ± 2.0 %) durante la lactancia (P<0.05) en comparación con el GE (6.5 ± 3.2%) (Tabla 5).

**Tabla 5.** Medias de mínimos cuadrados para el peso de los lechones y la pérdida de peso corporal de la cerda durante la fase de lactancia.

Indicador	Grupo	
	Testigo (GT) $\bar{x} \pm E.E.$	Experimental (GE) $\bar{x} \pm E.E.$
<i>Lechón</i>		
Peso a 14 días de lactancia (kg)	3.7 <sup>a1</sup> ± 0.1	3.7 <sup>a1</sup> ± 0.1
Peso a 21 días de lactancia (destete) (kg)	5.0 <sup>b1</sup> ± 0.1	5.1 <sup>b1</sup> ± 0.1
<i>Cerda</i>		
Pérdida de peso (kg)	25.2 <sup>1</sup> ± 0.6	16.3 <sup>2</sup> ± 0.6
Pérdida de peso (%)	10.8 <sup>1</sup> ± 0.2	6.5 <sup>2</sup> ± 0.2

Literales <sup>a, b</sup> indican diferencias (P < 0.05) dentro de columna e indicador.

Numerales <sup>1, 2</sup> indican diferencias (P < 0.05) dentro de fila.

## Discusión

Los resultados sobre el consumo voluntario de las cerdas durante la fase de lactación (Tabla 3), en ambos grupos analizados, concuerdan (de manera general) con el comportamiento descrito en cerdas lactantes bajo los efectos de la hipofagia lactacional, es decir, en la primera semana de lactación se observa un menor consumo si se compara con la segunda y tercera semana de

lactación (Martínez *et al.* 2014, 640). Sin embargo, los resultados del GE mostraron, que la ingesta de nopal mejoró el consumo de alimento en las cerdas lactantes, no solo en la primera semana, sino también en la segunda y tercera semana de lactación ( $P < 0.05$ ). Esto pudiera sugerir que, el uso del nopal como complemento de la dieta de cerdas lactantes si no elimina el efecto de la hipofagia fisiológica lactacional, si lo aminora. Aspecto que puede ser reforzado con lo observado por Ortiz *et al.* (2014, 7), quienes al evaluar cerdas de genotipo Yorkshire x Landrace x Pietrain, bajo una dieta complementada con 1% de *O. ficus-indica* cerda<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> encontraron que éstas mostraron un mayor consumo de alimento voluntario durante la fase de lactación ( $P < 0.05$ ): 4.5 y 6.8 kg d<sup>-1</sup> cerda<sup>-1</sup> en la primera y segunda semana de lactación, respectivamente; respecto al consumo de las cerdas que no recibieron en la dieta el complemento del nopal: 3.3 y 4.9 kg d<sup>-1</sup> cerda<sup>-1</sup> en la primera y segunda semana de lactación, respectivamente.

El comportamiento del incremento del consumo voluntario de las cerdas del GE, durante las tres semanas de lactación evaluadas (Tabla 3), pudiera explicarse a través del efecto hipoglucémico provocado por la ingesta de nopal. Al respecto, Ortiz *et al.* (2015, 825) observaron en 17 cerdas (Yorkshire x Landrace x Pietrain) sometidas a una dieta complementada con nopal una disminución ( $P < 0.05$ ) de glucosa sanguínea (55.0 y 64.4 mg/dL de glucosa sanguínea pre y post-prandial, respectivamente) en comparación con los niveles sanguíneos de glucosa en cerdas (n=17) del mismo genotipo, a las cuales no se le adicionó nopal a la dieta (70.9 y 80.1 mg/dL pre y post-prandial, respectivamente). En este sentido, estos mismos investigadores reportan que las cerdas con menores niveles de glucosa sanguínea mostraron mayor consumo de alimento voluntario durante la fase de lactación ( $P < 0.05$ ). Para González *et al.* (2006, 197) y Deldicque *et al.* (2013, 1) la respuesta del organismo ante la disminución de la glucosa sanguínea es la

inhibición de la secreción de insulina y leptina (cuya acción es anorexígena) y, esta acción, provoca la expresión de neuropeptido-Y y el incremento de ghrelina; mecanismo que genera la sensación de apetito.

La hipoglucemia de las cerdas lactantes causada por la ingesta del nopal, puede asociarse al contenido  $\text{Ca}^{+2}$  ( $28.6 \text{ mg g}^{-1}$  de materia seca) que poseen los cladodios de ésta planta (Hernández *et al.*, 2011, 1292), mismo que se ha asociado con la regulación de la glucosa sanguínea al estimular la secreción de insulina (Peri y Latha, 2005, 22). En relación al consumo de  $\text{Ca}^{+2}$  provisto por la cantidad de nopal ofrecido  $\text{d}^{-1}$  cerda $^{-1}$  en esta investigación (Tabla 3) y, asumiendo la cifra de  $28.6 \text{ mg g}^{-1}$  de materia seca, éste pudo estar dentro de un rango de 6.1 a 6.8 g de  $\text{Ca}^{+2}$ . Dicha cantidad aportada por el nopal más el aportado por el  $\text{CaCO}_3$  provisto en el alimento balanceado ( $12.4 \text{ g kg}^{-1}$ ; Tabla 2) pudo generar un consumo de este mineral cerda $^{-1}$   $\text{d}^{-1}$  entre 63.1 a 82.4 g en las cerdas del GE de acuerdo al consumo  $\text{d}^{-1}$  semana $^{-1}$  (Tabla 3). Aporte de  $\text{Ca}^{+2}$  superior si se compara con la ingesta de calcio cerda  $\text{d}^{-1}$  en el GT: 49.6 a 65.7 g de  $\text{CaCO}_3$ ; rango establecido de acuerdo al consumo  $\text{d}^{-1}$  cerda $^{-1}$  semana $^{-1}$  (Tabla 3).

La fibra dietética no fermentable también puede generar el establecimiento de las señales del apetito (González *et al.*, 2006, 197), puesto que estimula la liberación del péptido GLP-1, induciendo la liberación de insulina y la inhibición de la producción hepática de glucosa (Núñez *et al.*, 2013, 10984). Aspecto que no puede descartarse como un elemento más que pudiera explicar el incremento del consumo de alimento voluntario de las cerdas sometidas a la dieta adicionada con *O. ficus-indica*. Puesto que ésta cactácea contiene 28.45% de fibra dietética no fermentable (Castillo *et al.* 2013, 21).

Aún y cuando las cerdas del GE presentaron un mayor consumo de alimento balanceado a lo largo de las tres semanas de lactación evaluadas (Tabla 3), este incremento del consumo de alimento no se vio reflejado en la producción de leche de las cerdas de dicho grupo (Tabla 3). Aspecto que concuerda con Lovise *et al.* (2013, 215), quienes sugieren que las cerdas con condición corporal “adecuada”, el consumo adicional de alimento por parte de éstas no se refleja en la producción de leche; más bien, el alimento adicional, lo utilizan para reducir la pérdida de peso durante la lactancia. Tal vez por esta razón, ambos grupos analizados presentaron el mismo comportamiento productivo (kg de leche d<sup>-1</sup>). Lee *et al.* (2014; 5) observaron una producción promedio de 8.5 kg de leche cerda<sup>-1</sup> en lactancia de 21 días. Resultado mayor al encontrado en esta investigación:  $7.2 \pm 2.2$  y  $7.4 \pm 2.7$  kg de leche, para el GT y GE, respectivamente (Tabla 4). Esta diferencia entre lo reportado por Lee *et al.* (2014; 5) y los resultados de la presente investigación, pudo deberse principalmente a aspectos genéticos, ello sin descartar los aspectos ambientales (Farmer y Quesnel, 2009, 56).

Por otra parte, el comportamiento de la producción de leche observado a lo largo de la fase de lactación en esta investigación (Tabla 4) concuerda con Hansen *et al.* (2012, 2292), quienes al caracterizar la curva de producción de leche encontraron el pico de producción (7.4 a 8.4 kg de leche) dentro de un rango de 15 a 18 días en cerdas que amantaban a 8.0 lechones. Con respecto al descenso de la producción láctea, este comportamiento es característico de la especie (descenso en la producción láctea, a partir del 15<sup>vo</sup> día de lactación) bajo condiciones de explotación comercial y es causado por una menor intensidad de amamantamiento, debido a que el lechón recibe una fuente de alimentación adicional (pre iniciador) alrededor del 7<sup>mo</sup> o 14<sup>vo</sup> día de edad (Sulabo *et al.*, 2010, 3154). Por lo cual, el descenso de la producción láctea coincide

con el inicio del consumo de alimento sólido por parte de los lechones (Hurley *et al.*, 2003, 80; Theil *et al.*, 2006, 1697). Sin embargo, Farmer y Quesnel (2009, 59) y Devillers *et al.* (2011, 1605), determinaron que el cambio de la alimentación de la cerda, en la fase de lactación, puede afectar no sólo la producción de leche, sino también la calidad láctea. Aspectos que no ocurrieron en el grupo de cerdas que consumieron nopal como parte de su dieta (Tabla 4): la cantidad y la calidad de la leche fue similar al del GT ( $P>0.05$ ).

En cuanto a los valores de lactosa encontrados en esta investigación (Tabla 4), estos fueron similares a los observados por Hurley (2015, 200): 4.9% de lactosa. Hansen *et al.* (2012, 2293) encontraron que el mayor contenido de este carbohidrato, se encuentra durante la primera semana de lactación y que esto concuerda con el periodo de transición de calostro a leche madura. Además, la lactosa es el componente menos variable de la leche (Hurley 2015, 200). La similitud del contenido de lactosa en leche, en ambos grupos analizados, posiblemente se debió a que la energía contenida en ambas dietas fue similar (Tabla 3). Aunado a ello, los carbohidratos presentes en el nopal son fácilmente absorbidos desde el intestino delgado al torrente sanguíneo, lo que permitió que se utilizaran como precursores en la formación de lactosa (Stelwagen, 2011a, 367).

En relación al contenido de proteína en leche (Tabla 4), los valores promedio encontrados en la presente investigación ( $4.5 \pm 0.47$  y  $4.5 \pm 0.72\%$  para GT y GE, respectivamente), son menores a lo observado por Hurley (2015, 205): 5.9%. No obstante, éste mismo investigador determinó que, la proteína de la leche de las cerdas fluctúa entre 4.6 a 9.9% en el 3<sup>er</sup> día postparto. Anterior a éste día, la proteína de la leche se encuentra en su nivel más alto (13.8-19.7%), debido al mayor contenido de inmunoglobulinas que posee el calostro. Posterior al 3<sup>er</sup> día postparto, la

proteína en la leche de las cerdas disminuye. Stelwagen (2011b, 359) y Bionaz *et al.*, (2012, 285), sugieren que las fluctuaciones del contenido proteico de la leche de las cerdas pueden atribuirse a la menor disponibilidad de aminoácidos en la glándula mamaria y la disminución de energía presente conforme progresa la fase de lactación, debido a que la formación de proteína en la leche es uno de los mayores demandantes de energía por parte de la célula.

Con respecto al contenido de grasa en leche, al igual que en el caso de la lactosa y la proteína, ésta no fue modificada por el consumo de nopal (Tabla 4) y los valores encontrados ( $8.2 \pm 2.76$  y  $7.6 \pm 2.84\%$  para GT y GE, respectivamente) concuerdan con lo observado por Hurley (2015, 200): 8.4% de grasa en leche. Sin embargo, el cambio de valor de éste nutriente conforma avanza la fase de lactación (Tabla 4) posiblemente se puede atribuir al periodo de transición de calostro a leche: durante las primeras 24 a 48 h postparto, la secreción mamaria contiene de 5 a 6% de grasa. Posteriormente, en el 3<sup>er</sup> día postparto, la grasa en leche se incrementa hasta en un 13% (Theil *et al.*, 2014, 1023; Hurley, 2015, 202). Hansen *et al.* (2012, 2294), indican que la grasa en leche disminuye conforme transcurre la lactación. Mientras que, Laws *et al.*, (2009, 91) observaron que al final del periodo de lactancia (21 días de lactación) el contenido de la grasa en leche alcanza niveles del 4%. Este descenso paulatino del contenido puede ser atribuido a la pérdida de reservas corporales (grasa, principalmente) lo que involucra una menor movilización de ésta para su utilización en etapas avanzadas de la lactancia (Hansen *et al.*, 2012, 2294).

De acuerdo con los resultados, en torno a la cantidad y contenido nutricional de la leche de cerdas que consumieron nopal, se puede sugerir que los lechones de estas cerdas recibieron la misma cantidad y calidad de la leche que los lechones amantados por cerdas bajo una dieta convencional (GT). Aspecto que se pudo confirmar al establecerse que los pesos del lechón a

los 14 o 21 días de edad fueron similares entre sí ( $P > 0.05$ ), en ambos grupos analizados. Además, Vadmand *et al.* (2015, 2488) establecen que el crecimiento de los lechones durante la fase de lactancia está supeditado a la cantidad y calidad de los nutrientes que ingieran, sobre todo cuando la secreción mamaria es la principal fuente de alimentación.

Finalmente, los resultados sobre pérdida de peso corporal de la cerda indicaron que las cerdas del GT mostraron una mayor pérdida de peso corporal ( $10.8 \pm 2.0 \%$ ) durante la fase de lactación en comparación con el GT ( $6.5 \pm 3.2\%$ ). Ortiz *et al.*, (2014, 16) reportan el mismo comportamiento en cerdas lactantes complementadas con nopal (*O. ficus-indica*); el mayor consumo de alimento, por efecto de la complementación de la dieta de cerdas lactantes con nopal, favoreció a que éstas cerdas tuvieron menor pérdida de peso corporal (7.4%). En este sentido, la dieta complementada con nopal provocó mayor consumo de alimento voluntario por parte de las cerdas, lo que generó mayor disponibilidad de nutrientes y una menor movilización de reservas corporales durante la lactancia (Yang *et al.*, 2009, 211). Pérez *et al.*, (2015, 150) indican que un consumo de alimento inadecuado durante la lactancia se asocia con una menor producción láctea y a una mayor pérdida de peso corporal de las cerdas; por lo que, la adición de nopal en la alimentación de la cerda lactante puede ser una alternativa nutricional viable pues al parecer disminuye los efectos provocados por la hipofagia fisiológica lactacional sin afectar el crecimiento del lechón.

## **Conclusión**

La dieta para cerdas en fase de lactación complementada con *O. ficus-indica* en base fresca puede ser una estrategia viable para mitigar la hipofagia fisiológica lactacional puesto que

estimula a las cerdas lactantes a incrementar el consumo de alimento durante la fase de lactación. Además, dicha complementación de la dieta para cerdas en lactancia, no provoca un detrimento en la producción y calidad nutrimental (lactosa, proteína y grasa) de leche de las cerdas, permitiendo el desarrollo normal del lechón durante la fase de lactancia.

### **Bibliografía.**

- Bionaz, M., Hurley, W., Loor, J., (2012). Milk Protein Synthesis in the Lactating Mammary Gland: Insights from Transcriptomics Analyses. Chapter 11 *INTECH* Pág 285-324
- Capdevila, P.J. (2006). Alimentación de cerdas lactantes I. 3tres3 La página del cerdo. España. [En línea] Disponible en: [http://www.3tres3.com/alimentacion\\_cerda/alimentacion-de-cerdas-lactantes-i\\_1636/](http://www.3tres3.com/alimentacion_cerda/alimentacion-de-cerdas-lactantes-i_1636/) (10 de septiembre de 2016)
- Castillo, S.F., Estrada, L., Margalef, M.I., Tóffoli, S.L. (2013) Obtención de harina de nopal y formulación de alfajores de alto contenido en fibra. *Dieta*. 31(141):20-26
- 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
- Deldicque, L., Van, K.P., Ramaekers, M., Pischel, I., Sievers, H., Hespel, P. (2013). Additive insulinogenic action of *Opuntia ficus-indica* cladode and fruit skin extract and leucine after exercise in healthy males. *J. of the Int. Soc. of Sports Nutrition*. 10(45): 1-6.
- Devillers N., Le Dividich, J., Prunier, A. (2011). Influence of colostrum intake on piglet survival and immunity. *Animal* 5: 1605 – 1612
- FAO (2003), El nopal (*Opuntia spp*) como forraje. En línea.
- Farmer, C. y Quesnel, H. (2009). Nutritional, hormonal, and environmental effects on colostrum in sow. *J.Anim.Sci*. 87(13): 56-64.
- González, M.E.H., Ambrosio, K.G.M., y Sánchez, S.E. (2006). Regulación neuroendócrina del hambre, la saciedad y mantenimiento del balance energético. *Artemisa* 8(3): 191-200

- Hansen, A., Strathe, A., Kebreab, E., France, J., Theil, P. (2012). Predicting milk yield and composition in lactating sows: A Bayesian approach. *J. Anim. Sci.* 90(7): 2285-2298.
- Hernandez, M.I.U., Pérez, E.T., and Rodríguez, M.E.G. (2011) Chemical Analysis of Nutritional Content of Prickly Pads (*Opuntia ficus indica*) at Varied Ages in an Organic Harvest. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 8: 1287-1295.
- 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
- Hurley W.L (2015). The gestating and lactating sow Chapter 9: Composition of sow colostrum. *Wageningen Academic Publishers*
- Hurley, W. L., Ford, J.A. y Kim, S. (2003). How does suckling status of a sow's mammary glands during one lactation impact productivity of the gland during the next lactation. *Technology&Research: allied and Integrated for livestock.* Department of Animal Sciences, University of Illinois, Urbana, IL: USA. pág: 79-83.
- Hwan, S.H., Jun, I.K., Sung, S.L. (2017) Antidiabetic Effect of Fresh Nopal (*Opuntia ficus-indica*) in Low-Dose Streptozotocin-Induced Diabetic Rats Fed a High-Fat Diet. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 1-8.
- INEGI (2010). Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Anuario estadístico del estado de Michoacán Ed. 2009 Pág. 127-142.
- 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.
- Klaver, J., van Kempen, G.J.M., de Lange, P.G.B., Verstegen, M.W.A. and Boer, H. (1981). Milk composition and dally yield of different milk components as affected by sow condition and lactation/feeding régimen. *J. Anim. Sci.* 52 (5): 1091-1097

- Laws, J., Amusquivar, E., Herrera, E., Lean, I.J., Dodds, P.F., Clarke, L. (2009). Supplementation of sow diets with oil during gestation: Sow body condition, milk yield and milk composition. *Livestock Science*, 123: 88-96.
- Lee, S.H., Joo, Y.K., Lee, J.W., Ha, Y.J., Yeo, J.M. and Kim, W.Y. (2014). Dietary conjugated linoleic acid (CLA) increases milk yield without losing body weight in lactating sows. *Journal of animal science and technology*. 56:11 1-9
- Loisel, F., Farmer, C., Ramaekers, P. and Quesnel, H. (2013). Effects of high fiber intake during late pregnancy on sow physiology, colostrum production, and piglet performance. *J. Anim. Sci.* 91: 5269-5279.
- Lovise, S. T., Helen, .A.G., Petter, N.K., Hetland, H., Framstad, T. (2013). Pea starch meal as a substitute for cereal grain in diets for lactating sows: the effect on sow and litter performance. *Livestock science*. 157: 210-217
- Matínez, S., Valera, L., Villodre, C., Madrid, J., Orengo, J., Tvaeijonavičute, A., Cerrón, J.J., Hernández, F. (2014) Effect of feeding on hormones related with feed intake in reproductive sows with different energy balances. *Can. J. Anim. Sci.* 94: 639646
- Meunier, S.M.S., Edwards, S.A., Robert, S. (2001). Effect of dietary fibre on the behaviour and health of the restricted fed sow. *Anim. Feed Sci. Technol.* 90, 53-69.
- Mosnier, E., Etienne, M., Ramaekers, P., Pére, MC. (2010). The metabolic status during the peri partum period affects the voluntary feed intake and the metabolism of the lactating multiparous sow. *Livestock Science*. 127, 127-136.
- Murillo Aluja, A., Álvarez Rodríguez, J., Villalba Mata, D., Cano López, G. (2013). La composición de las dietas de las cerdas lactantes y la producción láctea. *FEDNA*. 113-145.
- Murillo, G.C., Herradora, L.M.A. y Martínez, G.R. (2007). Relación entre la pérdida de grasa dorsal de cerdas lactantes con el consumo de alimento, tamaño de la camada, peso de los lechones al destete y días de lactancia. *Scielo*. 17(4): 380-385
- Noblet J. and Etienne M. (1986). Effect of energy level in lactating sows on yield and composition of milk and nutrient balance of piglets. *J. Anim. Sci.* 63: 1888-1896

- Nuñez, M.A.L., Paredes, O.L. and Reynoso, R.C. (2013). Functional and hypoglycemic properties of nopal cladodes (*O. ficus-indica*) at different maturity stages using in vitro and in vivo test. *Journal of agricultural and food chemistry* 61, 10981-10986.
- Ortiz-Rodríguez R., Ordaz-Ochoa G., Andrade-Hernández E.O., Saucedo P.A y Pérez-Sánchez 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. XIII Simposium-Taller nacional y 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., Ordaz-Ochoa, G., Juárez-Caratachea, A., Pérez-Sánchez, R.E. (2015). Efecto del nopal (*Opuntia ficus-indica*) sobre niveles de glucosa sanguínea en cerdas lactantes y su repercusión en el consumo voluntario de alimento. XXIV congreso de la asociación latinoamericana de producción animal y XL congreso de la sociedad chilena de reproducción animal Sochipa. A.G. Que se llevó a cabo del 9 al 13 de noviembre en Puerto Varas Chile.
- Pari, L. and Latha, M. (2005). Antidiabetic effect of *scoporia dulcis*: Effect on lipid peroxidation in streptozocin diabetes. *Gen. Physiol. Biophys.* 24: 13-26.
- Pérez, M.C., Etienne, M. (2007). Insulin sensitivity during pregnancy, lactation, and postweaning in primiparous gilts. *J Anim. Sci.* 85(1): 101-109.
- Pérez, S.R.E., Ordaz, O.G., Juárez, C.A., García, V.A., Ortiz, R.R. (2015). Efecto del número de parto sobre el consumo 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-Salaün, M.C., Hamard, A., Guillemet, R., Etienne, M., Farmer, C., Dourmad, J.Y., Pérez, M.C. (2009). Dietary fiber for pregnant sows: Influence on sow physiology and performance during lactation. *J. Anim. Sci.* 87: 532-543.
- Rajesh, Jha., Berrococo, J.F.D. (2016). Dietary fiber and protein fermentation in the intestine of swine and their interactive effects on gut health and on the environment: A review. *Anim. Feed Sci. Technol.* 212: 18-28.

- SAS (2000). Statistical Analysis System Institute. Guide for personal computers. Version 8.
- Schieck, S., Kerr, B., Baidoo, S., Shurson, G., Johnston, L. (2010). Use of crude glycerol, a biodiesel coproduct, in diets for lactating sows. *J. Anim. Sci.* 88: 2648-2656.
- Stelwagen K. (2011a). Mammary gland, milk biosynthesis and secretion Lactose. *Elsevier*
- Stelwagen K. (2011b). Mammary gland, milk biosynthesis and secretion Protein. *Elsevier*
- Sulabo, R.C., Tokach, M.D., Dritz, S.S., Goodband, R.D., De rouchey, J.M., and Nelssen, J.L. (2010). Effects of varyin creep feeding duration on the proportion of pigs consuming creep feed and neonatal pig performance. *J. Anim. Sci.* 88: 3154-3162.
- Theil, P.K., Lauridsen, C., Quesnel, H. (2014). Neonatal piglet survival: impact of sow nutrition around parturition on fetal glycogen deposition and production and composition of colostrum and transient milk. *Animal* 8(7): 1021-1030.
- Theil, P.K., Sejrsen, K., Hurley, W.L., Labouriau, R., Thomsen, B., Serensen, M.T. (2006). Role of sucking in regulating cell turnover and onset and maintenance of lactation in individual mammary glands of sow. *J. Anim. Sci.* 84: 1691-1698
- Vadmand, C.N., Krogh, U., Hansen, C.F., and Theil, P.K., (2015). Impact of sow and litter characteristics on colostrum yield, time for onset of lactation, and milk yield of sow. *J. Anim. Sci.* 93: 2488-2500
- Valros, A., Rundgren, M., Špinká, M., Saloniemi, H., Rydhmer, L., Hultén, F., Uvnäs-Moberg, K. Tománek, M., Krejčí, P., Algers, B. (2003). Metabolic state of the sow, nursing behaviour and milk production. *Livestock Prod. Sci.* 79, 155-167.
- Yang, Y.X., Heo, S., Jin, Z., Yun, J.H., Choi, J.Y., Yoon, S.Y., Park, M.S., Yang, B.K., Chae, B.J. (2009). Effects of lysine intake during late gestation and lactation on blood metabolites, hormones, milk composition and reproductive performance in primiparous and multiparous sows. *Animal Reproduction Science* 112: 199-214.
- Serena, A. Hedemann, M.S., Bach, K.E.K. (2007) Feeding high fibre diets changes luminal environment and morphology in the intestine of sows. *Livestock science.* 109: 115-117.

#### ARTICULO 4

### EFFECTO DE LA ADICIÓN DE NOPAL (*Opuntia ficus-indica*) A LA DIETA DE CERDAS LACTANTES SOBRE LA PRODUCCIÓN, CALIDAD DE LA LECHE Y DESARROLLO LECHÓN LACTANTE y POST-DESTETE

#### Resumen

Se determinó el efecto de una dieta para cerdas lactantes complementada con nopal (*Opuntia ficus-indica*) sobre la producción (PL), calidad de la leche (CL) y desarrollo del lechón lactante y post-destete. Se utilizaron 24 cerdas, divididas en: grupo testigo (GT; n=12), estas recibieron alimento balanceado *ad libitum* y, grupo experimental (GE; n=12) alimentadas de la misma manera que en GT más 2.5 kg día<sup>-1</sup> de nopal durante la lactación. Al destete se seleccionaron 70 lechones (5.3 kg lechon<sup>-1</sup>) y se dividieron en dos grupos (n=35) de acuerdo al grupo al cual pertenecían sus madres: testigo (LGT), lechones del GT y; experimental (LGE), lechones del GE. En lactación se evaluó: PL, peso vivo (PV) del lechón lactante y CL. En la etapa de destete se evaluó: consumo voluntario de alimento (CAL), ganancia diaria de peso (GDP) y PV. La información se analizó a través de mediciones repetidas y las diferencias entre grupos mediante medias de mínimos cuadrados. El grupo no afectó la PL (P>0.4904), ni la CL (P>0.05): 7.4 kg de leche cerda<sup>-1</sup> y, 7.9±1.6% grasa, 4.5±0.40% proteína y 6.6±0.57% lactosa. Se encontró efecto de grupo sobre CAL (P=0.0038) y GDP (P=0.0179), más no afectó al PV de los lechones (P=0.2475) en la etapa de destete. CAL y GDP fue mayor en LGE (P<0.05). La ingesta de nopal, por parte de las cerdas lactantes, incrementa el consumo de alimento en éstas, sin alterar PL y CL; lo que garantiza el desarrollo normal del lechón en la lactancia y post-destete.

**Palabras clave:** Hipofagia, crecimiento, pre-iniciador, ambiente.

## **Introducción.**

Los sistemas de producción porcina se enfocan en la producción eficiente a bajo costo en cada una de las etapas de producción (Solà-Oriol y Gasa, 2016). Por ello, es esencial conocer la fisiología de los cerdos en cada una de las etapas por las que transitan; ello, para garantizar la rentabilidad de los sistemas (Zindove *et al.*, 2013). En este sentido, la etapa de destete (6 a 20 kg) debe de ser continuamente monitoreada, debido a que, en ésta, se generan cambios importantes que inciden en el desarrollo posterior del lechón y, por lo tanto, en la rentabilidad del sistema (Zindove *et al.*, 2013). Dentro de los cambios más importantes se encuentran: 1) la separación de la madre, 2) transición de una alimentación líquida (leche materna) a una sólida (pre iniciador), 3) cambio de alojamiento, 4) establecimiento de la jerarquía social, debido a la mezcla de diferentes camadas y, 5) exposición a nuevos patógenos (Campbell *et al.* 2013). Dichos factores generan modificaciones en el lechón tanto a nivel etológico como digestivo e inmunológico de los cerdos, mismos que predisponen a enfermedades y deficiencia en el crecimiento; aspecto que afectará el tiempo para lograr el peso al mercado (90-100 kg) (Zindove *et al.*, 2013). En síntesis, un deficiente desarrollo en los lechones destetados implica pérdidas económicas para el sistema de producción (Novotni *et al.*, 2015).

Actualmente se investigan estrategias nutricionales enfocadas en la gestión de la salud, para eficientar el desarrollo de los lechones destetados, tales como: adición de minerales, probióticos, prebióticos y ácidos orgánicos (Heo *et al.* 2012). Dichas estrategias se enfocan principalmente en la modulación de la microbiota intestinal del lechón destetado y su permeabilidad, misma que tiene efecto sobre la estructura y composición de las vellosidades intestinales (Jean-Paul *et*

al. 2007). Estructuras estas que son severamente afectadas por el estrés ocasionado por el destete y que explican, hasta cierto grado, el comportamiento deficiente en el desarrollo de los lechones en las primeras semanas de iniciada la fase de destete (Pérez *et al.* 2014).

Otras estrategias para mitigar el menor crecimiento de los lechones destetados por efecto del proceso de la separación de estos y su madre son: incremento de la edad al destete (>30 días) (Callesen *et al.* 2007; Wu *et al.* 2015) y, adición de alimento sólido durante la etapa de lactancia (Solà-Oriol y Gasa, 2016). Dichas estrategias, tienen como finalidad mejorar el peso al destete (Sulabo *et al.*, 2010) y aprovechar el crecimiento biológico de los lechones en la fase de lactancia, el cual está determinado principalmente por la disponibilidad y calidad de nutrientes de la leche materna: única fuente de alimentación del lechón, durante la etapa temprana de lactación: las dos primeras semanas de la fase de lactación (Vadmand *et al.*, 2015; Novotni *et al.* 2015).

Por otra parte, se ha establecido que, la capacidad de la cerda para sintetizar la cantidad y calidad de la leche está supeditada, principalmente por la alimentación (cantidad y calidad) durante la fase de lactancia; así como, por la intensidad de amamantamiento (Farmer y Quesnel, 2009). Sin embargo, debido a los procesos fisiológicos por los que transita la cerda durante la lactancia, el consumo de alimento de éstas es afectado de manera negativa durante la primera semana post-parto (Cools *et al.*, 2013) debido al estado endocrinológico y metabólico por el que atraviesan las cerdas durante los primeros siete días post-parto: incremento de FSH, estrógenos y glucosa, los cuales son responsables de la hipofagia fisiológica lactacional (Pérez *et al.*, 2014).

Ante este problema recientemente se ha evaluado la implementación del nopal (*O. ficus-indica*) en la dieta de estas cerdas con el objetivo de controlar y manipular dicho fenómeno (hipofagia

lactacional) y promover el incremento del consumo voluntario de alimento, por parte de las cerdas, durante la fase de lactancia (Ortiz *et al.* 2014). Objetivo que se sustenta en las propiedades hipoglucémicas e hipocolesterolemica que posee esta cactácea (Shane, 2009). Al respecto, se ha reportado que, las dietas para cerdas lactantes complementadas con nopal incrementan hasta en 28% el consumo de alimento voluntario de éstas (Ortiz *et al.* 2014).

Sin embargo, las propiedades de nopal pudieran afectar la producción y calidad láctea y, a su vez, el peso del lechón al destete. Puesto que, Farmer y Quesnel (2009) y Hurley (2015), han establecido que la modificación de la alimentación de la cerda, en fase de lactación, altera la cantidad y calidad de la leche de las cerdas lo que repercute en el desarrollo del lechón durante y después de lactancia. Por ello, el objetivo fue evaluar el efecto de la adición de nopal (*O. ficus-indica*) a la dieta de cerdas lactantes sobre el desarrollo del lechón durante la lactancia y post-destete.

### **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 de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), ubicada en el km 9.5 de la carretera Morelia-Zinapecuaro, municipio de Tarimbaro, Michoacán, situada a 1860 m snm, a 19° 40' 0" norte y 102° 9' 30" oeste, cuyas características climatológicas son: temperatura mínima de 2.5°C y máxima de 26.1°C; precipitación pluvial 609 mm; con heladas en diciembre y febrero (García, 2004).

En el área de parto y lactación se monitorearon un total de 24 cerdas híbridas (Yorkshire x Landrace x Pietrain) seleccionadas al azar, mismas que parieron en diferentes fechas, debido a que estas cerdas procedían de cuatro grupos de cerdas con diferente periodo de gestación. Cada

grupo se conformó por seis hembras; número determinado por la capacidad y características de la sala de maternidad: seis jaulas elevadas de parto y lactancia con comedero tipo cangilón en acero inoxidable (44.5 cm/ancho, 37.0 cm/alto y 33.0 cm/fondo) y bebedero automático tipo chupón. La temperatura de ésta área se mantuvo constante (18 °C; para las cerdas y sus camadas) a través de un calefactor automático tipo infrarrojo marca Holme® con potencia de 750 a 1500 W. La ventilación se controló a través del manejo de cortinas.

Al entrar cada grupo de cerdas (n=6) al área de parto y lactancia se procedió a seleccionar de forma aleatoria a tres hembras para formar el grupo testigo (GT) y con los tres restantes se formó el grupo experimental (GE). Ambos grupos fueron monitoreados y sometidos a las mismas prácticas zootécnicas durante la fase de lactancia (21 días). El ingreso de las seis cerdas al área de maternidad se realizó a los cinco días antes de la fecha de parto probable. La alimentación de éstas cerdas durante los cinco días previos al parto consistió en 2.5 kg diarios ( $d^{-1}$ ) de alimento balanceado para hembras gestantes. Posterior al parto, a cada cerda de ambos grupos (GT y GE) se le ofreció alimento para hembras lactantes (Tabla 1) *ad libitum* durante 21 días de lactancia. Únicamente en el GE se adicionó nopal a la dieta de las cerdas. Por ello, se suministraron 8 kg de alimento cerda<sup>-1</sup>  $d^{-1}$ , mismo que se dividió en dos porciones: la primera porción se proporcionó a las 8:00 h y la segunda, a las 13:00 h. La adición del 1% de nopal (con respecto al peso pre-parto de cada hembra) a la dieta del GE se realizó a las 8:00 h durante los 21 días de lactación. El nopal se ofreció en base fresca (BF) y picado (trozos de 3x3 cm).

Los lechones fueron pesados e identificados después del parto por medio de aretes enumerados. Posterior al parto las camadas se uniformaron a ocho lechones 24 h post-parto cuidando que el

peso del lechón (adoptado) fuera similar a los de la camada adoptiva. Todas las camadas recibieron alimento comercial® (pre-iniciación) a partir del 15vo día de edad.

**Tabla 1.** Insumos y análisis bromatológico del alimento para hembras gestantes y lactantes\*

Ingredientes	Gestante	Lactante
	Contenido (g./kg)	Contenido (g./kg)
Sorgo	824.0	649.7
Pasta de soja	60.0	100.0
Pasta de canola	61.5	185.3
Aceite de soja	22.0	38.5
Sal	4.0	4.0
Ortofosfato	11.8	5.4
Carbonato de calcio	14.0	12.4
Lisina	1.2	2.5
Vitaminas y minerales	2.0	2.5

*Análisis bromatológico*

	Alimento* <sup>&amp;</sup> para gestación (G. Testigo y Experimental)	Alimento* <sup>&amp;</sup> para lactación (G. Testigo)	Alimento* <sup>&amp;</sup> + nopál <sup>&amp;</sup> para lactación (G. Experimental)
Humedad %	9.5	12.0	12.8
Cenizas %	5.6	10.0	9.9
Fibra %	3.5	4.3	4.5
Proteína Cruda %	12.5	17.5	17.4
Grasa %	4.8	4.5	4.4
Energía metabolizable, MJ/kd <sup>d</sup>	9.6	9.6	9.6

\*Elaborado en el Sector de Alimentos perteneciente a la FMVZ-UMSNH con base a 16% de proteína cruda (PC);  
&= alimento en forma de harina

Las variables evaluadas en las cerdas post-parto fueron: consumo de alimento voluntario día<sup>-1</sup>, producción láctea cerda día<sup>-1</sup> y calidad de la leche. El alimento sobrante día<sup>-1</sup> cerda<sup>-1</sup> en ambos grupos se pesó en una báscula digital (Dibatec®; capacidad de 40 kg y precisión de ± 5g) previo

a la alimentación de las 8:00 h, para obtener el consumo voluntario de alimento cerda<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>. La estimación de producción láctea día<sup>-1</sup> de las cerdas se realizó de acuerdo a la metodología propuesta por Sinclair *et al.*, (1999; citados por Laws *et al.* 2009), misma que consiste en el método pesaje succión–pesaje de cada lechón en los días 6, 10 y 15 de nacimiento. Cada lechón, durante la fase de lactancia, fue pesado antes y después de ser amamantados con una báscula digital (venta, Dibatec®; capacidad de 40 kg y precisión de ± 5g). Actividad que se realizó cuatro veces al día. Además, se registró el tiempo de amamantamiento y el intervalo entre estos. Con esta información se estimó la producción de leche cerda<sup>-1</sup> a través de la siguiente ecuación:

$$\text{Producción de leche (kg)} = W + U + D + M$$

Dónde:

W= ganancia de peso (kg)

U= pérdida de peso debido a la micción

D= pérdida de peso debido a la defecación

M= pérdida de peso metabólico.

La pérdida de peso debido a la micción (U) fue calculada con la ecuación descrita por Klaver *et al.* (1981):

$$U = [NU * (2.9 * W^{0.75} + 18.7)]$$

Dónde:

NU= número de micciones

W<sup>0.75</sup> = peso metabólico.

Se tomó en cuenta 10 g como pérdida por defecación (D) de acuerdo con Sinclair *et al.* (1999; citados por Laws *et al.*, 2009). Y la estimación para la pérdida de peso metabólico (M) se calculó usando la ecuación descrita por Noblet y Etienne (1986):

$$M (mg) = 60 \text{ por kg de peso } \text{min}^{-1}$$

Para la evaluación de la calidad de la leche, se extrajeron 10 mL de leche cerda<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> en el 3<sup>er</sup>, 11<sup>vo</sup> y 17<sup>vo</sup> día postparto. La extracción de ésta fue de forma manual (ordeño), previa administración de 2 mL de oxitocina® vía intramuscular; un minuto después de la aplicación de oxitocina se procedió a dar masaje a la ubre y se realizó el ordeño. Cada muestra se colocó en envases esterilizados e identificados, mismos que se refrigeraron a 4°C para su posterior análisis mediante el equipo Lactoscan®, el cual determinó el contenido de lactosa, proteína y grasa. Además, se evaluó el peso del lechón durante la fase de lactancia, para ello, se pesó cada lechón cerda<sup>-1</sup> grupo<sup>-1</sup> (bascula digital, venta, Dibatec®; capacidad de 40 kg y precisión de ± 5g) a los 14 y 21 días de nacimiento.

La información recabada se analizó estadísticamente a través de mediciones repetidas, utilizando para ello la metodología de modelos de efectos fijos (MIXED) (Littell *et al.* 1998). Y las diferencias entre grupos se obtuvieron mediante la metodología de medias de mínimos cuadrados (LsMeans, siglas en inglés) a un  $\alpha=0.05$  y, para la estimación de lea producción de leche, durante los 21 días de la fase de lactación, se calcularon los estimadores de la regresión polinómica ( $\beta_0$ ,  $\beta_1$  y  $\beta_2$ ) para ambos grupos, utilizando el día de lactación como efecto lineal y cuadrático (SAS, 2000).

Inmediatamente después del destete, se monitoreo un total de 70 lechones provenientes de las cerdas de los grupos GT y GC. Los lechones fueron seleccionados de acuerdo a la edad y peso al destete: 21 días de edad y un peso de  $5.3 \pm 1.0$  kg. Los lechones fueron agrupados de acuerdo al grupo de cerdas del que provenían: LGT o grupo de lechones testigo (n=35), lechones que provenían de cerdas alimentadas convencionalmente durante la fase de lactancia y, LGE o grupo

de lechones experimental (n=35), lechones que provenientes de cerdas alimentadas con la dieta convencional complementada con nopal.

Inmediatamente de ser destetados los lechones (21 días de edad), estos se confinaron en el área de destete en jaulas elevadas al piso (152 x 244 cm) en donde se albergó a siete lechones jaula<sup>1</sup> de acuerdo al grupo correspondiente. Cada jaula contenía un comedero de acero inoxidable (76.2 x 32.5 x 65.3 cm) con capacidad de 60 kg, además contaban con dos bebederos automáticos tipo chupón. La ventilación y la temperatura interna del área de destete (18° C) se controló mediante el manejo de cortinas. En ambos grupos se ofreció agua y alimentación *ad libitum*, el alimento fue en forma de pellet (Preiniciador<sup>®</sup>) y se suministró de acuerdo a las siguientes fases (Tabla 2): Fase 1, lechones de 4 a 10 kg; Fase II, lechones de 10 a 15 kg y, Fase III, lechones de 15 a 20 kg. Así mismo, ambos grupos fueron monitoreados y sometidos a las mismas prácticas zootécnicas durante la fase de destete, la cual tuvo una duración de seis semanas pos-destete.

**Tabla 2.** Contenido nutricional<sup>&</sup> del alimento<sup>®</sup> para lechones en fase de destete.

Contenido	Fase I <sup>*</sup>	Fase II <sup>*</sup>	Fase III <sup>*</sup>
Humedad %	12	12	12
Proteína %	23	22	21
Grasa %	8	6	5
Fibra cruda %	3	3	3.50
Cenizas %	7.50	7	6
E.L.N. %	43.50	50	52.50
Fosforo %	0.51	0.43	0.32
Calcio %	0.85	.80	0.55

\*= alimento en forma de pellet.

&= De acuerdo a las etiquetas del fabricante.

Las variables evaluadas en esta etapa de investigación fueron: consumo voluntario de alimento (CAL), ganancia de peso diaria (GPD), y peso vivo del lechón (PV), para obtener el CAL, se

pesó diariamente el alimento suministrado con una báscula digital (Rhino® con capacidad de 300 ±.100 kg) y se restó el sobrante al día siguiente; para la variable PV, durante la etapa de destete, se pesó a cada lechón<sup>-1</sup> grupo<sup>-1</sup> semana<sup>-1</sup> con una báscula digital (Rhino® con capacidad de 300 ±.100 kg). Mientras la GPD fue calculada a través de la siguiente ecuación.

$$GPD = \frac{PIS - PFS}{7}$$

Donde:

GPD= Ganancia de peso diaria.

PIS= Peso del lechón al iniciar la semana.

PFS= Peso del lechón al finalizar la semana.

La información recaba se analizó estadísticamente a través de mediciones repetidas, con la metodología de modelos de efecto fijos (MIXED) (Littell *et al.*1998) y las diferencias entre grupos se obtuvieron mediante el método de medias de mínimos cuadrados (LsMeans, siglas en inglés) a un  $\alpha = 0.05$ . (SAS, 2000).

## Resultados

Se encontró efecto de grupo y de la anidación grupo(semmana) sobre el CA día<sup>-1</sup> cerda<sup>-1</sup> (P<0.0001). Al respecto, en la primera semana de lactación se observó menor CA día<sup>-1</sup> en ambos grupos (P<0.05) en comparación con el resto de las semanas evaluadas: 4.0±0.16 y 4.6±0.16 kg de alimento comercial, para GT y GE, respectivamente; promedios estos, diferentes entre sí (P<0.05). Mientras que en la tercera semana de lactación, el CA día<sup>-1</sup> cerda<sup>-1</sup> se incrementó a 6.1±0.17 kg de alimento comercial, en las cerdas del GE y a 5.3 ±0.17 kg en cerdas del GT; ambos promedios diferentes entre sí (Tabla 3).

Para aspectos de producción de leche de las cerdas, éstas no fueron afectadas por el grupo (P=0.4904): 7.2±0.19.2 y 7.4±0.19 kg de leche cerda<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>, para GT y GE, respectivamente. La

lactosa, proteína y grasa de la leche fue de:  $6.6 \pm 0.57$ ,  $4.5 \pm 0.40$  y  $7.9 \pm 1.6\%$  respectivamente (Tabla 3).

**Tabla 3.** Medias de mínimos cuadrados para el consumo de alimento, producción y calidad láctea de la cerda y peso del lechón en fase de lactancia de acuerdo al grupo.

Variable	Grupo testigo $\bar{X} \pm E.E.$	Grupo experimental $\bar{X} \pm E.E.$
<i>Consumo de alimento voluntario</i>		
Semana 1	4.0 <sup>a1</sup> $\pm 0.16$	4.6 <sup>a2</sup> $\pm 0.16$
Semana 2	4.9 <sup>b1</sup> $\pm 0.16$	6.0 <sup>b2</sup> $\pm 0.16$
Semana 3	5.3 <sup>b1</sup> $\pm 0.17$	6.1 <sup>b2</sup> $\pm 0.17$
<i>Producción y calidad láctea</i>		
Producción de leche (kg)	7.2 <sup>1</sup> $\pm 0.19$	7.4 <sup>1</sup> $\pm 0.19$
Lactosa (%)	6.6 <sup>1</sup> $\pm 0.07$	6.6 <sup>1</sup> $\pm 0.07$
Proteína (%)	4.5 <sup>1</sup> $\pm 0.49$	4.5 <sup>1</sup> $\pm 0.49$
Grasa (%)	8.2 <sup>1</sup> $\pm 0.19$	7.6 <sup>1</sup> $\pm 0.19$
<i>Peso del lechón en lactancia</i>		
Al nacimiento	1.3 <sup>a1</sup> $\pm 0.09$	1.4 <sup>a1</sup> $\pm 0.09$
14 días	3.7 <sup>b1</sup> $\pm 0.09$	3.7 <sup>b1</sup> $\pm 0.09$
21 días	5.0 <sup>c1</sup> $\pm 0.09$	5.1 <sup>c1</sup> $\pm 0.09$

Literales <sup>a, b</sup> indican diferencias ( $P < 0.05$ ) dentro de columna e indicador.

Numerales <sup>1, 2</sup> indican diferencias ( $P < 0.05$ ) dentro de fila.

Finalmente, el PV del lechón durante la lactancia no fue afectado por el grupo ( $P = 0.6533$ ), sin embargo, sí se encontró efecto de la interacción grupo\*día de lactación ( $P = 0.001$ ) sobre el PV. Para el peso del lechón a los 14 días de nacido fue de 3.7 kg lechón<sup>-1</sup>, para ambos grupos analizados y el PV a 21 días de lactancia fue de  $5.0 \pm 1.3$  y  $5.1 \pm 1.2$  kg lechón<sup>-1</sup> para el GT y GE, respectivamente (Tabla 2).

En cuanto a los aspectos del crecimiento de los lechones en la etapa de destete, se encontró efecto de grupo ( $P = 0.0038$ ) y de la interacción grupo\*semana post-destete ( $P = 0.0001$ ) sobre el consumo de alimento (CAL) diario. Los LGE fueron los que mostraron mayor CAL día<sup>-1</sup> de la 6<sup>ta</sup> ( $0.403 \pm 0.01$  kg) a la 8<sup>va</sup> ( $0.703 \pm 0.01$  kg) semana de edad, ello en comparación con los LGT ( $P < 0.05$ ) (Tabla 4). No obstante, al finalizar la etapa de destete (9 semanas post-

nacimiento) el CAL día<sup>-1</sup> fue igual en ambos grupos analizados: 0.736±0.01 y 0.734±0.01 kg de alimento consumido cerdo<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> para LGT y LGE, respectivamente (Tabla 4).

**Tabla 4.** Medias de mínimos cuadrados para el consumo de alimento voluntario, ganancia de peso y peso de los lechones durante la fase de destete.

Variable	LGT $\bar{X} \pm \text{E.E.}$	LGE $\bar{X} \pm \text{E.E.}$
<i>Consumo de alimento voluntario día<sup>-1</sup></i>		
Semana 4	0.098 <sup>a1</sup> ±0.01	0.086 <sup>a1</sup> ±0.01
Semana 5	0.233 <sup>b1</sup> ±0.01	0.243 <sup>b1</sup> ±0.01
Semana 6	0.372 <sup>c1</sup> ±0.01	0.403 <sup>c2</sup> ±0.01
Semana 7	0.457 <sup>d1</sup> ±0.01	0.532 <sup>d2</sup> ±0.01
Semana 8	0.611 <sup>e1</sup> ±0.01	0.703 <sup>e2</sup> ±0.01
Semana 9	0.736 <sup>f1</sup> ±0.01	0.734 <sup>f1</sup> ±0.01
Consumo promedio	0.418 <sup>1</sup> ±0.007	0.450 <sup>2</sup> ±0.007
<i>Ganancia de peso día<sup>-1</sup></i>		
Semana 4	0.068 <sup>a1</sup> ±0.02	0.052 <sup>a1</sup> ±0.02
Semana 5	0.224 <sup>b1</sup> ±0.02	0.234 <sup>b1</sup> ±0.02
Semana 6	0.296 <sup>c1</sup> ±0.02	0.336 <sup>c1</sup> ±0.02
Semana 7	0.356 <sup>d1</sup> ±0.02	0.430 <sup>d2</sup> ±0.02
Semana 8	0.442 <sup>e1</sup> ±0.02	0.530 <sup>e2</sup> ±0.02
Semana 9	0.366 <sup>f1</sup> ±0.02	0.445 <sup>f2</sup> ±0.02
Ganancia promedio	0.292 <sup>1</sup> ±0.01	0.333 <sup>2</sup> ±0.01
<i>Peso del lechón en fase de destete</i>		
Semana 4	5.7 <sup>a1</sup> ±0.42	5.8 <sup>a1</sup> ±0.42
Semana 5	7.3 <sup>b1</sup> ±0.42	7.4 <sup>b1</sup> ±0.42
Semana 6	9.4 <sup>c1</sup> ±0.42	9.7 <sup>c1</sup> ±0.42
Semana 7	12.0 <sup>d1</sup> ±0.42	12.7 <sup>d1</sup> ±0.42
Semana 8	15.1 <sup>e1</sup> ±0.42	16.3 <sup>e2</sup> ±0.42
Semana 9	17.8 <sup>f1</sup> ±0.42	19.4 <sup>f2</sup> ±0.42
Peso promedio	11.2 <sup>1</sup> ±0.39	11.9 <sup>1</sup> ±0.39

Semana= semana de edad del lechón post-nacimiento

Literales <sup>a, b</sup> indican diferencias (P< 0.05) dentro de columna e indicador.

Numerales <sup>1, 2</sup> indican diferencias (P< 0.05) dentro de fila.

En cuanto a GPD de los lechones en la fase de destete, se encontró efecto de grupo (P=0.0179) y de la interacción grupo\*semana post-destete (P=0.0001). Con respecto al efecto de grupo, los LGE fueron los que mejor se comportaron (P<0.05): mayor GPD a partir de la 7<sup>ma</sup> semana post-

nacimiento ( $0.430 \pm 0.02$ ), en comparación con el LGT ( $0.356 \pm 0.02$ ) (Tabla 4) y al final de la etapa de destete (9 semanas post-nacimiento) la GPD fue de  $0.445 \pm 0.02$  y  $0.366 \pm 0.02$  kg lechón<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> para LGE y LGT respectivamente; ambos promedios diferentes entre sí ( $P < 0.05$ ) (Tabla 4). Finalmente, el PV de los lechones no fue afectado por el grupo ( $P = 0.2475$ ); sin embargo, la interacción grupo\*semana sí afectó dicha variable ( $P < 0.0001$ ). Con respecto a este último efecto, se encontró que los LGE fueron los que mostraron el mayor PV en la 8va y 9na semana ( $16.3 \pm 0.42$  y  $19.4 \pm 0.42$  kg lechón<sup>-1</sup>, respectivamente), ello en comparación con el PV observado en LGT ( $15.1 \pm 0.42$  y  $17.8 \pm 0.42$  kg en la 8<sup>va</sup> y 9<sup>na</sup> semana, respectivamente) (Tabla 4).

### **Discusión.**

Los resultados sobre el consumo voluntario de las cerdas durante la fase de lactación (Tabla 3) concuerdan con los resultados obtenidos por Ortiz *et al.*, (2014), quienes evaluaron una dieta complementada con nopal para cerdas en fase de lactación, en donde las cerdas presentaron un mayor consumo de alimento voluntario ( $P < 0.05$ ); en las tres semanas de evaluación: 4.5, 6.8 y 7.2 kg en la primera, segunda y tercera semana de lactación, respectivamente; resultados similares a los encontrados en la presente investigación (Tabla 4). Este comportamiento pudiera explicarse a través del efecto hipoglucémico provocado por la ingesta de nopal (Deldicque *et al.* 2013); puesto que la disminución de glucosa sanguínea reactiva los centros reguladores del apetito, sobre todo, en la primera semana de lactación (González *et al.* 2006).

La hipoglucemia de las cerdas lactantes causada por la ingesta del nopal, puede asociarse al contenido  $\text{Ca}^{+2}$  ( $52.1 \text{ g kg}^{-1}$  de materia fresca) que poseen los cladodios de ésta planta (Salem *et al.*, 2004), mismo que se ha asociado con la regulación de la glucosa sanguínea al estimular la secreción de insulina (Peri y Latha, 2005). Sin embargo, también la fibra dietética no

fermentable puede generar el establecimiento de las señales del apetito (González *et al.*, 2006), puesto que la fibra estimula la liberación del péptido GLP-1, induciendo la liberación de insulina y la inhibición de la producción hepática de glucosa (Núñez *et al.*, 2013).

Es posible que el incremento del consumo de alimento voluntario, de las cerdas sometidas a la dieta adicionada con *O. ficus-indica*, fue provocado por la sinergia entre el  $\text{Ca}^{+2}$  y la fibra insoluble, contenidos en ésta cactácea, generándose una disminución de los niveles de glucosa sanguínea, cuya consecuencia fue el restablecimiento de las señales del apetito. Aspecto que sugiere que la ingesta de nopal, por parte de las cerdas, pueden mitigar los efectos de la hipofagia fisiológica lactacional en las hembras de esta especie. No obstante, este incremento en el consumo de alimento en el GE no se vio reflejado en la producción de leche de las cerdas de dicho grupo (Tabla 3).

Lovise *et al.* (2013), sugieren que el consumo adicional de alimento por parte de las cerdas no se refleja en la producción de leche, más bien el alimento adicional lo utilizan para reducir la pérdida de peso durante la lactancia. Sin embargo, este resultado no concuerda con Farmer y Quesnel (2009) quienes indican que cualquier cambio en la dieta de las cerdas en fase de lactación puede afectar la producción y la calidad de la leche. Para el caso de esta investigación, la adición de nopal no tuvo ese efecto, al menos para la producción de leche, por lo que se podría sugerir que el incremento del consumo de alimento evitó la remoción de reservas corporales para la síntesis de la leche. Lee *et al.* (2014) observaron una producción promedio de 8.5 kg de leche cerda<sup>-1</sup> en 21 días de lactancia, valor mayor al de las cerdas analizadas en esta investigación (Tablas 3). Sin embargo, esta menor producción de leche en las cerdas de ambos

grupos analizados, posiblemente se debió a aspectos genéticos; ello, sin descartar los aspectos ambientales (Farmer y Quesnel, 2009).

En relación a la similitud de la calidad de la leche ( $P>0.05$ ), encontrada en ambos grupos analizados en esta investigación (Tabla 3), es posible que la ingesta de nopal no perjudicó los nutrientes de la leche; aunque si bien, se ha establecido que esta cactácea tiene propiedades hipocolesterolemicas (Shane, 2009), propiedad que pudiera haber afectado la cantidad de grasa en leche. Aspecto que no ocurrió, puesto que la cantidad de grasa presente en la leche de las cerdas de ambos grupos fue similar (Tabla 3). Por otro lado, aun y cuando el nopal posee un reducido contenido de proteína cruda (4-5%), ello no impactó en el contenido de proteína en leche, debido a que el alimento comercial consumido por las cerdas contenía el porcentaje de proteína requerido para esta fase (17%) y, el consumo de este alimento fue mayor en el GE, en comparación con el GT (Tabla 3). Por último, los valores de lactosa, al igual que la proteína y la grasa, no fueron afectados por el consumo de nopal (GE) (Tabla 3).

Hurley (2015), estableció que en la leche de las cerdas se puede encontrar hasta un 12% de grasa, sin embargo, se estima que el promedio durante la fase de lactación es del 8.4%; valor similar al encontrado en esta investigación (Tabla 3). En cuanto a la proteína de la leche, las investigaciones señalan que en la leche de las cerdas la proteína encuentra entre 5 al 19%, pero ello depende del tiempo, dentro de la fase de lactación, en que se evalúe éste nutriente (Hurley, 2015). No obstante, los mayores porcentajes de proteína en leche de cerdas se encuentran dentro de los tres primeros días de lactación (19%) y, los menores valores se encuentran hacia el final de la lactación (5% de proteína en leche) (Foisnet *et al.* 2010). Sin embargo, el promedio de

proteína durante la fase de lactación (21 días) se ubica alrededor del 5.2% (Hansen *et al.* 2012). Bionaz *et al.* (2012), sugieren que la fluctuación del contenido proteico de la leche, de las cerdas, puede atribuirse a la menor disponibilidad de aminoácidos en la glándula mamaria y la disminución de energía presente conforme progresa la fase de lactación, debido a que la formación de proteína en la leche es uno de los mayores demandantes de energía por parte de la célula. En cuanto a la lactosa de la leche, se ha establecido que es el componente menos variable en la leche, encontrándose alrededor de 5.3% (Hansen *et al.* 2012). Valores similares a los que se encontraron en esta investigación.

El hecho de que la producción y calidad de la leche de las cerdas del GE no fuera afectada por la ingesta de nopal, sugiere que tampoco afectaría el desarrollo del lechón durante la fase de lactancia. Aspecto que se pudo confirmar al establecerse que los pesos del lechón a los 14 o 21 días de edad fueron similares entre sí ( $P>0.05$ ), en ambos grupos analizados (Tabla 3). Vadmand *et al.* (2015) establecen que el crecimiento de los lechones durante la fase de lactancia está supeditado a la cantidad y calidad de la leche que ingieran.

Para aspectos de la evaluación del crecimiento de los lechones post-destete, se había hipotetizado que los lechones (LGE) provenientes de cerdas alimentadas con una dieta complementada con nopal (GE) podrían beneficiarse por los efectos residuales del nopal en leche, tal como sería el caso de los metabolitos secundarios presentes en esta cactácea, los cuales han demostrado poseer propiedades prebióticas; es decir, generan cambios en la composición o actividad de la microbiota gastrointestinal, lo que beneficiaría al hospedero y su salud (Heo *et al.* 2012). Ello, debido a que los principales productos de la digestión por la microbiota intestinal

son los ácidos grasos de cadena corta, tales como: lactato, acetato, propionato y butirato (Lindberg, 2014).

El lactato, acetato, propionato y butirato, se metabolizan principalmente en: a) colonocitos, que utilizan butirato en energía, y parece desempeñar un papel importante en la morfología del tracto gastrointestinal del cerdo; debido a que incrementa la altura de las vellosidades y la profundidad de las criptas intestinales (Molist *et al.*, 2009) lo que a su vez propicia una mayor absorción de nutrientes provenientes del alimento ingerido (Chen *et al.* 2014) y, b) las células del músculo esquelético y cardíaco que oxidan el acetato residual (Zijlstra *et al.* 2012) mismo que pudo haber sido utilizado como fuente energética. En este sentido, los LGE podrían haber enfrentado el estrés post-destete con mayor éxito que los LGT al contar con una mayor integridad de las vellosidades intestinales. Aspecto que explicaría el mejor comportamiento ( $P < 0.05$ ) en el crecimiento de estos lechones a partir de la tercera semana de destete o a partir de la sexta semana post-nacimiento (Tabla 4).

Pluske (2012) establece la existencia de cambios intestinales inducidos por el destete, mismos que se han clasificado en dos periodos sucesivos: i) periodo transitorio dependiente de la anorexia que da como resultado, disminución de la superficie absorbente, modificación en la función de la barrera epitelial, adaptación de las enzimas digestivas, desequilibrio de la microbiota y desencadenamiento de la respuesta inflamatoria local y, ii) restauración de las funciones gastrointestinales intestinal, que varía de una a dos semanas, antes de la adaptación completa. Estas dos fases tienen una duración promedio de tres semanas. En este sentido, los lechones del LGE mostraron un mejor comportamiento en aspectos tales como consumo de

alimento y ganancia de peso diario, a partir de la tercera semana post-destete, ello en comparación con LGT (Tabla 4). No obstante que, al finalizar la etapa de destete, los LGE presentan un mayor peso ( $P<0.05$ ), esto no fue suficiente como para encontrar diferencias ( $P<0.05$ ) entre los grupos analizados (Tabla 4).

Los resultados sobre el consumo de alimento de los lechones post-destete (LGE y LGT) se encuentra dentro de lo reportado por Pérez *et al.* (2014) y Mesonero *et al.* (2016), quienes observaron promedios de consumo diarios de 0.557 y 0.400 kg respectivamente. No obstante, el consumo de alimento del LGE (0.450 kg cerdo<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>) fue mayor ( $P<0.05$ ) en comparación con lo observado en los LGT (0.418 kg cerdo<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>) (Tabla 4). Sin embargo, la diferencia en el consumo de alimento, entre los grupos analizados, se pudo apreciar mejor cuando se analizó semanalmente: las diferencias entre grupos ( $p<0.05$ ) se encontraron a partir de la tercera semana post destete (semana seis post-nacimiento) (Tabla 4). En cuanto a la ganancia de peso, las diferencias entre grupo se observaron a partir de la cuarta semana post-destete (semana siete post-nacimiento) y las diferencias de peso de los lechones entre grupos ( $p<0.05$ ) se apreció a partir de la quinta semana post-destete (semana ocho post-nacimiento) (Tabla 4). En estas variables, los LGE superó ( $p<0.05$ ) a los LGT (Tabla 4).

De acuerdo con el párrafo anterior, los LGE pudieron tener un mejor periodo de adaptación, ello debido a que se pudo generar un cambio en su microbiota, ya que los lechones provenientes de cerdas que fueron alimentadas con la adición de nopal, cuyo contenido de polisacáridos no amiláceos, no pueden ser degradados por las enzimas digestivas y son absorbidos en el intestino grueso, lo que genera cambios hacia una microbiota más benéfica y, donde los principales

productos de esta microbiota son los ácidos grasos de cadena corta (lactato, acetato, propionato y butirato) (Lindberg, 2014). Ante esta situación, Mori *et al.* (2011) establecieron que dicho cambio puede suceder en la microbiota del sistema digestivo de la cerda y que ésta lo puede transferir al lechón en la fase de lactancia.

## **Conclusión**

Las dietas para cerdas en fase de lactación complementadas con el 1% de nopal, aminoran los efectos de la hipofagia fisiológica lactacional sin modificar la producción ni calidad de la leche, por lo que no se afectó el desarrollo del lechón durante la fase de lactancia, En relación al crecimiento de los lechones durante la fase de destete, los resultados del grupo de cerdos amantado por cerdas que consumieron nopal durante la fase de lactación, como parte de su dieta, no son evidencia contundente como para establecer un beneficio residual de la lactancia sobre el desarrollo de estos lechones una vez destetados; aunque si bien, se encontraron mejoras en los consumos de alimento y ganancia de peso en la tercera semana post-destete, se requiere la evaluación de otras variables, como por ejemplo, la integridad del sistema gastrointestinal de estos animales.

## **Bibliografía**

- Bionaz, M., Hurley, W., Loor, J., (2012). Milk Protein Synthesis in the Lactating Mammary Gland: Insights from Transcriptomics Analyses. *Chapter 11 INTECH* Pág 285-324
- Cabrera, R.A., Boyd, R.D., Jungest, S.B., Wilson, E.R., Johnston, M.E., Vignes, J.L. y Odle, L. (2010) Impact of lactation length and piglet weaning weight on long-term growth and viability of progeny. *J. Anim. Sci.* 88 2265-2276
- Cabrera, R.A., Usry, J.L., Arrellano, C., Nogueira, E.T., Kutschenko, M., Moeser, A.J. y Odle, J. (2013) Effects of creep feeding and supplemental glutamine or glutamine plus glutamate (Aminogut)

- on pre- and post-weaning growth performance and intestinal health of piglets. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 4:29 1-12.
- Callesen, J., Halas, D., Thorup, F., Bach, K.E.K., Kim, J.C., Mullan, B.P., Hampson, D.J., Wilson, R.H. y Pluske, J.R. (2007). The effects of weaning age, diet composition, and categorisation of creep feed intake by piglets on diarrhoea and performance after weaning. *Livestock science*. 108: 120-123.
- Campbell, J.M., Crenshaw, J.D., y Polo, J. (2013). The biological stress of early weaned piglets. *Journal of animal science and biotechnology*. 4:19 1-6
- Chen, H., Mao, X.B., Che, L.Q., Yu, B., He, J., Yu, J., Han, G.Q., Huang, Z.Q., Zheng, P., Chen, D.W. (2014) Impact of fiber types on gut microbiota, gut environment and gut function in fattening pigs *Animal Feed Science and Technology* 195, 101-111.
- 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
- Deldicque, L., Van, K.P., Ramaekers, M., Pischel, I., Sievers, H., Hespel, P. (2013). Additive insulinogenic action of *Opuntia ficus-indica* cladode and fruit skin extract and leucine after exercise in healthy males. *J. of the Int. Soc. of Sports Nutrition*. 10(45): 1-6.
- Dong, G.Z y Pluske, J.R. (2007). The Low Feed Intake in Newly-weaned Pigs: Problems and Possible Solutions. *Asian-aust. J. Anim. Sci*. 20:3 440-452.
- Farmer, C. y Quesnel, H. (2009) Nutritional, hormonal, and environmental effects on colostrum in sow. *J. Anim. Sci*. 87:13, 56-64.
- Foisnet, A., Farmer, C., David, C., Quesnel, H. Relationships between colostrum production by primiparous sows and sow physiology around parturition. *J. Anim. Sci*. 88:1672-1683
- González, M.E.H., Ambrosio, K.G.M., y Sánchez, S.E. (2006). Regulación neuroendócrina del hambre, la saciedad y mantenimiento del balance energético. *Artemisa* 8(3): 191-200
- Hansen, A., Strathe, A., Kebreab, E., France, J., Theil, P. (2012). Predicting milk yield and composition in lactating sows: A Bayesian approach. *J. Anim. Sci*. 90(7): 2285-2298.
- Heo, J.M., Opapeju, F.O., Pluske, J.R., Kim, J.C., Hampson, D.J. y Nyachoti, C.M. (2012) Gastrointestinal health and function in weaned pigs: a review of feeding strategies to control post-weaning diarrhoea without using in-feed antimicrobial compounds. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 97: 207-237.

- Hurley W.L (2015) The gestating and lactating sow Chapter 9: Composition of sow colostrum. *Wageningen Academic Publishers*.
- Jean-Paul, L., Bosi, P., Smidt, H. y Stokes, C.R. (2007) Weaning- A challenge to gut physiologist. *Livestock science*. 108: 82-93.
- Klaver, J., van Kempen, G.J.M., de Lange, P.G.B., Verstegen, M.W.A. and Boer, H. (1981). Milk composition and dally yield of different milk components as affected by sow condition and lactation/feeding régime. *J. Anim. Sci.* 52 (5): 1091-1097
- Laws, J., Amusquivar, E., Herrera, E., Lean, I.J., Dodds, P.F., Clarke, L. (2009). Supplementation of sow diets with oil during gestation: Sow body condition, milk yield and milk composition. *Livestock Science*, 123: 88-96.
- Lee, S.H., Joo, Y.K., Lee, J.W., Ha, Y.J., Yeo, J.M. and Kim, W.Y. (2014). Dietary conjugated linoleic acid (CLA) increases milk yield without losing body weight in lactating sows. *Journal of animal science and technology*. 56:11 1-9
- Lindberg, J.E., (2014) Fiber effects in nutrition and gut health in pigs. *Journal of animal Science and Biotechnology* 5:15 pag 2-7.
- Littell, R.C., Henry, P.R. and Ammerman, C.B., (1998) Statistical Analysis of Repeated Measures Data Using SAS Procedure. *J. Anim. Sci.* 76: 1216-1231
- Lovise, S. T., Helen, .A.G., Petter, N.K., Hetland, H., Framstad, T. (2013). Pea starch meal as a substitute for cereal grain in diets for lactating sows: the effect on sow and litter performance. *Livestock science*. 157: 210-217
- Mesonero, J.A.E., Van Der Horst, Y., Carr, J. y Maes, D. (2016) Implementing drinking water feed additive strategies in post-weaning piglets, antibiotic reduction and performance impacts: case study. *Porcine health management*. 2:25 1-8.
- Molist, F., Gómez de Segura, A., Gasa, J., Hermes, R.G., Manzanilla, E.G., Anguita, M., Pérez, J.F., (2009). Effects of the insoluble and soluble dietary fibre on the physicochemical properties of digesta and the microbial activity in early weaned piglets. *Anim. Feed Sci. Technol.* 149, 346–353.
- Mori, K., Ito, T., Miyamoto, H., Ozawa, M., Wada, S., Kumagai, Y., Matsumoto, J., Nato, R., Nakamura, S., Kodama, H. y Kurihara, Y. (2011). Oral administration of multispecies microbial supplements to sows influences the composition of gut microbiota and fecal organic acids in their post-weaned piglets. *Journal of bioscience and bioengineering*. 112:2 145-150.

- Noblet J. and Etienne M. (1986). Effect of energy level in lactating sows on yield and composition of milk and nutrient balance of piglets. *J. Anim. Sci.* 63: 1888-1896
- Novotni, G.D., Balogh, P., Huzsvai, L. and Zs. Györi. (2015) Effect of feeding liquid milk supplement on litter performances and on sow back-fat thickness change during the suckling period. *Arch. Anim. Breed.* 58:229-235.
- Núñez, M.A.L., Paredes, O.L. and Reynoso, R.C. (2013). Functional and hypoglycemic properties of nopal cladodes (*O. ficus-indica*) at different maturity stages using in vitro and in vivo test. *Journal of agricultural and food chemistry* 61, 10981-10986.
- Ortiz, R.R., Orozco, A.G, Martínez, H.E.F., Pérez, R.E.S., (2015) Efecto de la adición de nopal (*Opuntia ficus-indica*) a la dieta de cerdas en fase de lactación sobre la calidad de la leche. Producción y aprovechamiento del Nopal y Maguey. Desarrollo y bienestar sustentables a través del nopal y maguey. XIV Simposium-Taller nacional y VII Internacional. Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León. 15 y 16 de Octubre de 2015. Monterrey Nuevo León. México.
- Ortiz-Rodríguez R., Ordaz-Ochoa G., Andrade-Hernández E.O., Saucedo P.A y Pérez-Sánchez 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. XIII Simposium-Taller nacional y VII Internacional. Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León. 9 y 10 de Octubre de 2014. Monterrey Nuevo León. México.
- Pari, L. and Latha, M. (2005). Antidiabetic effect of *scoporia dulcis*: Effect on lipid peroxidation in strepto Salem, B.H., Nefzaoui, A., Salem, B.L. (2004). Spineless cactus (*Opuntia ficus indica* f. *Inermis*) and Oldman saltbush (*Atriplex nummularia* L.) as alternative supplements for growing Barbarine lambs given straw-based diets. *Small ruminant research.* 51:65-73
- Pérez, R.E.S., López, R.M., Bautista, G.E.C., García, V.A., Róman, B.R.M., Ortiz, R.R. (2014) Efecto del suero de leche como complemento de la dieta sobre el crecimiento de las vellosidades intestinales y el peso de lechones en la etapa de 6 a 20 kg. *Revista científica.* 24:4 319-324.
- Pérez, S.R.E., Ordaz, O.G., Juárez, C.A., García, V.A., Ortiz, R.R. (2015). Efecto del número de parto sobre el consumo 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.

- Pluske, J. R. (2012). Physiology of feed efficiency in the pig: emphasis on the gastrointestinal tract and specific dietary examples. In *Feed efficiency in swine* (pp. 239-257). Wageningen Academic Publishers.
- SAS (2000). Statistical Analysis System Institute. Guide for personal computers. Version 8. zocin diabetes. *Gen. Physiol. Biophys.* 24: 13-26.
- Shane-McWhorter, L. (2009) Dietary Supplements for Diabetes: An Evaluation of Commonly Used Products *Diabetes Spectrum.* 22, 206-213
- Solà-Oriol, D., y Gasa, J. (2016). Feeding strategies in pig production: Sows and their piglets. *Animal Feed Science and Technology.* Pp 1-19
- Sulabo, R.C., Jacela, J.Y., Tokach, M.D., Dritz, S.S., Goodband, R.D., DeRouche, J.M. and Nelssen, J.L. (2010). Effects of lactation feed intake and creep feeding on sow and piglet performance. *J. Anim. Sci.* 88: 3145-3153.
- Vadmand, C.N., Krogh, U., Hansen, C.F., and Theil, P.K., (2015) Impact of sow and litter characteristics on colostrum yield, time for onset of lactation, and milk yield of sow. *J. Anim. Sci.* 93: 2488-2500.
- Wu, Y., Jiang, Z., Zheng, C., Wang, L., Zhu, C., Yang, X., Wen, X. y Ma, X. (2015) Effects of protein sources and levels in antibiotic-free diets on diarrhea, intestinal morphology, and expression of tight junctions in weaned piglets. *Animal Nutrition.* 1: 170-176.
- Zindove, T.J., Dzomba, E.F., Kanengoni, A.T. y Chimonyo, M. (2013) Effects of within-litter birth weight variation of piglets on performance at 3 weeks of age and at weaning in a Large White x Landrace sow herd. *Livestock Science.* 155: 348-354.
- Zijlstra, R.T., Jha, R., Woodward, A.D., Fohse, J., and Kempen T.A.T.G. (2012) Starch and fiber properties affect their kinetics of digestion and thereby digestive physiology in pigs. *J. Anim. Sci.* 90 pag 49-58.

## Discusión general

La rentabilidad de los sistemas de producción porcina está determinada principalmente por la productividad de la cerda (partos cerda<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) y su camada (tamaño y peso al destete) (Saito *et al.*, 2011). Indicadores estos que se engloban en un factor determinante para obtener en menor costo de producción: lechones destetados cerda<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. El cual está determinado en gran medida por la capacidad de la cerda para producir la cantidad y calidad de nutrientes en la leche, óptimos para garantizar el desarrollo adecuado del lechón y, por lo tanto, reducir la mortalidad de estos (King'ori, 2012).

Son varios los factores que se deben de considerar para lograr la producción y calidad de la leche adecuados, dichos factores se describen de manera detallada en el Artículo 1, no obstante, entre los más importantes se encuentran: genotipo, edad, condición corporal, estado metabólico, tipo y consumo de alimento (King'ori, 2012). Siendo este último (tipo y consumo de alimento) el que incide en mayor grado en la variabilidad tanto en cantidad como en calidad de la leche (Vicente *et al.*, 2013; Jang *et al.*, 2013). Ello, debido a que el estado metabólico por el que transita la cerda durante la fase de lactancia, origina reducción en el consumo de alimento de la cerda en dicha fase (hipofagia fisiológica lactacional) reducción que se ve reflejada en la producción de la leche de las cerdas (Hermesch, 2007).

Con la finalidad de mitigar la hipofagia fisiológica lactacional se han buscado nuevas alternativas alimenticias para incrementar el consumo de alimento de las cerdas durante la lactancia (Shen *et al.*, 2011; Hansen *et al.*, 2012b), evitar la excesiva movilización de reservas corporales de éstas al destete (Schenkel, *et al.*, 2010; Kruse *et al.*, 2011) y mejorar los indicadores productivos y reproductivos posteriores (Hermesch, 2007). Sin embargo, se ha

establecido (Artículo 1) que, la modificación de la dieta de las cerdas puede incidir de manera desfavorable sobre los nutrientes de la misma. Por lo tanto, las estrategias alimenticias que se implementen para incrementar el consumo de alimento no deben repercutir sobre la composición nutricional de la leche, para que no se vea mermado el desarrollo del lechón (Michiels *et al.*, 2013).

La modificación en la composición de la leche por efecto del tipo de insumos que son incorporados en la dieta de cerdas lactantes ha sido demostrada por Corino *et al.* (2008) al adicionar el ácido linoleico conjugado a la dieta de cerdas lactantes, ellos encontraron modificaciones el contenido de inmunoglobulinas (IgG, IgA, e IgM), no obstante, no modifico el consumo de alimento de la cerda, con respecto al grupo control ( $P > 0.05$ ). Ariza *et al.*, (2010), encontraron que la adición a la dieta con aceite esencial de orégano durante la fase de lactancia, disminuye la cantidad de grasa en leche, además el consumo de alimento de la cerda fue similar al de las cerdas que no consumieron dicho aceite ( $P > 0.05$ ). En contraste, Song *et al.* (2009), al adicionar 30% de granos solubles destilados a la dieta de cerdas lactantes, no encontraron ( $P > 0.05$ ) cambios en la composición de leche ni en el desarrollo de camada, así mismo, el consumo de alimento voluntario por cerdas no se mejoró.

Actualmente, con la finalidad de mitigar el efecto de la hipofagia fisiológica lactacional se han implementado dietas compactas con el propósito de incrementar el consumo de energía y proteína en un menor volumen de alimento (Beyer *et al.*, 2007), así como, la adición de diferentes tipos de grasas en la dieta con el propósito de reducir la pérdida de condición corporal de la cerda al destete (Park *et al.*, 2010). Sin embargo, las estrategias propuestas por los

diferentes investigadores son económicamente inviables o no resuelven el origen del problema, mismo que es inherente a la cerda y se debe al estado metabólico por el que transita la cerda en dicha fase y se caracteriza por incremento de los niveles de glucosa sanguínea (Martínez et al., 2010).

Ante ésta situación, la alternativa que se evalúa en la presente investigación, es el efecto del nopal (*Opuntia ficus-indica*) en la alimentación de cerdas lactantes sobre la cantidad y calidad de la leche (Artículo 3 y 4). Ello debido a los reportes que se tienen sobre un mayor consumo de alimento (4.5 vs 5.1 kg promedio día<sup>-1</sup>) en cerdas que consumieron nopal (2.5 kg promedio día<sup>-1</sup>) durante la lactancia (Ortiz *et al.*, 2016). Efecto que fue asociado a las propiedades hipoglucémico e hipocolesterolemico (Nuñez *et al.*, 2013) de esta cactácea, características estas que lo coloca como una alternativa no convencional viable para modular el estado metabólico de las cerdas durante la lactancia y reducir la hipofagia lactacional. Sin embargo, aún no se ha reportado la cantidad y calidad de la leche producida por las cerdas que consumieron nopal. Y una característica que presenta este forraje (nopal) es su bajo contenido de proteína (104 g kg<sup>-1</sup> materia seca) y energía (12.9 MJ kg<sup>-1</sup> materia seca) (Pinos *et al.*, 2010). Por lo tanto, se podría ver afectada la cantidad y calidad de la leche provenientes de cerdas alimentadas con nopal.

De acuerdo con los resultados mostrados en la presente investigación (Artículo 3), la adición del 1% de *O. ficus indica* a la dieta de cerdas lactantes, incremento ( $P < 0.05$ ) el consumo ello comparado con las cerdas que no consumieron nopal como complemento en su dieta (5.6 y 25.2 kg para consumo de alimento y pérdida de peso corporal, respectivamente), aunado a ello, la adición de nopal no afectó ( $P > 0.05$ ) la producción (7.2 vs 7.4 L promedio día<sup>-1</sup> para cerdas

alimentadas convencionalmente y cerdas que consumieron nopal, respectivamente) y calidad de la leche (Artículo 3).

Por lo tanto, al no modificarse la producción y contenido nutricional de la leche de cerdas proveniente de cerdas que consumieron nopal (Artículo 3), no se afectó el desarrollo de los lechones durante la lactancia y en la etapa pos-destete (Artículo 4). En lo referente al crecimiento post-destete de lechones provenientes de madres que consumieron nopal durante la lactancia, a pesar de que no se encontró efecto de dieta ( $P > 0.05$ ) (Artículo 4), se observó mejor adaptación de dichos al presentar mayor consumo de alimento a partir de la tercera semana ( $P < 0.05$ ), ganancia de peso diaria a partir de la cuarta ( $P < 0.05$ ) y peso vivo a partir de la quinta semana ( $P < 0.05$ ), ello en comparación con los lechones provenientes de cerdas que no se les adiciono nopal a la dieta durante la lactancia (Artículo 4).

Se ha reportado (Giang *et al.*, 2010) que el peso del lechón al destete es una condicionante para el influye en el crecimiento de éste durante la etapa de post-destete. Ya que inmediatamente después de destete el lechón es expuesto a cambios generados en torno a la etapa productiva, mismos que afectan el crecimiento normal del lechón (Razuoli *et al.*, 2010; Pérez *et al.*, 2016). Por lo que, la adición de nopal a la dieta de la cerda lactante, como estrategia para contrarrestar los efectos de la hipofagia fisiológica lactacional, puede ser viable, ya que incrementa el consumo de alimento sin afectar la producción y calidad láctea, lo cual se observó en un desarrollo adecuado del lechón.

## **Bibliografía**

- Ariza, C.N., Bandrick, M., Baidoo, S.K., Anil, L., Molitor, T.W., y Hathaway, M.R. (2011) Effect of dietary supplementation of oregano essential oils to sows on colostrum and milk composition, growth pattern and immune status of suckling pigs. *J. Anim. Sci.* 89:1079–1089.
- Barb, C.R., Hausman, G.J., y Lents, C.A. (2008). Energy Metabolism and Leptin: Effects on Neuroendocrine Regulation of Reproduction in the Gilt and Sow. *Reprod. Dom. Anim.* 43: 324–330.
- Corino, C., Pastorelli, G., Rosi, F., Bontempo, V., y Rossi, R. (2009). Effect of dietary conjugated linoleic acid supplementation in sows on performance and immunoglobulin concentration in piglets. *J. Anim. Sci.* 87:2299–2305.
- Esquivel, P. y Araya, Q.Y. (2012). Características del fruto de la pitahaya (*Hylocereus sp.*) y su potencial de uso en la industria alimentaria. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos.* 3 (1): 113-129.
- Flores, O.M.A. y Reveles, H.M. (2010). Producción de nopal forrajero de diferentes variedades y densidades de plantación. *RESPYN.* 5: 198-210.
- Giang, H.H., Viet, T.Q., Ogle, B., Lindberg, J.E. (2010) Growth performance, digestibility, gut environment and health status in weaned piglets fed a diet supplemented with potentially probiotic complexes of lactic acid bacteria. *Livestock Science.* 129 :95–103
- Hansen, A.V., Lauridsen, C., Sorensen, M.T., Bach, K.E., Theil, P.K. (2012b). Effects of nutrient supply, plasma metabolites, and nutritional status of sows during transition on performance in the next lactation. *J. Anim. Sci.* 90:466–480.
- Hermesch, S. (2007). Genetic analysis of feed intake in lactating sows. *Proc. Assoc. Advmt. Anim. Breed. Genet.* 17: 61-64.7
- Jang, Y.D., Kang, K.W., Piao, L.G., Jeong, T.S., Auclair, E., Jonvel, S., D'inca, R., Kim, Y.Y. (2013) Effects of live yeast supplementation to gestation and lactation diets on reproductive performance, immunological parameters and milk composition in sows. *Livestock Science.* 152: 167–173.
- King'ori, A.M. (2012). Sow Lactation: Colostrum and Milk Yield: a Review. *J. Anim. Sci. Adv.* 2(6): 525-533.

- Kruse, S., Traulsen, I., Krieter, J. (2011) Analysis of water, feed intake and performance of lactating sows. *Livestock Science*. 135 :177–183.
- Matínez, S., Valera, L., Villodre, C., Madrid, J., Orengo, J., Tvaeijonaviciute, A., Cerrón, J.J., Hernández, F. (2014) Effect of feeding on hormones related with feed intake in reproductive sows with different energy balances. *Can. J. Anim. Sci.* 94: 639646
- Michiels, J., De Vos, Missotten, J., Owyn, A., De Smet, S., y Van Ginneken, C. (2013) Maturation of digestive function is retarded and plasma antioxidant capacity lowered in fully weaned low birth weight piglets. *British Journal of Nutrition*, 109, 65–75.
- Nuñez, M.A.L., Paredes, O.L. and Reynoso, R.C. (2013). Functional and hypoglycemic properties of nopal cladodes (*O. ficus-indica*) at different maturity stages using in vitro and in vivo test. *Journal of agricultural and food chemistry* 61, 10981-10986.
- Park, M.S., Shiunde, P.L., Yang, Y.X., Kim, J.S., Choi, J.Y., Yun, K., Kim, Y.W., Lohakare, J.D., Yang, B.K., Lee, J.k., Chae, B.J. (2010). *Asian-Aust J. Anim. Sci.* 23: 226-233.
- Pinos, R.J.M., Velázquez, J.C., Gonzáles, S.S., Aguirre, J.R., García, J.C., Álvarez, G., Jasso, Y. (2010) Effects of cladode age on biomass yield and nutritional value of intensively produced spineless cactus for ruminants. *South African Journal Animal Science*. 40(3): 245-250.
- Razzouli, E., Dotti, S., Archetti, I.L., y Amadori, M. (2010). Clinical chemistry parameters of piglets at weaning are modulated by an oral, low-dose interferon- $\alpha$  treatment. *Vet. Res. Commun.* 34: 189–S192.
- Saito, H., Sasaki, Y., y Koketsu, Y. (2011). Associations between Age of Gilts at First Mating and Lifetime Performance or Culling Risk in Commercial Herds. *J. Vet. Med. Sci.* 73(5): 555–559.
- Schenkel, A.C., Bernardi, M.L., Bortolozzo, F.P., Wentz, I. (2010) Body reserve mobilization during lactation in first parity sows and its effect on second litter size, *Livestock Science* 132: 165–172.
- Shen, Y.B., Carroll, J.A., Yoon, I., Mateo, R.D., Kim, S.W. (2011) Effects of supplementing *Saccharomyces cerevisiae* fermentation product in sow diets on performance of sows and nursing piglets. *J. Anim. Sci.* 89:2462–2471.

*“EFECTO DE LA ADICIÓN DE NOPAL (O. ficus-indica) EN LA DIETA DE CERDAS LACTANTES SOBRE LA PRODUCCIÓN, CALIDAD DE LA LECHE Y DESARROLLO DEL LECHÓN”*

Vázquez, R.E.A., Blanco, F.M., Ojeda, M.C.Z., Matínez, J.R.L., Valdez, R.D.C., Santos, A.H., Háud, L.M. (2011) Reforestación a base de nopal y maguey para la conservación de suelo y agua. *RESPYN*. 5 :185-203.

Vicente, J.G., Isabel, B., Cordero, G., Lopez, C.J.B. (2013). Fatty acid profile of the sow diet alters fat metabolism and fatty acid composition in weanling pigs. *Animal Feed Science and Technology*. 181: 45–53.