



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO

**MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN Y DE LA SALUD
ANIMAL**

**BALANCES DE NITRÓGENO Y ENERGÍA EN CERDOS EN CRECIMIENTO CON
DIFERENTE POTENCIAL PRODUCTIVO**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

PRESENTA:

ENRIQUE VÁZQUEZ MANDUJANO

DIRECTOR DE TESIS:

GERARDO MARISCAL LANDÍN

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN-UNAM

COMITÉ TUTOR:

TÉRCIA CESÁRIA RÉIS DE SOUZA

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE QUERETARO

CHARLES MARTIN NYACHOTI

UNIVERSIDAD DE MANITOBA

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO. OCTUBRE 2020



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIAS

A mi madre y a mi hijo.

AGRADECIMIENTOS

Al INIFAP por darme un espacio para mi crecimiento profesional.

Al CONACYT por el apoyo económico otorgado para la realización del posgrado.

Al Dr. Gerardo Mariscal por su ayuda y motivación constante para terminar este trabajo.

A mis compañeros Erick y Lupita, con su apoyo y grandes aportes se logró culminar este trabajo.

A Don José, por su paciencia y ayuda en la realización de los análisis de laboratorio.

A los miembros del jurado por sus valiosas aportaciones en la revisión de este trabajo.

RESUMEN

La selección dirigida a la hiperprolificidad de las cerdas, ha provocado camadas con mayor proporción de lechones con bajo peso al nacimiento (menores a 1 kg de peso). La “programación fetal” sugiere que el tracto gastrointestinal de los cerdos con bajo peso al nacimiento puede tener diferencias en su estructura, fisiología y metabolismo, por lo tanto, la utilización de nutrientes podría verse afectada siendo ésta la razón de la reducida capacidad productiva en comparación con los cerdos con peso normal al nacimiento. Por esta razón, se llevó a cabo un estudio en el CENIDFyMA-INIFAP, con el objetivo de determinar los balances de nitrógeno (N) y energía (E) de cerdos con bajo peso al nacimiento (< 1 kg) y cerdos con peso normal al nacimiento (≈ 1.5 kg). Para la realización del estudio se usaron 5 pares de cerdos machos castrados, cada par constó de 2 hermanos, uno con bajo peso al nacimiento (BPN) y uno con peso normal al nacimiento (PNN). Se tomó una primera medición del cerdo PNN cuando alcanzó los 50 kg; de PV, posteriormente se tomó una segunda medición de ambos cerdos cuando el cerdo BPN llegó a los 50 kg; de PV, para poder así realizar comparaciones a la misma edad y al mismo peso. Se observó una digestibilidad menor de MS ($P < 0.05$) en los cerdos BPN, al mismo peso de 0.89% y misma edad 0.87%. A la misma edad se observó una menor digestibilidad (1.34%) del Nitrógeno ($P < 0.05$), igualmente la retención fue 3.44% menor ($P < 0.05$) para los cerdos BPN. Se observó una menor digestibilidad de Energía para los

cerdos BPN al mismo peso (-0.93%) y misma edad (-1.32%). Igualmente, los cerdos BPN obtuvieron menor Energía Metabolizable ($P<0.05$) al mismo peso (-0.94%) y misma edad (-1.5%) del alimento consumido. Los resultados demuestran que hay una diferencia en la utilización del Nitrógeno y Energía, en donde se muestra que los cerdos BPN son menos eficientes que los cerdos PNN, lo cual explicaría el menor desempeño productivo de los cerdos BPN.

Palabras clave: bajo peso al nacimiento, balance de nitrógeno, balance de energía, IUGR.

ABSTRACT

Selection programs directed to hyperprolificity of sows, had induced litters with a greater proportion of piglets with low birth weight (LBW: less than 1 kg of live weight). The fetal programming suggest that, the gastrointestinal tract of the pigs with low birth weight, may have differences on the structure, physiology and metabolism, therefore nutrient utilization may be affected, being this the reason of the reduced productive performance compared with pigs that have a normal birth weight (NBW 1.5 kg or more of live weight). A study was conducted at the CENIDF&MA of the INIFAP, with the objective of determine nitrogen (N) and energy (E) balances, in piglets, with low birth weight (LBW) and with normal birth weight (NBW). In order to conduct this study five pairs of barrows were used, each pair consisted of two brothers of the same litter, one with LBW, and the other one with NBW. Nitrogen and energy balances were done at two different times; the first one was done when the NBW reached 50 kg of weight, and the second measurement was done when the LBW reached 50 kg, in order to allow measurements at the same age, as well as the same weight. It was observed a lower DM digestibility ($P<0.05$) in LBW pigs, at the same weight (0.89%), and the same age (0.87%). At the same age, it was observed 1.34% fewer nitrogen digestibility ($P<0.05$) for LBW pigs. Likewise, pigs with LBW got less metabolizable energy ($P<0.05$) from feed at the same weight (-0.94%) and the same age (-1.5%). These results suggest that there is a difference in nitrogen and energy

utilization between both groups of pigs, being the LBW pigs less efficient, which can be the explanation for a reduced productive performance.

Keywords: low birth weight, nitrogen balance, energy balance, intrauterine growth restriction.

CONTENIDO

| | |
|-------------------------------------|--------|
| DEDICATORIAS | I |
| AGRADECIMIENTOS | II |
| RESUMEN | III |
| ABSTRACT..... | V |
| CONTENIDO..... | VII |
| INDICE DE CUADROS | VIII |
| I. INTRODUCCION | - 1 - |
| II. REVISION DE LA LITERATURA | - 5 - |
| III. OBJETIVOS..... | - 26 - |
| IV. HIPOTESIS..... | - 27 - |
| V. MATERIAL Y METODOS | - 28 - |
| VI. RESULTADOS | - 36 - |
| VII. DISCUSION | - 43 - |
| VIII. CONCLUSIONES | - 56 - |
| IX. IMPLICACIONES | - 57 - |
| X. RECOMENDACIONES | - 58 - |
| REFERENCIAS..... | - 59 - |

INDICE DE CUADROS

| | |
|---|--------|
| Cuadro 1 Composición g/kg de la dieta experimental y análisis estimado del aporte de nutrientes..... | - 31 - |
| Cuadro 2 Resultados de digestibilidad de materia seca al comparar cerdos con bajo peso al nacimiento con cerdos con peso normal al nacimiento. | - 37 - |
| Cuadro 3 Resultados de Balance de Nitrógeno..... | - 39 - |
| Cuadro 4 Resultados de Balance de Energía. | - 42 - |

I. INTRODUCCION

El peso al nacimiento de cada lechón, su variación dentro de la camada, y su dispersión dentro de los grupos de parto, son aspectos que cada vez tienen mayor relevancia en la producción porcina, debido a la asociación de estos con morbilidad, mortalidad perinatal y desempeño productivo en etapas posteriores, lo que puede impactar el desempeño económico de las explotaciones porcinas (Rendón del Águila *et al.*, 2017). El poder tener camadas más homogéneas es muy deseable en la producción porcina, debido a que facilita el manejo y se obtienen mejores resultados económicos. Por el contrario, a medida que dentro de la camada existen lechones con bajo peso al nacimiento, la variación de peso aumenta no solo durante la vida perinatal de los lechones, sino también en etapas posteriores la variación continúa (Quiniou *et al.*, 2002). Lo anterior, debido en gran parte a que los cerdos con bajo peso al nacimiento se retrasan en su crecimiento. Las camadas con más variación del peso al nacimiento tienen mayor variabilidad de peso al destete, sumado a lo anterior, las reducciones en las ganancias de peso desde el nacimiento tienen efectos desfavorables en las etapas posteriores (Campos *et al.*, 2011). Los cerdos que tienen bajo peso al nacimiento tardan más tiempo en llegar a peso de mercado (Gondret *et al.*, 2005).

Existe un fenómeno denominado “programación fetal”, una reciente teoría que explica que las alteraciones en la nutrición y el estado endocrino fetal, debido a un insuficiente aporte sanguíneo, pueden resultar en cambios en la estructura,

fisiología y metabolismo de los individuos afectados. Esta teoría sugiere que los animales que tienen un bajo peso al nacimiento, pueden estar afectados por estas alteraciones y la utilización de los nutrientes será diferente, provocando un menor desempeño productivo en comparación con los animales con un peso normal al nacimiento (Wang *et al.*, 2005). Estudios como el de Xu *et al.* (1994) mencionan que los cerdos con bajo peso al nacimiento tienen el tracto gastrointestinal más pequeño y con un funcionamiento deteriorado. Resultados de otros trabajos sugieren que el número total de miofibrillas es menor en lechones con bajo peso al nacimiento en comparación con los lechones más pesados (Beaulieu *et al.*, 2010), esto debido a que la miogénesis está alterada. En los cerdos, la miogénesis es un proceso que consta principalmente de dos fases, donde la primera dura desde el día 35 al 55 de gestación, en esta fase se desarrollan las miofibrillas primarias que servirán de anclaje para las miofibrillas secundarias. La generación de miofibrillas secundarias dura del día 45 al 90 de gestación, por lo que las alteraciones provocadas por el aporte insuficiente en el desarrollo prenatal pueden afectar estas etapas que son determinantes para el desarrollo y crecimiento posnatal.

Diferentes criterios son utilizados por distintos autores para definir un cerdo con bajo peso al nacimiento, Wang *et al.* (2005) utiliza en su estudio cerdos con 2 desviaciones estándar por debajo de la media, en donde los define como cerdos afectados con restricción intrauterina del crecimiento (IUGR), Rendón del Águila *et al.* (2017) en su estudio, definen los cerdos con bajo peso al nacimiento a los que

tengan un peso que se encuentre una desviación estándar por debajo de la media. Quiniou *et al.* (2002) en su estudio, definieron a los cerdos con menos de 1 kilogramo de peso al nacimiento como cerdos con bajo peso al nacimiento. Otro criterio muy usado es considerar a los cerdos con 1.5 desviaciones estándar por debajo de la media como de bajo peso al nacimiento. En su meta análisis Lanferdini *et al.* (2018), observaron que la mayoría de los autores coincidían en que los cerdos con menos de 1 kg de peso al nacimiento eran considerados como de bajo peso. El tamaño de la camada está fuertemente relacionado con el peso al nacimiento, el incremento en el tamaño de la camada conduce a un aumento en la proporción de cerdos con bajo peso al nacimiento (Quiniou *et al.*, 2002; Martineau y Badouard, 2009).

Es necesario comprender como es el uso de los nutrientes en los cerdos BPN para lograr explicar su relación con el comportamiento productivo. Un concepto clave en el desarrollo de los cerdos es el de la energía. La energía es necesaria para la realización de los procesos metabólicos, para el mantenimiento del organismo y para las funciones productivas. La energía representa la mayor proporción del costo de la alimentación, por lo tanto, es importante estimar con precisión el valor energético de los alimentos para adaptarlo a los requerimientos específicos de los animales y el suministro de energía es clave para el comportamiento productivo de los animales (Noblet *et al.*, 1994). En este contexto los requerimientos de los cerdos con bajo peso al nacimiento pueden ser distintos si el metabolismo energético y

proteico es diferente, conocer este hecho podría ser significativo para tomar medidas al respecto para mejorar la nutrición de esta población.

Debido a lo anterior los objetivos de este estudio son determinar los balances de nitrógeno y energía con la hipótesis de que los cerdos con bajo peso al nacimiento son menos eficientes en el uso del nitrógeno y energía.

II. REVISION DE LA LITERATURA

II.I BALANCE DE NITROGENO Y ENERGÍA

Los balances de nitrógeno y energía son comúnmente utilizados para determinar las digestibilidades del nitrógeno y energía, en ellos se hace una relación de la cantidad ingerida en el alimento y la cantidad excretada en heces y en orina (Waterlow, 1999), y en el caso de la energía se incluye también el incremento calórico (Noblet, 2007). Es importante reconocer que el organismo en conjunto es un sistema dependiente de muchos factores, por lo cual las respuestas productivas dependen en gran medida de la forma en cómo se absorben, digieren y metabolizan los nutrientes (Celi *et al.*, 2017).

Casi todo lo que ocurre en la célula involucra una o más proteínas, las cuales tienen diferentes funciones y actividades biológicas por lo tanto la utilización del nitrógeno está comprometida en casi todas las respuestas del organismo, lo que a su vez está estrechamente relacionado a la utilización energética (Ferrier, 2018). Las interacciones energía-proteína están presentes en todo momento durante la vida del animal, y son responsables de casi todos los procesos fisiológicos que involucra el crecimiento. La mayor parte del nitrógeno consumido es a través de los aminoácidos contenidos en la proteína (Van Milgen y Dourmad, 2015), debido a lo anterior generalmente se usa al nitrógeno para estimar la proteína cruda contenida en el alimento. El promedio de nitrógeno contenido es de 16 g por cada 100 g de

proteína, o sea el 16% de ahí se deriva el factor 6.25, en donde la cantidad de proteína cruda contenida es 6.25 veces la cantidad de nitrógeno (NRC, 2012). El término proteína cruda es debido a que el nitrógeno no proteico es evaluado en forma similar al nitrógeno de la proteína, aunque normalmente es muy baja la proporción del primero (Jiang *et al.*, 2014). La conversión de la proteína a tejido se realiza a través de los procesos de digestión, absorción, y metabolización post absorptiva. En el balance de nitrógeno, se determina la cantidad de nitrógeno en el alimento con la cual se calcula la cantidad de nitrógeno ingerida por el animal, a la cual se resta la cantidad de nitrógeno contenido en heces, y se asume que el resultado es el nitrógeno que se absorbió a lo largo del tracto gastrointestinal, al nitrógeno absorbido se le resta la cantidad de nitrógeno eliminado en orina y se obtiene así el nitrógeno retenido por el animal (NRC, 2012).

Los animales forman parte de un sistema abierto de intercambio constante de energía, tomando la energía en forma de alimento y utilizándola en procesos internos para el mantenimiento y la producción, reteniendo parte de ésta y desechando el resto (Noblet *et al.*, 1994). La energía en nutrición animal se evalúa como la oxidación de los compuestos orgánicos para llevar a cabo los procesos propios. Aunque hay muchas formas de energía, en nutrición, la energía se centra principalmente en energía térmica y química (NRC, 2012). La energía (E) se divide dependiendo su utilización dentro del animal, en tres categorías generales: calor,

productos (tejido) y excreción (Noblet, 2007a). Durante la vida el cerdo no siempre utiliza la energía por igual; su uso es dependiente de la interacción del estado fisiológico en el que se encuentre el animal, la composición física y química de los alimentos que consume y de su interacción con el medio ambiente (Van Milgen y Dourmad, 2015). Los sistemas utilizados para la evaluación de la energía en nutrición animal son; energía bruta (EB), energía digestible (ED), energía metabolizable (EM) y energía neta (EN). La energía bruta es la energía estimada por un calorímetro. En el caso de los alimentos, se refiere a la cantidad de energía producida cuando un alimento se oxida completamente, a su vez la energía bruta contenida en las heces, orina y gas producido, se utiliza para la determinación de la energía digestible, metabolizable y neta, determinada comúnmente por calorimetría indirecta (Gerrits *et al.*, 2015). La energía digestible (ED) que es la energía resultante de restar a la EB del alimento la E determinada en heces, es importante mencionar que generalmente no hace diferencia en los valores de energía de origen endógeno y el de origen dietético en las heces, por lo tanto, los valores encontrados en la mayoría de las publicaciones se refieren a ED aparente (NRC, 2012). La energía metabolizable (EM), se estima restándole a la ED, la energía determinada en orina y gas (fermentación), ésta representa alrededor de 96% de la ED (Noblet y Van Milgen, 2004). En dietas convencionales para cerdos en crecimiento las pérdidas de gas son muy pequeñas, cercanas al 0.5% (Noblet *et al.*, 1994), en

comparación con las dietas para las cerdas reproductoras que llegan a producir alrededor de un 3% de gas al ser alimentadas con dietas ricas en fibra (Ramonet *et al.*, 1999), por lo tanto el factor principal que define la proporción de ED a EM es la energía en orina que proviene principalmente de la urea (Noblet y Van Milgen, 2004). La energía neta (EN), es estimada tomando en cuenta la energía perdida por el incremento calórico, ésta a su vez se divide en energía neta de mantenimiento (ENm) que como su nombre lo dice es la energía utilizada para mantener las funciones vitales; y energía neta de producción (ENp) que es la energía utilizada para crecimiento, gestación y lactación (Gerrits *et al.*, 2015).

II.II LECHONES CON BAJO PESO AL NACIMIENTO

EL peso al nacimiento de cada lechón, así como la variación dentro de la camada son aspectos a los cuales cada vez se les está dando mayor importancia, debido a que se ha observado que el bajo peso al nacimiento está relacionado con una alta mortalidad y morbilidad perinatal, así como un bajo rendimiento productivo en etapas posteriores, que se traduce en un impacto económico importante para la producción porcina (Campos *et al.*, 2011; Rendón del Águila *et al.*, 2017). Un menor peso al nacimiento se ha asociado con una mayor mortalidad pre-destete, menor tasa de crecimiento, mayor susceptibilidad a enfermedades y una menor calidad de carne (Rehfeldt *et al.*, 2008). Se considera que condiciones que tienen un origen prenatal, pueden determinar el comportamiento productivo de los lechones en su

vida adulta, factores extrínsecos e intrínsecos, como la mala nutrición materna, la mala absorción intestinal materna, la inadecuada provisión de fluidos alantoideos y amnióticos, el aumento en la competencia por nutrientes en útero especialmente en las cerdas con alta prolificidad, problemas en mecanismos metabólicos y homeostáticos maternos y fetales, insuficiencia o disfunción de útero, endometrio o placenta, temperatura ambiental y estrés (Friend y Cunningham, 1966).

II.II.I ALIMENTACION DE LA CERDA

La nutrición de la cerda gestante ejerce un rol muy importante en el desarrollo de la camada durante la gestación y su variación ha tomado mayor relevancia en la producción moderna, en donde se utilizan cerdas cada vez más prolíficas, con el fin de aumentar la producción, sin embargo, también ha tenido efectos colaterales no deseados, como el aumento en la proporción de lechones de bajo peso al nacimiento (Campos *et al.*, 2011). La capacidad del útero para satisfacer las demandas nutricionales de los fetos, es característica del genotipo y de la especie animal (Père y Etienne, 2000), esto significa que cada línea genética tiene definida una distinta hiperprolificidad.

Una nutrición materna subóptima durante la gestación, que provea nutrientes tanto a los fetos como a la cerda, ha sido considerada como una de las principales causas de la variabilidad dentro de los genotipos modernos. Por otro lado, la selección que han venido realizando las diferentes compañías que se dedican a la venta de pie de

cría en cerdas reproductoras, ha sido dirigida a obtener cerdas con mayor capacidad de parir un mayor número de lechones, que a su vez tengan uniformidad en su peso al nacimiento (Campos *et al.*, 2011). Ya que, al existir una mayor cantidad de lechones en el útero, la competencia por el espacio uterino y los nutrientes aumenta. La placenta es el órgano a través del cual se intercambian gases, nutrientes y desechos de respiración entre la madre y el feto, en consecuencia el desarrollo y crecimiento del feto depende de la capacidad materna para proporcionar los recursos requeridos (Campos *et al.*, 2011). La circulación entre la placenta y el feto se establece desde la gestación temprana, siendo clave para las etapas posteriores en donde los requerimientos aumentan debido al crecimiento fetal (Reynolds y Redmer, 2001). Queda claro, que el crecimiento y el desarrollo fetal dependen del correcto suministro de las demandas metabólicas, que a su vez dependen de la alimentación materna. Al aumentar la prolificidad se requieren mayores aportes nutricionales para satisfacer las demandas metabólicas tanto de la cerda como de los fetos (Kim *et al.*, 2009).

Una nutrición materna incorrecta, con respecto al aumento de los requerimientos nutricionales, puede asociarse con un retraso en el crecimiento fetal, en consecuencia es menor la uniformidad de la camada, provocando que exista una mayor proporción de lechones con bajo peso al nacimiento y con un menor rendimiento productivo (Campos *et al.*, 2011). Noblet *et al.* (1985), observaron una

reducción del crecimiento fetal al disminuir el 28% de la ingesta de alimento después del día 80 de gestación. Kongsted (2005) en su revisión indica también que el consumo de energía influye en el tamaño de la camada y la tasa de gestación. Sin embargo, existen reportes en donde se observa que al disminuir el suministro de energía, no hubo un efecto sobre la camada, esto debido a que la cerda tiene la capacidad de movilizar de sus reservas la energía necesaria para preservar su progenie (Anderson, 1975; Liao y Veum, 1994; Jindal *et al.*, 1996; Bee, 2004).

La ingesta de proteínas en la dieta durante la gestación, desempeña un papel fundamental en el crecimiento y desarrollo, tanto materno como fetal. En contraste a los trabajos con energía, existe evidencia de que en una deficiencia de proteína en la dieta de la cerda, se observan efectos negativos en su camada, como un bajo peso al nacimiento, mayor mortalidad de lechones y mayor variabilidad de la camada (Reynolds y Redmer, 2001; Redmer *et al.*, 2004). Los autores sugieren que el aporte proteínico tiene un efecto marcado en el desarrollo fetal, debido a que los factores angiogénicos, así como sus receptores se alteran, afectando el desarrollo vascular, ya que se altera el flujo de nutrientes hacia los fetos, la reducción de proteína en la dieta disminuye la actividad de la óxido nítrico sintetasa y de la síntesis de citrulina en placenta y endometrio (Atinmo *et al.*, 1974; Schoknecht *et al.*, 1994; Redmer *et al.*, 2004; Wu *et al.*, 2004). Se sabe que los aminoácidos relacionados a la arginina como la glutamina, glutamato, aspartato, prolina, citrulina,

asparagina y ornitina tienen un rol importante en la angiogénesis y desarrollo placentario, la cual tiene mayor relevancia hacia la gestación temprana (Wu *et al.*, 2007) y como se mencionó anteriormente, de esto depende que el flujo de nutrientes hacia el feto sea óptimo.

Recientemente se ha recomendado no mantener constantes los niveles de proteína en la dieta durante toda la gestación, sino aumentar al avanzar la gestación debido a que aumentan los requerimientos con el crecimiento fetal (Kim, 2010). Además se han realizado varios estudios en donde se utilizan suplementos como la arginina, glutamina, L-carnitina, ácidos grasos de cadena corta u otras grasas, que han tenido resultados favorables disminuyendo la proporción de lechones con bajo peso al nacimiento y la reducción de la variabilidad entre camada (Azain, 1993; Campos *et al.*, 2011; Oksbjerg *et al.*, 2013).

II.II.II HIPERPROLIFICIDAD Y TAMAÑO DE LA CAMADA

La industria porcina ha logrado grandes avances en aumentar el tamaño de las camadas, a través de la selección genética y la introducción de líneas hiperprolíficas para la producción comercial, aunado a mejoras en la nutrición, instalaciones, salud y manejo (Kim, 2010). La hiperproliferidad de las cerdas, puede estar relacionada a un aumento en la tasa de ovulación, mejoras en la supervivencia después de la implantación, así como a la mayor capacidad uterina. Esto se ha traducido en que existe mayor número de embriones implantados, de los que la cerda puede

mantener durante la gestación (Rankin *et al.*, 1975; Molina *et al.*, 1985; Redmer *et al.*, 2004). El incremento en el tamaño de las cerdas, ha resultado en un incrementado número de lechones con bajo peso al nacimiento, así como a una mayor variación del peso de la camada, que a su vez se relaciona con una mayor mortalidad, en la cual se observa que los lechones con bajo peso al nacimiento, son los más afectados (Gondret *et al.*, 2005).

Todas las sustancias requeridas para el desarrollo del feto son llevadas a través del intercambio sanguíneo entre madre y feto. A medida que aumenta el tamaño de la camada, la cantidad de nutrientes para cada feto disminuye debido a una mayor competencia fetal, esto se relaciona con un menor crecimiento que conduce a una mayor proporción de animales con bajo peso al nacimiento y una mayor variación en la camada (Campos *et al.*, 2011). Algunos experimentos demuestran que la restricción del flujo sanguíneo reduce el desarrollo fetal (Molina *et al.*, 1985; Rankin *et al.*, 1975) . Se ha observado que el flujo sanguíneo entre la madre y los productos se adapta al tamaño de la camada, al aumentar el tamaño de la camada aumenta el flujo sanguíneo, sin embargo, en camadas numerosas el flujo sanguíneo por feto es menor (Reynolds *et al.*, 1985; Père y Etienne, 2000). Las cerdas al parecer son capaces de asegurar el desarrollo de solo un número limitado de fetos (Père y Etienne, 2000). Estos mismos autores describen que cuando el tamaño de la camada se incrementa, el aumento en el flujo sanguíneo es insuficiente para

compensar el número de fetos, por lo que se reduce el flujo de sangre intrauterino por feto provocando un déficit de nutrientes afectando a todos o a algunos miembros de la camada. Esto explica por qué los lechones de camadas grandes generalmente tienen un menor peso al nacimiento. En este mismo estudio, encontraron que el peso medio del feto a los 112 días de gestación disminuyó de 1.52 a 1.24 kg cuando el tamaño de la camada en el cuerno uterino aumento de 2-3 a 6-8 fetos. Se especula que hay una redistribución del flujo sanguíneo hacia el cerebro como forma de protección por lo que los demás órganos no reciben el suficiente suministro (Atnimo *et al.*, 1974; Wilson y Anderson, 2010).

Además, existe evidencia de que el uso de cerdas hiperprolíficas como una estrategia para incrementar el número de lechones nacidos, está altamente relacionado con una mayor variación del peso al nacimiento, observando una mayor proporción de lechones de bajo peso, lo que está altamente correlacionado con una menor tasa de supervivencia dentro de los primeros días después del nacimiento (Milligan *et al.*, 2002). Los lechones con BPN tienen más probabilidad de morir, ya que presentan un nivel bajo de almacenamiento de energía, lo que resulta en una marcada dificultad para termo regular y los hace más sensibles al frío, aumentando así la posibilidad de mortalidad por la hipotermia, así mismo tratando de buscar el calor de la madre, los lechones permanecen pegados al cuerpo de la madre, lo que los hace más susceptibles a morir por aplastamiento. Adicionalmente la falta de

energía, hace que estos lechones presenten poca capacidad de movimiento, por lo que, muestran poca habilidad para encontrar los pezones de la madre y poder amamantarse, lo que a su vez significa una menor capacidad para ingerir calostro, originando una pobre adquisición de inmunidad pasiva, afectando la vida posnatal (Quiniou *et al.*, 2002).

Existen muchos factores que pueden alterar la ganancia de peso de los lechones durante el periodo de lactancia, por lo que esta ganancia de peso puede resultar muy variable. En esta etapa los lechones dependen completamente de la cerda para satisfacer sus requerimientos nutricionales, por lo que, en camadas numerosas, la competencia entre hermanos puede tener un efecto importante en el crecimiento y supervivencia de los lechones (Milligan *et al.*, 2002). Es probable que esto afecte más a los cerdos pequeños, a menudo exacerbando la diferencia en el peso corporal al destete, dejando a los lechones más livianos en desventaja. (Douglas *et al.*, 2014) Los lechones con BPN, por lo regular son excluidos por los hermanos más pesados de las tetas más funcionales, además de que los cerdos con mayor peso estimulan de mejor manera para obtener mayor cantidad de leche materna (Fraser y Jones, 1975; Algers *et al.*, 1991).

Aunque es claro que el tamaño de la camada impacta en el peso promedio al nacimiento, algunos autores mencionan que la disminución en el promedio del peso al nacimiento, se compensa con el número de cerdos por camada, y que en la etapa

de finalización, la cantidad de carne producida por cerda por año en camadas grandes, es mayor obteniendo mayores ganancias; aunque no todos los trabajos han tenido los mismos resultados, lo que genera confusión y controversia en el tema (Quiniou *et al.*, 2002; Beaulieu *et al.*, 2010).

La selección dirigida a incrementar el tamaño de la camada, resulta en una mayor proporción de lechones con BPN, que puede no ser beneficiosa a menos que se tomen las medidas para mejorar la supervivencia de los lechones con BPN (Milligan *et al.*, 2002), asegurándose de que los lechones obtengan efectivamente calostro dentro de las primeras seis horas de nacidos y sigan amamantándose correctamente en el resto de la lactancia, así como que cuenten con una fuente de calor suficiente hasta que tengan la capacidad de termo regular. En su trabajo Beaulieu *et al.* (2010), encontraron que el promedio de peso al nacimiento disminuía aproximadamente 43 gramos por lechón, cuando aumentaba la camada de 8.4 a 15.4 lechones, adicionalmente los cerdos que presentaron un BPN, tardaron más días en llegar al peso de mercado, también mencionan estos autores que los cerdos de camadas numerosas, tienden a tener canales con mayor contenido de grasa. Sin embargo, concluyen que el menor rendimiento de los cerdos, no es elemento suficiente que justifique frenar la hiperprolificidad de las cerdas.

II.II.III PARAMETROS PRODUCTIVOS

Existen diferentes puntos de vista respecto al manejo de los cerdos con BPN y su caracterización. Beaulieu *et al.* (2010) mencionan que en algunas granjas comerciales, los cerdos con BPN, por debajo de los 750 gramos, seguramente serán desechados, en parte debido al bajo rendimiento productivo que se espera que tengan, o porque el peso al nacimiento está correlacionado con la tasa de supervivencia, por lo que los cerdos con BPN tienen pocas probabilidades de sobrevivir (Fix *et al.*, 2010). También se ha sugerido, que el bajo rendimiento productivo esperado en estos animales, es resultado de la restricción de nutrientes en el útero, y se mantiene una capacidad reducida de crecimiento a lo largo de su vida (Powell y Aberle, 1980; Foxcroft *et al.*, 2006). Lo anterior fue observado en el trabajo de Quiniou *et al.* (2002), en el que consideraron menos de un kilogramo de peso al nacimiento, como lechones de bajo peso, observándose una marcada diferencia en el porcentaje de cerdos con BPN, en camadas de 14 a 15 lechones registraron 14% de lechones con bajo peso al nacimiento y en camadas de 16 o más lechones fue 23% de la camada que registró BPN, además, una disminución en el peso promedio al nacimiento de 35 g por cada lechón adicional nacido. Beaulieu *et al.*, (2010) reportaron una disminución en el peso promedio al nacimiento de 43 g por lechón, esto observado en camadas de 8 a 15 lechones, que también concuerda con lo mencionado con anterioridad respecto a la

hiperproliferidad de las cerdas. Huygelen *et al.* (2015) concluyeron que desde el nacimiento hasta los primeros 28 días, los cerdos con BPN, tuvieron una ganancia diaria de peso 80 g menor en comparación al promedio. En el trabajo de Quiniou *et al.* (2002), se observó que la diferencia de peso entre los cerdos de BPN y los cerdos con un peso alto al nacimiento, fue aumentando después del destete, en los cerdos más afectados (0.6 kg de peso al nacimiento) tomó 76 días alcanzar un peso promedio de 25 kg, mientras que los cerdos con un peso alto al nacimiento (2.6 kg) llegaron en 55 días a dicho promedio, Powell y Aberle (1980) de manera similar reportaron que los cerdos con BPN tardaron 8 días más en llegar de 26 kg a 96 kg de peso vivo (PV). Por lo tanto, se puede concluir que el peso al nacimiento, está negativamente correlacionado con la ganancia diaria de peso, los cerdos con BPN tienen una menor ganancia diaria de peso en todas sus fases, a medida que disminuye el peso al nacimiento, aumenta el tiempo en llegar a peso de mercado e incluso disminuye la posibilidad de llegar a peso de finalización (Beaulieu *et al.*, 2010; Fix *et al.*, 2010). Dicho lo anterior, queda claro que la mayoría de los trabajos de investigación, coinciden en señalar que los cerdos con BPN, tardan más tiempo en llegar a peso de mercado, así mismo se ha observado que los cerdos con peso medio al nacimiento (PNN; 1.5 kg de PV) se comportan de manera similar a los cerdos con alto peso al nacimiento (APN) teniendo ganancias diarias de peso similares, sin embargo los PNN tardan en promedio 9.5 días más en alcanzar 110

kg de PV en comparación con los cerdos pesados, mientras que los cerdos con BPN tardan 12.1 días más en llegar a ese mismo peso (Lanferdini *et al.*, 2018). Muchos pueden ser los factores que están relacionados con la menor tasa de crecimiento de los cerdos BPN algunos pueden ser prenatales y otros post natales, como un número menor de miofibrillas, consumo reducido de calostro y leche materna (Fix *et al.*, 2010).

Beaulieu *et al.* (2010) consideran que el aumento en el tamaño de la camada, dará como resultado lechones con BPN, simplemente porque hay mayor competencia por el espacio uterino al tener más cerdos producidos por camada, lo que también puede derivar en un aumento en el número de lechones de diferentes categorías de peso en la camada. Existe controversia con respecto a si las camadas grandes no destetan más lechones en comparación con las camadas pequeñas. Algunos autores mencionan que las camadas grandes siguen destetando y llevando a peso de mercado más cerdos en comparación con camadas pequeñas, teniendo el potencial de proporcionar más carne por cerda por año, ya que el peso total de la camada en finalización, se incrementa a su vez con el tamaño de la camada, indicando que la disminución en el peso promedio al nacimiento en las camadas grandes, fue compensado por el número de cerdos (Milligan *et al.*, 2002). Tampoco es claro, a pesar de que existe mayor información al respecto, el hecho de que los lechones que tuvieron BPN, se mantengan siempre más ligeros, al compararlos con

cerdos que tuvieron mayor peso al nacimiento, algunos autores mencionan que es debido al consumo de alimento y que no presentan diferencias en la conversión alimenticia (Rehfeldt y Kuhn, 2006). Morrow *et al.* (2006) evaluaron las implicaciones económicas en las decisiones de eutanasia, los cerdos con bajo peso al nacimiento presentan un bajo peso durante la fase de cría y representan problemas sanitarios por lo que podrían representar un valor económico más bajo en comparación con los cerdos con peso normal al nacimiento.

II.II.IV MUSCULO

El principal producto que se obtiene de las unidades de producción porcina, es la carne de cerdo, la cual a su vez depende de la cantidad y calidad de él o los músculos que la originan. En el caso del cerdo, la cantidad y tipo de miofibrillas con las que el cerdo contará, para el crecimiento y conformación de sus masas musculares, está altamente relacionada con el período prenatal y espacialmente, con el aporte de sangre y nutrientes que llegan al feto. La disminución de flujo sanguíneo puede afectar el desarrollo de diferentes órganos, así como la cantidad de fibras musculares, disminuyendo la proporción de tejido magro y aumentando los depósitos de grasa afectando la calidad de la carne (Rehfeldt y Kuhn, 2006).

El crecimiento muscular posnatal, además de estar determinado por hipertrofia posterior al nacimiento, lo está también por hiperplasia prenatal. En el cerdo, la miogénesis consta de dos fases muy importantes, la primera fase dura del día 35 al

55 de gestación, en ella se generan las miofibrillas primarias, la segunda fase dura hasta el día 90 de la gestación donde se producen las miofibrillas secundarias (Wigmore y Stickland, 1983; Lefaucheur *et al.*, 1995). Mascarello *et al.*, (1992) describieron una tercera generación de fibras muy pequeñas que se forman poco después del nacimiento (0 a 15 días después del nacimiento) y expresan isoformas de miosina en desarrollo. La existencia de las miofibrillas primarias, es una explicación de los aumentos en el número total de fibras que se han observado entre el nacimiento, la quinta y la séptima semana, en los músculos semitendinoso y psoas principales. Los cerdos con BPN, muestran un número menor de fibras durante todas las etapas de su vida.

Las miofibrillas primarias son necesarias como anclaje para las miofibrillas secundarias. El peso al nacimiento está altamente correlacionado con el número de miofibrillas, lo que a su vez está relacionado, con la eficiencia en el crecimiento y calidad de la carne, posiblemente por una disminución de las miofibrillas primarias, aunque Wigmore y Stickland (1983) en su trabajo reportaron la misma cantidad de fibras primarias, pero menos fibras secundarias en los cerdos con BPN, comparándolos con cerdos de alto peso. El número de fibras musculares determina la eficiencia productiva, por lo que el futuro productivo de los cerdos con BPN es menos prometedor que el de los cerdos que nacieron con un peso normal.

Existe controversia respecto a si la calidad de la carne se ve afectada o no, esto se debe a que otros estudios (Gondret *et al.*, 2005, 2006; Nissen y Oksberg, 2011) muestran que no existen diferencias o que estas son mínimas hablando de calidad de carne. Por ejemplo Bérard *et al.* (2008), reportaron que los efectos del tamaño de la camada y del peso al nacimiento, sobre la calidad de carne fueron mínimos. Rehfeldt *et al.* (2008) encontraron una menor calidad de carne en cerdos con bajo peso al nacimiento (0.80 a 1.23 kg) comparada con cerdos con peso promedio (1.23 a 1.53 kg) tanto en el pH y como en la pérdida de peso/líquidos por goteo. La baja calidad está atribuida a una excesiva hipertrofia de las fibras y a la formación de fibras gigantes. Beaulieu *et al.* (2010) mencionan que las fibras gigantes, son una característica asociada con líneas genéticas positivas para el gen del síndrome de estrés porcino, y las diferencias podrían deberse a las líneas genéticas utilizadas, ya que en su trabajo utilizó cerdos negativos al gen del síndrome de estrés porcino, en el cual informa que el peso al nacimiento no afectó la calidad de carne. En su trabajo Lanferdini *et al.* (2018), no encontraron diferencia en la calidad de carne en comparación con los cerdos con peso normal al nacimiento. En contraste Fix *et al.* (2010), mencionan que los cerdos con BPN, tienen menor número de fibras musculares en comparación con los cerdos con peso normal al nacimiento, lo cual afecta el crecimiento. Lanferdini *et al.* (2018), consideran que el hecho de que los

cerdos con BPN se mantengan más ligeros en todas las etapas subsecuentes, es debido a un menor desarrollo de la musculatura.

Otros trabajos mencionan que el BPN está asociado a canales con mayores depósitos de grasa, atribuyendo estos resultados a un menor número de miofibrillas, menor cantidad de músculo y un tamaño mayor de miofibrillas, el menor número menor de fibras musculares y su tamaño, está asociado con la mala calidad de carne (Bee, 2004; Gondret *et al.*, 2006; Rehfeldt *et al.*, 2008).

Gondret *et al.* (2005) encontraron menor cantidad de carne magra, mayor cantidad de grasa dorsal y un jamón más pequeño, al igual que el lomo en cerdos con BPN, comparados con cerdos de peso alto al nacimiento. Gondret *et al.* (2006) informaron que el peso al nacimiento no tuvo impacto sobre la calidad de carne, en pérdida por goteo o sabor. Losel *et al.* (2009), también mencionan que los lechones con BPN exhiben un menor número de miofibrillas esqueléticas al nacimiento y durante toda su vida, en comparación con los lechones con peso promedio al nacimiento o con los lechones pesados, y esto se asocia con un crecimiento y calidad deficientes en la canal y en la carne a peso de mercado. Lanferdini *et al.* (2018) en su meta-análisis reportaron que los cerdos con BPN, presentaron un peso de jamón 4.20% más bajo en comparación con los cerdos con peso normal al nacimiento. Además, el peso relativo de la panza de los cerdos con bajo peso al nacimiento fue 2.90% más alto en comparación con los cerdos con mayor peso.

II.II.V ORGANOS, TRACTO GASTROINTESTINAL

Además del efecto sobre la cantidad de fibras musculares, la disminución del flujo sanguíneo puede afectar el desarrollo de los órganos, disminuye la proporción de tejido magro y aumentar los depósitos de grasa afectando la calidad de la carne (Rehfeldt y Kuhn, 2006).

Comparado con lechones normales, los cerdos con BPN, tienen órganos relativamente más pequeños y alteraciones en las funciones gastrointestinales, a excepción del cerebro, en donde los cerdos con BPN tienen un peso relativo del cerebro más alto, en comparación con los cerdos con peso normal al nacimiento (Lanferdini *et al.*, 2018). Esto se debe a una respuesta adaptativa a la insuficiencia en el aporte de nutrientes para proteger al cerebro.

El retraso en el desarrollo del sistema gastrointestinal, es una de las razones principales por las cuales los cerdos con BPN crecen más lentamente en comparación con sus hermanos con un peso normal al nacimiento (Yeung y Smyth, 2003). Los cerdos con BPN presentan alteraciones en sus órganos, incluido el sistema gastrointestinal donde se compromete la actividad enzimática y la capacidad de absorción (Xu *et al.*, 1994). Dichas alteraciones pueden afectarlos a lo largo de su vida, teniendo un impacto en la productividad en su vida futura. En su trabajo Wang *et al.* (2005), observaron que la microestructura del estómago e intestino están modificadas con hiperplasia, alrededor de las fosas gástricas y

disminución de las micro vellosidades intestinales en cerdos con BPN. Encontraron también, que los niveles de expresión de ARNm del receptor de la hormona del crecimiento y del receptor de insulina, eran más bajos en cerdos con BPN en contraste con los cerdos con un peso normal al nacimiento. Sin embargo, no encontraron diferencias significativas en los pesos relativos de los órganos internos, sugiriendo que existe un desarrollo asimétrico. Bérard *et al.* (2008), encontraron que las canales de cerdos con bajo peso al nacimiento presentaron hígados y riñones más pequeños.

Es claro que los cerdos con BPN presentan un menor rendimiento productivo, en comparación con los cerdos que tuvieron un peso normal al nacimiento, debido a un desarrollo diferente de algunos de sus órganos, por lo tanto, es probable que el uso de los nutrientes sea diferente. El uso de la energía y del nitrógeno, están implicados en procesos relacionados al crecimiento, por esta razón el presente trabajo se realizó con la finalidad de verificar si existen diferencias entre los cerdos con un BPN y los cerdos PNN, en cuanto a la capacidad de digerir la energía y el nitrógeno presentes en el alimento, medidos como una diferencia en la digestibilidad de los mismos, que a su vez, a través de la medición del desempeño productivo, pudieran ser relacionadas a un mejor aprovechamiento de estos nutrientes.

III. OBJETIVOS

A.- Determinar si existen diferencias en el balance de nitrógeno entre cerdos con bajo peso al nacimiento y cerdos con peso normal al nacimiento.

B.- Determinar si existen diferencias en el balance de energía entre cerdos con bajo peso al nacimiento y cerdos con peso normal al nacimiento.

IV. HIPOTESIS

Los cerdos de bajo peso al nacimiento, son menos eficientes en el uso del nitrógeno y de la energía, en comparación con los cerdos con peso normal al nacimiento en la etapa de crecimiento.

V. MATERIAL Y METODOS

El estudio se llevó a cabo en la Unidad Metabólica del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, ubicado en el kilómetro 1 de la carretera a Colón en el estado de Querétaro, México. El presente estudio fue revisado y aprobado por el Subcomité Institucional para el Cuidado y Uso de Animales Experimentales (SICUAE), de la Universidad Nacional Autónoma de México, que sigue los lineamientos presentes en la Norma Oficial Mexicana (NOM-062-ZOO-1999, 2001), donde se encuentran las especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio.

V.I ANIMALES Y ALOJAMIENTO

Para realizar este trabajo, se utilizaron cinco pares de cerdos machos castrados. Cada par, constaba de dos hermanos, uno con bajo peso al nacimiento (considerando 1.3 desviaciones estándar por debajo de la media) y uno con peso normal al nacimiento (± 0.3 desviaciones estándar de la media). Todos los cerdos tuvieron las mismas condiciones de alojamiento, fueron alimentados de la misma manera y manteniendo condiciones de manejo normales en granja, durante los primeros 90 días de edad.

Posterior a los 90 días de edad, los cerdos fueron alojados de manera individual en jaulas metabólicas ubicadas en una habitación con ventilación y extractores de aire,

la temperatura osciló entre los 17 y 23°C, piso con recubrimiento de pintura epóxica y paredes de azulejo para facilitar la limpieza, las jaulas contaron con bebedero automático a baja presión y comedero individual. El piso fue de slats, en la parte inferior del piso había una malla y una charola que permitieron la colecta de heces y el filtrado de la orina evitando así que se contaminara con heces y alimento permitiendo su colecta total.

Los animales fueron monitoreados para asegurar su viabilidad, desde el nacimiento. Cuando en el par, el cerdo con peso normal al nacimiento pesó 50 kg, se realizó una primera medición del balance de nitrógeno y energía, cuando el cerdo con bajo peso al nacimiento alcanzó los 50 kg se realizó una segunda medición en ambos animales, para así tener mediciones al mismo peso (50 kg) y a la misma edad.

V.II DIETA

La dieta se formuló de acuerdo a los requerimientos para cerdos en crecimiento del National Research Council (NRC, 2012), en el Cuadro 1 se muestran los ingredientes y las cantidades usadas para la fabricación del alimento. Se añadió una premezcla de vitaminas y minerales para cubrir sus requerimientos. Las dietas se ofrecieron en forma de harina, el consumo de agua fue de 3L de agua por kg de MS consumida. El racionamiento diario de alimento fue de 555 kcal de EM por kg^{0.6} de peso vivo (Velayudhan *et al.*, 2015). La ración diaria se sirvió en una sola comida

durante la mañana y se acostumbró a los animales a que consumieran la ración diaria en 1 hora (Ayoade *et al.*, 2012).

Cuadro 1 Composición g/kg de la dieta experimental y análisis estimado del aporte de nutrientes.

| Ingrediente, | g/kg |
|--|-------------|
| Sorgo | 731.6 |
| Soya, pasta | 200.0 |
| Aceite de maíz | 24.5 |
| L-lisina HCl | 7.9 |
| L-treonina | 0.9 |
| DL-metionina | 0.9 |
| L-triptófano | 0.03 |
| Sal | 5.0 |
| Carbonato de calcio | 6.3 |
| Fosfato bicálcico | 10.3 |
| Premezcla de minerales ^a | 8.0 |
| Premezcla de vitaminas ^b | 4.5 |
| Composición química *, % | |
| Materia seca | 95.18 |
| Proteína | 15.10 |
| Energía Bruta, Kcal/kg | 3970.00 |
| Energía Metabolizable, Kcal/kg ^{**} | 3200.00 |

*Valores determinados

**Valor estimado

^a Aporte / kg de alimento: Co, 0.60 mg; Cu, 14 mg; Fe, 100 mg; I, 0.80 mg; Mn, 40 mg; Se, 0.25 mg; Zn, 120 mg.

^b Aporte / kg de alimento: vitamina A, 4250 UI/g; vitamina D3, 800 UI/g; vitamina E, 32 UI/g; menadione, 1.5 mg/kg; biotina, 120 mg/kg; cianocobalamina, 16 µg/kg; colina, 250 mg/kg; ácido fólico, 800 mg/kg; niacina, 15 mg/kg; ácido pantoténico, 13 mg/kg; piridoxina, 2.5 mg/kg; riboflavina, 5 mg/kg; tiamina, 1.25 mg/kg.

V.III COLECTA DE HECES Y ORINA

Cada periodo experimental consistió de 5 días de adaptación a la dieta, seguido de 5 días de colecta total de heces, orina y rechazo de alimento. Se adicionó óxido de cromo (3g/kg de alimento) en el alimento como marcador indigestible para determinar el inicio y el final de la recolección de heces.

Las heces de cada cerdo fueron colectadas, pesadas y almacenadas diariamente en bolsas de plástico, las cuales se congelaron a -20°C.

La orina se colectó diariamente en recipientes de 20L dos veces al día. A los recipientes se les agregaron 40 mL de ácido clorhídrico 6 Normal, para acidificar la orina y evitar la volatilización del nitrógeno. Diariamente se obtuvo el volumen total de la orina, se utilizó como filtro lana de vidrio y gasas, se conformaron alícuotas con el 20% del volumen total de la orina, las cuales fueron almacenadas en botellas de plástico y se congelaron a -20°C hasta realizar los análisis de nitrógeno, energía y materia seca.

Se registró diariamente el consumo de alimento, para obtener los valores de consumo de materia seca (g), nitrógeno (g) y energía (Kcal), multiplicando el consumo de alimento, por la concentración del nutriente en la dieta.

Se estimó la excreción de materia seca (g), energía (Kcal) y nitrógeno (g), a partir de la medición de su concentración en heces, multiplicando la concentración de

cada uno de los nutrientes mencionados en base seca, por la cantidad de heces producidas en base seca.

Se estimó también, la excreción de nitrógeno (g) y energía (Kcal) en la orina multiplicando la concentración de cada nutriente en base seca, por la cantidad de orina producida en base seca.

La estimación de retención de nitrógeno (g), energía digestible y metabolizable (Kcal), se calculó, restando la cantidad de nutrimentos excretados en heces y orina de la cantidad de nutrimentos consumidos.

La ecuación utilizada para estimar la digestibilidad fecal de materia seca, nitrógeno y energía (Stein *et al.*, 2007) fue:

$$CDA = ((AC \times NC - CH \times NE) / (AC \times NC)) \times 100$$

Donde:

CDA= Coeficiente de Digestibilidad Aparente.

AC= Cantidad de alimento consumido.

CH= Cantidad de heces.

NC= Concentración del nutriente consumido.

NE= Concentración del nutriente excretado.

Análisis de laboratorio

Las muestras de alimento, fueron molidas a través de una criba de 1 mm (Arthur H. Thomas Co., Philadelphia, PA) para su análisis. Las muestras de heces se descongelaron, y se secaron en una estufa de aire forzado a 55°C durante 72 horas, se molieron a través de una criba de 1 mm (Arthur H. Thomas Co., Philadelphia, PA), se mezclaron y homogenizaron para cada unidad experimental, y se tomó una muestra. El análisis de la composición química de las muestras de alimento y heces se determinó conforme a los métodos oficiales de análisis de la AOAC, (2000); materia seca (método 934.01 AOAC, 2000), proteína cruda (método 976.05 AOAC, 2000). La energía bruta se calculó utilizando una bomba calorimétrica adiabática (modelo 1281, Parr, Moline, IL).

Las muestras de orina se descongelaron, para la determinar el contenido de nitrógeno, se homogenizó la colecta y se tomó una muestra, posteriormente se utilizó el procedimiento anteriormente mencionado para la determinación de proteína. Para la determinación de energía se tomaron muestras de 10 mililitros que fueron liofilizadas, y posteriormente se determinó su energía en una bomba calorimétrica adiabática (Parr 6400 Calorimeter).

Análisis estadístico

Se utilizó el procedimiento GLM del paquete estadístico SAS ver. 9.3 para el análisis de los resultados, utilizando un diseño de bloques completos al azar, en donde el

peso al nacimiento fue el tratamiento (Peso normal al nacimiento PNN vs peso bajo al nacimiento PBN), de acuerdo a lo descrito en el párrafo de animales y alojamiento, se realizaron los estudios de balance de Nitrógeno y Energía en los siguientes tiempos: cuando los animales PNN llegaron a los 50 kg de peso vivo, así como cuando los animales PBN llegaron a los 50 kg de peso, con la finalidad de hacer las mediciones, a la misma edad y al mismo peso de los animales. Los bloques fueron los pares de lechones hermanos de diferentes camadas. El modelo estadístico fue:

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

y_{ij} = Es la variable de respuesta del i -ésimo peso al nacimiento en el j -ésimo par de lechones.

μ = Es la media general.

τ_i = Efecto del i -ésimo peso al nacimiento.

β_j = Efecto del j -ésimo par de lechones.

ε_{ij} = Efecto del error experimental asociado al i -ésimo peso al nacimiento en el j -ésimo par de lechones.

Se utilizaron contrastes ortogonales para la comparación de medias y determinar el efecto del peso al nacimiento.

VI. RESULTADOS

En el Cuadro 2, se muestran los resultados de digestibilidad de materia seca. En el contraste al mismo peso, es decir cuando los cerdos PNN llegaron a los 50 kg, por lo que la edad para éste grupo de cerdos fue menor vs los cerdos PBN. Los cerdos con PNN, alcanzaron en menor tiempo los 51 kg ($P<0.05$), aproximadamente 18 días antes que los cerdos PBN (109 días vs 127 días, respectivamente). Se observó una tendencia ($P=0.073$) en la digestibilidad de la materia seca cuando fueron comparados al mismo peso, en donde los cerdos con BPN presentaron una mayor cantidad de materia seca en heces (PNN: 226.77 g/d vs BPN: 240.61 g/d), lo anterior dio como resultado que la digestibilidad de la materia seca fuera 0.89% menor en los cerdos con BPN (PNN: 86.90% vs BPN: 86.01%). De manera similar, en el contraste a la misma edad a los 127 días, se observó que los cerdos con PNN pesaron 12.19 kg más ($P<0.001$) que los cerdos con BPN (63.80 kg vs 51.61 kg, respectivamente). A la misma edad, la cantidad de materia seca en heces, fue mayor en los cerdos con PNN, un resultado esperado debido a que los cerdos, fueron racionados de acuerdo a su peso metabólico, al ser más pesados los cerdos con PNN, estos consumieron mayor cantidad de alimento, por lo que es esperado, que de igual manera, que excreten mayor cantidad de heces. Sin embargo, se observó que en relación a la cantidad de materia seca consumida en alimento ingerido, así como en la cantidad excretada, la digestibilidad de la materia seca de

los cerdos con BPN fue 0.87% menor ($P<0.05$) al que la de los cerdos PNN (PNN: 86.88% vs BPN: 86.01%). Por lo que, de acuerdo con lo observado en este trabajo, la digestibilidad de la materia seca fue menor en los cerdos con BPN cuando son comparados con los cerdos PNN, tanto a la misma edad, como al mismo peso.

Cuadro 2 Resultados de digestibilidad de materia seca al comparar cerdos con bajo peso al nacimiento con cerdos con peso normal al nacimiento.

| | Peso | | Edad | | Contrastes | | EEM |
|-----------------------------------|--------|--------|--------|--------|---------------|---------------|------|
| | PNN | BPN | PNN | BPN | <i>P</i> Peso | <i>P</i> Edad | |
| Edad al iniciar BNE, días | 109 | 127 | 127 | 127 | 0.001 | NS | 1.56 |
| Peso al iniciar BNE, kg | 51.42 | 51.61 | 63.80 | 51.61 | NS | 0.001 | .55 |
| Materia seca en heces, g/d | 226.77 | 240.61 | 261.36 | 240.61 | 0.073 | 0.015* | 4.73 |
| Materia seca digestible, % | 86.90 | 86.01 | 86.88 | 86.01 | 0.040* | 0.043* | 0.26 |

PNN: Peso normal al nacimiento.

BPN: Bajo peso al nacimiento.

EEM: Error estándar de la media.

BNE: Balances de nitrógeno y energía

NS: No significativo

* $P<0.05$: Significativo

En el Cuadro 3 se muestran los resultados de nitrógeno, se observó que el consumo de energía metabolizable por cada kilogramo de peso metabólico fue similar ($P>0.05$), lo anterior se explica debido a que se racionó a los animales, para consumir la misma cantidad de energía de acuerdo con su peso metabólico. En el contraste, al mismo peso, cuando ambas categorías de animales pesaron 51 kilogramos, no se encontraron diferencias en el uso del nitrógeno, la cantidad de

nitrógeno consumido fue similar ($P>0.05$), esto es un resultado esperado debido a que se racionó a los animales de acuerdo con su peso metabólico. Tampoco se encontraron diferencias en el nitrógeno excretado en heces y el nitrógeno absorbido, por lo que la digestibilidad fue también similar, aunque la probabilidad fue de ($P=0.103$), probablemente, es probable que al aumentar el número de repeticiones, estos resultados pudieran manifestar diferencias y cambiar este criterio. El nitrógeno registrado en orina, excretado y retenido fue similar para ambas categorías.

En el contraste a la misma edad, es decir, cuando ambas categorías tenían la misma edad y diferente peso, de igual manera se racionó a los cerdos, para que ambas categorías de animales tuvieran el mismo consumo de kilocalorías de energía metabolizable por peso metabólico. Los resultados registrados en cuanto a nitrógeno consumido, en heces y absorbido, fueron menores ($P<0.05$) para los cerdos con BPN, estos resultados eran los esperados debido al peso metabólico y al tamaño del intestino relativo al peso. La digestibilidad de nitrógeno, como porcentaje, da una idea más clara de la relación entre lo consumido y lo excretado en heces, en donde se observó que los cerdos con BPN presentaron 1.34% menor digestibilidad ($P<0.05$) del nitrógeno (PNN: 78.04% vs BPN: 76.70%), de manera similar, el nitrógeno retenido, como porcentaje de lo consumido, fue 3.44% menor ($P<0.05$) para los cerdos con BPN (PNN: 61.09% vs BPN: 57.65%). En los registros del nitrógeno retenido como porcentaje de lo absorbido, se encontró una tendencia

($P=0.056$), en donde los cerdos con BPN presentaron 3.15% menor retención de nitrógeno (PNN: 78.35% vs BPN: 75.20%).

Cuadro 3 Resultados de Balance de Nitrógeno.

| | Peso | | Edad | | Contrastes | | EEM |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|---------------|---------------|-------|
| | PNN | BPN | PNN | BPN | <i>P</i> Peso | <i>P</i> Edad | |
| Consumo kcal EM/kg PM | 545 | 540 | 545 | 540 | NS | NS | 3.186 |
| N consumido, g/d | 43.0 | 42.4 | 48.9 | 42.4 | NS | <.0001* | 0.432 |
| N en heces, g/d | 9.6 | 9.9 | 10.8 | 9.9 | NS | 0.0076* | 0.176 |
| N absorbido, g/d | 33.4 | 32.5 | 38.2 | 32.5 | NS | <.0001* | 0.383 |
| N digestible, % | 77.57 | 76.70 | 78.04 | 76.70 | 0.103 | 0.0217* | 0.334 |
| N en orina, g/d | 8.8 | 8.1 | 8.3 | 8.1 | NS | NS | 0.361 |
| N excretado, g/d | 18.5 | 18.0 | 19.0 | 18.0 | NS | 0.0276* | 0.283 |
| N retenido, g/d | 24.6 | 24.5 | 29.9 | 24.5 | NS | <.0001* | 0.514 |
| N retenido del consumido, % | 57.12 | 57.65 | 61.09 | 57.65 | NS | 0.0096* | 0.719 |
| N retenido del absorbido, % | 73.61 | 75.20 | 78.35 | 75.20 | NS | 0.0564** | 0.999 |

PNN: Peso normal al nacimiento.

BPN: Bajo peso al nacimiento.

EMM: Error estándar de la media.

BNE: Balances de nitrógeno y energía

NS: No significativo

* $P<0.05$: Significativa

** $P<0.10$ Tendencia

En el Cuadro 4, se muestran los resultados del balance de energía, en el contraste al mismo peso, se observó que la cantidad de energía excretada en heces fue mayor ($P<0.05$) para los cerdos BPN vs los cerdos PNN (1,141 Kcal/d vs 1,080 Kcal/d, respectivamente). Por otro lado, en el contraste a la misma edad, se observó el mismo comportamiento, es un resultado esperado debido a que los cerdos con PNN a la misma edad, tuvieron mayor peso, por lo que la cantidad de alimento

suministrado fue también mayor, por lo que a mayor cantidad de alimento consumido, mayor cantidad de heces. El parámetro que muestra con mejor claridad las comparaciones, es la digestibilidad de la energía. En el contraste al mismo peso, se observó que los cerdos con BPN tuvieron 0.93% menor digestibilidad de la energía vs los cerdos PNN (84.12% vs 85.0% respectivamente), de la misma manera, en el contraste a la misma edad, se observó un comportamiento similar a lo anterior, donde los cerdos con BPN tuvieron en promedio 1.32% menor digestibilidad de la energía vs los cerdos PNN (84.12% vs 85.44% respectivamente). En cuanto al contraste al mismo peso, los cerdos BPN digirieron menor cantidad de energía (39 Kcal/kg de alimento) comparados con los cerdos PNN (3,508 Kcal/kg vs 35,47 Kcal/kg, respectivamente). De manera similar, en el contraste a la misma edad, los cerdos con BPN presentaron 55 Kcal/kg digirieron una menor cantidad de energía ($P < 0.05$), en comparación con los cerdos con PNN (3,508 kcal/kg vs 3,563 kcal/kg, respectivamente). En lo que se refiere a energía en orina, en ambos contrastes no se encontraron diferencia entre los tratamientos ($P > 0.05$), mientras que, en el total de la energía excretada, que es la suma de la energía encontrada en orina, más la energía determinada en heces, se observó que existe una tendencia, en el contraste al mismo peso ($P = 0.07$) siendo 61 Kcal/día mayor la cantidad excretada en los cerdos con BPN en comparación con los cerdos PNN (1,292 kcal/d vs 1,231 kcal/d). En el contraste a la misma edad, se observó un

comportamiento similar, aunque es un resultado esperado de acuerdo con el argumento previo, en el que los cerdos con BPN a la misma edad, tuvieron menor peso, por lo tanto la cantidad de alimento ingerido, así como la cantidad excretada de heces fue mayor. Se observó que la energía metabolizable en ambos contrastes, fue significativamente diferente ($P < 0.05$). En el contraste al mismo peso, los cerdos con BPN, tuvieron una menor eficiencia metabólica, en comparación con los cerdos con PNN (82.02% vs 82.96% respectivamente). En el contraste a la misma edad, se registró que los cerdos BPN, también tuvieron una menor eficiencia metabólica en comparación con los cerdos PNN (82.02% vs 83.52%, respectivamente). De manera similar, se encontró en el contraste al mismo peso, que los cerdos con BPN tuvieron 39 Kcal/kg menos energía metabolizable (0.94%) en comparación con los cerdos con PNN (3,420 Kcal/kg vs 3,459 Kcal/kg, respectivamente). En el contraste a la misma edad, se encontró que los cerdos BPN tuvieron 63 Kcal/kg menos de energía metabolizable (1.5%) en comparación con los cerdos con PNN (3,420 vs 3,483 Kcal/kg, respectivamente).

Cuadro 4 Resultados de Balance de Energía.

| | Peso | | Edad | | Contrastes | | EEM |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|------------|--------|--------|
| | PNN | BPN | PNN | BPN | P Peso | P Edad | |
| Kcal EM consumidas/kg PM | 545 | 540 | 545 | 540 | NS | NS | 3.186 |
| E en heces, Kcal/d | 1080 | 1141 | 1211 | 1141 | 0.023* | 0.013* | 15.453 |
| Digestibilidad de la E, % | 85.05 | 84.12 | 85.44 | 84.12 | 0.018* | 0.003* | 0.222 |
| E digestible, Kcal/kg | 3547 | 3508 | 3563 | 3508 | 0.016* | 0.003* | 9.245 |
| E excretada, Kcal/d | 1231 | 1292 | 1370 | 1292 | 0.065 | 0.026* | 20.237 |
| E en orina, Kcal/d | 151 | 151 | 159 | 151 | NS | NS | 6.150 |
| E metabolizable, % | 82.96 | 82.02 | 83.52 | 82.02 | 0.044* | 0.005* | 0.278 |
| E metabolizable, Kcal/kg | 3459 | 3420 | 3483 | 3420 | 0.041* | 0.005* | 11.529 |

PNN: Peso normal al nacimiento.

BPN: Bajo peso al nacimiento.

EMM: Error estándar de la media.

BNE: Balances de nitrógeno y energía

NS: No significativo

* $P < 0.05$: Significativo

VII. DISCUSION

Es conocido que los cerdos con BPN, se mantienen más ligeros que los cerdos PNN y APN, de su mismo grupo de producción, durante las etapas de producción posteriores, hasta llegar a finalización, en otras palabras, que tardan más tiempo en llegar a peso de mercado. Sin embargo, no se tiene certeza en la razón del porqué sucede esto, por lo que, una de las intenciones de realizar el presente estudio fue para conocer, si los cerdos que tuvieron un BPN, utilizan de manera diferente en la etapa de crecimiento, la energía y el nitrógeno contenido en el alimento, comparados con los cerdos que tuvieron un PNN. En el meta-análisis realizado por Lanferdini *et al.* (2018), donde utilizaron un total de 3,294 lechones de 28 artículos publicados en el período de los años 2000 al 2014, el peso promedio al nacimiento calculado, fue de 1.45 kilogramos. Ellos clasificaron a los cerdos en tres categorías: los cerdos con peso alto al nacimiento, que fueron los que presentaron un peso superior a 1.80 kg; los de peso medio, que fueron todos los cerdos contenidos en el rango de 1.10 a 1.79 kg, (con una media de 1.48 kg) y los de bajo peso al nacimiento, con un peso inferior a 1.09 kg. En el presente estudio, se registró una media de peso al nacimiento por camada de 1.5 kg, por lo que se decidió utilizar los cerdos más cercanos a la media, como los cerdos de peso normal al nacimiento, por lo que, los cerdos seleccionados estuvieron dentro de 0.3 desviaciones estándar (ds) alrededor de la media. Mientras que, los cerdos que seleccionamos como de

bajo peso al nacimiento fueron cerdos con menos de 1 kg, que estuvieron en promedio a 1.4 ds por debajo de la media. La mayoría de estudios, utilizaron el criterio de 1.5 desviaciones estándar por debajo de la media, para identificar a los animales, como cerdos con bajo peso al nacimiento, sin embargo, en nuestro estudio los cerdos que estaban por debajo de 1.5 desviaciones estándar murieron durante las primeras 24 horas, lo que concuerda con lo reportado por Panzardi *et al.* (2013) quienes mencionan que los cerdos que pesaron menos de 1.275 kg tuvieron mayor probabilidad de morir.

En el presente estudio, los resultados muestran que existe una menor digestibilidad de la materia seca, en los cerdos que tienen un menor peso al nacimiento, sin importar el peso o la edad a la que se realice la medición, esto resultó porque hay mayor cantidad de heces en relación a su consumo en estos cerdos. La digestión y absorción son procesos distintos. La digestión, es el proceso mediante el cual el alimento es reducido por mecanismos físicos y bioquímicos, a moléculas orgánicas pequeñas, por la hidrólisis, debido a la acción enzimática; por su parte la absorción es el proceso mediante el cual se realiza la asimilación de estas moléculas pequeñas al interior de las células intestinales epiteliales (Bornhorst *et al.*, 2016). Para que exista una adecuada absorción, tiene que haber previamente una adecuada reducción en el tamaño de las moléculas, de los nutrientes, durante la digestión. Por lo tanto, la absorción depende directamente de la capacidad de

digestión de los nutrientes presentes en el alimento, el proceso combinado de ambos, esto es digestión y absorción, es llamado digestibilidad (Bornhorst *et al.*, 2016). Los resultados obtenidos de este experimento, muestran una menor digestibilidad de la materia seca en los lechones con BPN, tanto al mismo peso, como a la misma edad ($P < 0.05$). Se ha observado, que existe una expresión reducida de proteínas involucradas en los procesos de absorción, digestión y metabolismo de los nutrientes, en intestino delgado, hígado y músculo, que son los órganos mayormente involucrados en estos procesos, probablemente estos mecanismos se ven afectados debido a la alteración en la expresión de las proteínas relacionadas en estos procesos (Wang *et al.*, 2008). Se ha encontrado en los cerdos BPN una disminución en la proteína que codifica para creatina quinasa, la creatina quinasa tiene un papel en el almacenamiento y uso de energía; y el intestino delgado tiene una gran demanda de energía (Metges, 2000), por lo que si existiesen bajas concentraciones de creatina quinasa, los mecanismos importantes que están relacionados con esta enzima, tales como las demandas altas de energía, e.g. la contracción muscular útil en la motilidad intestinal, comunicación en el sistema nervioso entérico o la actividad glandular en el tracto gastrointestinal, se verían alterados probablemente disminuyendo su función. De manera similar Wang *et al.* (2008), reportan que las proteínas que codifican para desmina y actina b-citoesquelética, están en mayor expresión en los cerdos BPN, probablemente la

mayor expresión en las proteínas codificantes para desmina y actina b-citoesquelética, sea un mecanismo compensatorio para enfrentar el estrés oxidativo y una mayor tasa de recambio celular, lo anterior sugiere un desequilibrio que puede tener impacto en la función intestinal.

No se encontraron diferencias en la utilización del nitrógeno, cuando los cerdos fueron medidos al mismo peso, (51 kg), pero si cuando los cerdos tuvieron la misma edad en donde había una diferencia de peso significativa, de ahí que se deduzca que la cantidad de tejido muscular en los cerdos con peso normal al nacimiento es mayor. El tener mayor cantidad de tejido muscular en proporción a su peso; favorece el que exista una mayor retención de nitrógeno, debido a que, si se tiene mayor masa de tejido muscular, la cantidad de proteína necesaria para su mantenimiento es también mayor; de la misma manera, una mayor tasa de crecimiento, requiere también de mayor retención de proteína, los cerdos con BPN presentaron una tasa de crecimiento menor a la misma edad, por lo tanto, los resultados son congruentes con lo antes mencionado. Los resultados demuestran que la digestibilidad del nitrógeno, es menor en los cerdos con BPN cuando se midió a la misma edad, lo que explica que el nitrógeno retenido en relación al consumido, sea menor. El nitrógeno retenido, en relación al absorbido, no llegó a ser significativo; sin embargo, se observó una tendencia ($P=0.0564$), por lo que probablemente sí hubiéramos contado con un mayor número de repeticiones, hubiera sido significativo. La

respuesta más evidente, se observó a causa de la digestibilidad del nitrógeno, la cantidad de nitrógeno que se elimina en orina, es relativamente menor en los PNN, esto quiere decir que probablemente la metabolización de los aminoácidos, no es la principal causa del bajo rendimiento productivo, y que los procesos en donde se observa de manera más marcada la diferencia en la utilización del nitrógeno son los relacionados a la digestión y absorción. Wu *et al.* (2006), mencionan que el crecimiento del tejido muscular, es menor en los cerdos con BPN, debido a un menor número de miofibrillas, limitando esto, la capacidad de crecimiento de estos cerdos. De manera similar Lanferdini *et al.* (2018), menciona que los cerdos con BPN, tienen una capacidad reducida de crecimiento, debido a un menor número de miofibrillas. Wang *et al.* (2008), indicaron que la expresión de algunas proteínas que codifican para proteínas involucradas en el metabolismo muscular, se encuentran alteradas como la apolipoproteína, una proteína que tiene función transportadora de lípidos, aportando integridad estructural en el metabolismo de lípidos y de esta dependen la unión de las lipoproteínas con su receptor, también mencionaron que la expresión para ésta proteína es reducida en los cerdos que tuvieron BPN. Wang *et al.* (2008) señalaron además, que el gen que codifica para F1-ATPasa mitocondrial, tenía una mayor expresión en este grupo de animales por lo que sugieren que hay una mayor hidrólisis de ATP, reduciendo su disponibilidad para el transporte de nutrientes y síntesis de proteína, provocando con ello la utilización de aminoácidos, como

fuentes de energía, lo que explicaría la disminución en la deposición de proteína. Cuando se reduce la síntesis de proteínas, los aminoácidos se dirigen hacia la oxidación y la síntesis de ácidos grasos.

Cuando se realizó la comparación a un mismo peso, la estructura corporal de los cerdos fue similar, esto quiere decir que, al tener el mismo peso las diferencias en la estructura corporal no son tan marcadas, por lo tanto, con el tamaño de muestra utilizado no se observaron diferencias en la digestibilidad y retención del nitrógeno cuando los cerdos tuvieron el mismo peso, pero si cuando los cerdos tuvieron la misma edad. Por lo anterior, y de acuerdo a los resultados obtenidos, la capacidad de crecimiento muscular está limitada en los cerdos con BPN, cuando es evidente la diferencia en la proporción de tejido muscular, la retención del nitrógeno aumenta, esto quiere decir que las diferencias en el uso del nitrógeno no son tan claras cuando se comparan los cerdos con el mismo peso, pero al comparar a la misma edad, la diferencia de peso es notable, debido al disminuido comportamiento productivo de los cerdos con BPN. Probablemente el tamaño de músculo también lo es, disminuyendo así la capacidad de retención de nitrógeno en los cerdos con BPN. Wang *et al.* (2014), en su estudio observaron en fetos con restricción del crecimiento, que al nacimiento tenían bajo peso al nacimiento y alteraciones en el proteoma de intestino delgado, relacionadas con la apoptosis, sugiriendo esto que probablemente el recambio celular es mayor y la madurez celular de las

vellosidades insuficiente para llevar a cabo el proceso de absorción. Wu *et al.* (1998), mencionaron que el intestino delgado, es responsable de la utilización de algunos aminoácidos para su propio mantenimiento, por lo tanto, un aumento en el estrés oxidativo en intestino, podría tener un impacto en la utilización de estos aminoácidos, aumentando su uso para mantener la integridad intestinal. Los aminoácidos glutamina, aspartato y glutamato, son fuentes de energía en el intestino; además el epitelio intestinal demanda grandes cantidades de Treonina, para la creación de mucina y del glicocalix. De acuerdo a lo anterior, un mayor recambio celular, en el tracto intestinal, podría reducir la cantidad de aminoácidos disponibles para ser utilizados en otras partes del organismo, como el tejido muscular. Todo esto, sumado a la reducida capacidad de crecimiento del tejido muscular de los cerdos con BPN, podría explicar los resultados obtenidos, existe también una diferencia en la digestibilidad y una tendencia en la retención del nitrógeno. Esto quiere decir que los cerdos con BPN, debido a los factores ya mencionados anteriormente, tienen una capacidad reducida de crecimiento, y conforme va aumentando la edad las diferencias se vuelven más marcadas.

Al comparar los cerdos a un mismo peso (Pero con una diferencia de 18 días de edad), se observó en los resultados de energía en heces, que al comparar los cerdos de BPN con los cerdos de PNN, los cerdos con BPN mayor cantidad de heces, esto se puede explicar debido a que consumieron la misma cantidad de

alimento en función de su peso metabólico, pero no así la digestibilidad de energía, siendo menor para los cerdos de BPN. En el análisis de contraste a la misma edad, no es posible observar de manera clara las diferencias en el uso de la energía, porque los cerdos fueron racionados en función de su peso metabólico, por lo que los cerdos con PNN, ingirieron mayor cantidad de alimento. Sin embargo, al determinar la digestibilidad, se observa que, en ambos casos, al mismo peso y a la misma edad, los cerdos con BPN tienen una menor digestibilidad de la energía, esto puede obedecer a que el intestino delgado de los cerdos con BPN se ve comprometido, provocando que los procesos de digestión y absorción, no sean tan eficientes como en los cerdos con PNN. En el meta-análisis realizado por Lanferdini *et al.* (2018), reportan que el peso relativo del intestino delgado de los cerdos con bajo peso al nacimiento fue menor, por lo que sugieren, que el daño al tracto gastrointestinal es la causa principal del crecimiento más lento en comparación con los cerdos con PNN. Al estar afectadas las vellosidades, se compromete la digestión y la absorción de los alimentos (Ensari y Marsh, 2018). Para que estos procesos se lleven a cabo de manera satisfactoria, es necesario que se mantenga la integridad de la mucosa intestinal, la cual depende también de la tasa de recambio celular (Ensari y Marsh, 2018). En el caso de los cerdos con BPN, se ha observado en el proteoma que existen, proteínas relacionadas con apoptosis en intestino, como LGALS4, HABP1, CALR y PHPT1 (Wang *et al.*, 2014), en donde estas proteínas

están alteradas, por lo que probablemente exista un recambio celular disminuido. La correcta función de los enterocitos se ve hacia el ápice de la vellosidad, hacia donde las células van migrando. Al existir una tasa de recambio celular más acelerada podría estar provocando inmadurez celular y por lo tanto la capacidad de digestión y absorción se ve comprometida.

En el presente estudio, la metabolización de la energía también es menor en los cerdos BPN en ambos contrastes, debido a la marcada diferencia observada en heces.

El músculo juega un papel importante en la utilización energética, a mayor volumen muscular, mayor metabolización de la energía (Hocquette *et al.*, 1998). Por lo tanto, los cerdos con BPN al tener un volumen muscular menor, tienen una menor capacidad para utilizar la energía. El menor número de fibras musculares puede provocar que estos cerdos tengan una capacidad reducida de crecimiento, por lo tanto, la eficiencia en la utilización de la energía para formar tejido es menor, registrando así una menor capacidad de metabolización de la energía. Nissen *et al.* (2004), mencionan que tanto el número de miofibrillas, como la tasa de crecimiento de éstas, contribuyen a la variación en el crecimiento, siendo los cerdos con BPN afectados en ambos casos, mostrando un crecimiento menor al compararlos con los cerdos con peso normal al nacimiento. Además, se ha reportado que los cerdos con bajo peso al nacimiento tienen mayor proporción de grasa corporal (Gondret *et al.*,

2005), esto probablemente se deba a que tienen una tasa de crecimiento menor, y un punto de inflexión en la curva de crecimiento, a un menor peso en donde el crecimiento de músculo es menor debido a un menor número de miofibrillas.

Para futuros estudios, se hace la recomendación de utilizar la digestibilidad ileal, debido a que la microbiota en intestino grueso digiere la parte del alimento no digerido en intestino delgado como el almidón resistente y los polisacáridos no amiláceos. Es importante resaltar, que el tiempo de tránsito del alimento en intestino grueso, es mayor que en intestino delgado, lo que da tiempo suficiente para que la microbiota ahí presente actúe, la fermentación que ocurre en intestino grueso tiene un impacto en el perfil energético del animal. Es probable que las diferencias en la utilización de la energía sean aún más marcadas en los cerdos con BPN, si se realiza un análisis de digestibilidad ileal, por lo anteriormente mencionado, en donde se explica que estos cerdos con BPN, son menos eficientes en los procesos de digestión y absorción, por lo que gran cantidad de carbohidratos que resistieron a la acción de las enzimas presentes en intestino delgado, llegan a ser un buen sustrato para la microbiota presente en intestino grueso.

A pesar de que las diferencias en la utilización del nitrógeno y energía, encontradas en el presente trabajo, son pequeñas, es de resaltar que el tiempo de afectación juega un papel importante. Lo que mencionan los trabajos realizados con cerdos de BPN, es que desde la etapa fetal los lechones están afectados, los resultados de

nuestro trabajo, indican que por lo menos hasta los 127 días de edad, existen diferencias en la utilización de nitrógeno y energía, esto podría explicar, el por qué las diferencias en las curvas de crecimiento, van en aumento entre los cerdos con BPN y los cerdos de PNN, ya que a pesar de ser pequeñas las diferencias en la utilización de nitrógeno y energía el tiempo de afectación lo hace acumulativo exacerbando la diferencia en el comportamiento productivo. Es de resaltar también que conforme las curvas de crecimiento se van separando, la capacidad de consumo es mayor para los cerdos con PNN, ya que el tamaño del tracto gastrointestinal aumenta, con relación a su peso, debido a lo anterior, conforme los animales van creciendo o avanzando en edad, las diferencias son más evidentes. Las mayores diferencias en la utilización de nitrógeno y energía, se manifiestan al comparar a los cerdos BPN y PNN, a la misma edad, lo que da sustento a lo antes mencionado, ya que se sugiere que los cerdos con PNN, al ser más grande el tamaño de su tracto gastrointestinal, lo es también en relación a su peso. Un tamaño mayor de intestino, indica una mayor superficie de contacto de los nutrientes con el epitelio intestinal, por lo tanto, una mayor oportunidad para la digestión y absorción de nutrientes. También, de acuerdo con lo mencionado anteriormente, en el contraste a la misma edad, es muy probable que los cerdos con BPN, hayan tenido un tamaño de tejido muscular menor, por lo que la eficiencia en la utilización de nitrógeno y energía observadas, que resultaron ser menores en los cerdos BPN,

puedan ser explicadas por este hecho, donde las diferencias fueron más evidentes en este contraste.

Los resultados sugieren que los cerdos con BPN, son menos eficientes en la utilización del nitrógeno y la energía, en comparación con los cerdos con PNN. Sin embargo, no es posible concluir si es uno solo, o la suma de los factores mencionados, los que afectan a los cerdos con BPN, los responsables de la menor eficiencia registrada.

Losel *et al.* (2009) observaron que al suplementar 400 mg de L-carnitina, desde el día 7 al 27 de edad, se incrementó el número total de miofibrillas del músculo semitendinoso, sugiriendo que la oxidación de los ácidos grasos aumentó, además de que observaron un aumento compensatorio del número de miofibrillas, durante una tercera generación de miofibrillas en la etapa perinatal, ocasionada por la suplementación que no son capaces de explicar. Existen trabajos en donde se observó que al suplementar arginina (0.83%), en la cerda gestante aumentó tanto el número de lechones nacidos vivos, así como el peso total de los lechones nacidos vivos, (Mateo *et al.*, 2007), esto puede significar que mejorando la nutrición de la cerda gestante se puede reducir la proporción de cerdos con BPN, obteniendo camadas más homogéneas que faciliten el manejo, y maximicen la producción. Además se ha observado que al alojar a cerdos de pesos similares desde la lactación y en etapas posteriores, ayuda a los cerdos con BPN a consumir más

leche y alimento, reduciendo la variabilidad en los pesos de los lotes, debido a que hay una menor competencia entre los cerdos de bajo peso (Douglas *et al.*, 2014).

VIII. CONCLUSIONES

Los cerdos con bajo peso al nacimiento son menos eficientes en la utilización de la energía y el nitrógeno en la etapa de crecimiento, en comparación con cerdos con peso normal al nacimiento. Esto debido a que tienen una menor digestibilidad del nitrógeno y de la energía, así como una menor retención del nitrógeno cuando tienen la misma edad.

Dadas las diferencias encontradas y discutidas, entre los cerdos con BPN y PNN, se concluye que los cerdos con BPN presentan una menor capacidad para utilizar los nutrientes, energía y nitrógeno, contenidos en el alimento. Por lo que, los resultados del presente trabajo, en congruencia con otros trabajos, demuestran que los cerdos BPN no solo tienen una menor capacidad de digestión de los nutrientes, sino también de retención de los mismos.

IX. IMPLICACIONES

Para maximizar la producción y reducir el impacto que tiene el BPN en los lechones, es necesario incluir el enfoque en la selección genética, desde las cerdas que se han de utilizar como reproductoras, ajustes en la homogeneidad de las camadas, con la finalidad de reducir la variabilidad en etapas posteriores a la gestación.

La alimentación de la cerda durante la gestación puede tener un impacto negativo, no solo en el peso de la camada, sino también en su comportamiento productivo. Es necesario cubrir las necesidades nutrimentales durante toda la gestación considerando el crecimiento de la camada para disminuir la proporción de cerdos con bajo peso al nacimiento.

Existen estrategias comerciales conocidas para manejar la variabilidad en la etapa de finalización, cosechando en grupos de peso, en donde los más pesados salen primero a la venta, dando oportunidad a los cerdos de menor peso de tener un mejor consumo de alimento, posteriormente a los de peso mediano buscando el mismo efecto, y por último los cerdos con bajo peso.

X. RECOMENDACIONES

Es importante mencionar que el nitrógeno digestible obtenido fue a partir de muestras de heces y orina, se podría usar la digestibilidad ileal debido a que la microbiota del intestino grueso utiliza aminoácidos no absorbidos en intestino delgado, una cierta proporción de la proteína no digerida ingresa al intestino grueso, donde es fermentada por la microbiota y el resto se excreta en las heces, gran parte del nitrógeno obtenido en heces es de origen bacteriano. Por lo tanto, el utilizar la digestibilidad ileal podría dar mayor información de cómo se utiliza el nitrógeno en los animales con bajo peso al nacimiento.

Es recomendable utilizar un número mayor de repeticiones en futuros experimentos similares con la intención de que los resultados tengan una mayor definición.

Es recomendable, llevar a cabo mediciones del número de miofibrillas en los cerdos BPN, así como del tamaño de las fibras musculares.

REFERENCIAS

- Algers, B., Madej, A., Rojanasthien, S., Uvnäs, K., 1991. Quantitative relationships between suckling-induced teat stimulation and the release of prolactin, gastrin, somatostatin, insulin, glucagon and vasoactive intestinal polypeptide in sows. *Veterinary Research Communications*, 15, 395–407.
- Anderson, L., 1975. Embryonic and placental development during prolonged inanition in the pig. *The American Journal of Physiology*, 229, 1687–1694.
- AOAC. 2000. *Official Methods of Analysis*. 17th edition. Arlington, VA. USA: Assoc. Offic. Anal. Chem.
- Atinmo, T., Pond, W., Barnes, R., 1974. Effect of maternal energy vs. protein restriction on growth and development of progeny in swine. *Journal of Animal Science*, 39, 703–711.
- Ayoade, D. I., Kiarie, E., Trinidad, Neto, M. A., Nyachoti, C. M., 2012. Net energy of diets containing wheat-corn distillers dried grains with solubles as determined by indirect calorimetry, comparative slaughter, and chemical composition methods. *Journal of Animal Science*, 90, 4373-4379.
- Azain, M., 1993. Effects of adding medium-chain triglycerides to sow diets during late gestation and early lactation on litter performance. *Journal of Animal Science*, 71, 3011–3019.
- Beaulieu, A., Aalhus, J., Williams, N., Patience, J., 2010. Impact of piglet birth weight, birth order, and litter size on subsequent growth performance, carcass

- quality, muscle composition, and eating quality of pork. *Journal of Animal Science*, 88, 2767–2778.
- Bee, G., 2004. Effect of early gestation feeding, birth weight, and gender of progeny on muscle fiber characteristics of pigs at slaughter. *Journal of Animal Science*, 82, 826–836.
- Bérard, J., Kreuzer, M., Bee, G., 2008. Effect of litter size and birth weight on growth, carcass and pork quality, and their relationship to postmortem proteolysis. *Journal of Animal Science*, 86, 2357–2368.
- Bornhorst, G. M., Gouseti, O., Wickham, M. S., Bakalis, S., 2016. Engineering digestion: multiscale processes of food digestion. *Journal of Food Science*, 81, 534-543.
- Campos, P., Silva, B., Donzele, J., Oliveira, R., Knol, E., 2011. Effects of sow nutrition during gestation on within-litter birth weight variation: a review. *Animal*, 6, 797–806.
- Celi, P., Cowieson, A.J., Fru-Nji, F., Steinert, R.E., Klünter, A.M., Verlhac, V., 2017. Gastrointestinal functionality in animal nutrition and health: new opportunities for sustainable animal production. *Animal Feed Science and Technology*, 234, 88-100.
- Douglas, S., Edwards, S., Kyriazakis, I., 2014. Management strategies to improve the performance of low birth weight pigs to weaning and their long-term consequences. *Journal of Animal Science*, 92, 2280–2288.

- Ensari, A. y Marsh, M. N., 2018. Exploring the villus. *Gastroenterology and Hepatology from Bed to Bench*, 11, 181-190.
- Ferrier, D. R., 2018. Introducción al metabolismo y la glucólisis. En *Bioquímica ilustrada 7ª edición*, Artmed Editora, 115-132.
- Fix, J., Cassady, J., Holl, J., Herring, W., Culbertson, M., See, M., 2010. Effect of piglet birth weight on survival and quality of commercial market swine. *Livestock Science*, 132, 98–106.
- Fraser, D. y Jones, R., 1975. The “teat order” of suckling pigs: I. Relation to birth weight and subsequent growth. *The Journal of Agricultural Science*, 84, 387–391.
- Friend, D. y Cunningham, H., 1966. Piglet birth weights and the order of farrowing. *Canadian Journal of Comparative Medicine and Veterinary Science*, 30, 179-182.
- Foxcroft, G. R., Dixon, W. T., Novak, S., Putman, C. T., Town, S. C., Vinsky, M. D. A., 2006. The biological basis for prenatal programming of postnatal performance in pigs. *Journal of Animal Science*, 84, 105-112.
- Gerrits, W., van den Borne, J., Labussière, E., 2015. Deriving heat production from gaseous exchange: validity of the approach En: G, W., L, E. (Eds.), *Indirect calorimetry: Techniques, computations and applications*. Wageningen Academic Publishers, 19-34.
- Gondret, F., Lefaucheur, L., Juin, H., Louveau, I., Lebret, B., 2006. Low birth weight is associated with enlarged muscle fiber area and impaired meat

- tenderness of the longissimus muscle in pigs. *Journal of Animal Science*, 84, 93–103.
- Gondret, F., Lefaucheur, L., Louveau, I., Lebret, B., Pichodo, X., Le Cozler, Y., 2005. Influence of piglet birth weight on postnatal growth performance, tissue lipogenic capacity and muscle histological traits at market weight. *Livestock Production Science*, 93, 137–146.
- Hocquette, J., Ortigues-Marty, I., Pethick, D., Herpin, P., Fernandez, X. 1998. Nutritional and hormonal regulation of energy metabolism in skeletal muscles of meat-producing animals. *Livestock Production Science*, 56, 115–143.
- Huygelen, V., De Vos, M., Prims, S., Vergauwen, H., Fransen, E., Casteleyn, C., Van Cruchten, S., 2015. Birth weight has no influence on the morphology, digestive capacity and motility of the small intestine in suckling pigs. *Livestock Science*, 182, 129–136.
- Jiang, B., Tsao, R., Li, Y., Miao, M., 2014. Food Safety: Food Analysis Technologies/Techniques. *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems*, 3, 273-288.
- Jindal, R., Cosgrove, J. R., Aherne, F. X., Foxcroft, G., 1996. Effect of nutrition on embryonal mortality in gilts: association with progesterone. *Journal of Animal Science*, 74, 620–624.
- Kim, S. W., Hurley, W., Wu, G., Ji, F., 2009. Ideal amino acid balance for sows during gestation and lactation. *Journal of Animal Science*, 87, 123–132.

- Kim, S. W., 2010. Recent advances in sow nutrition. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39, 303-310.
- Kongsted, A., 2005. A review of the effect of energy intake on pregnancy rate and litter size discussed in relation to group-housed non-lactating sows. *Livestock Production Science*, 97, 13–26.
- Lanferdini, E., Andretta, I., Fonseca, L., Moreira, R., Cantarelli, V., Ferreira, R., Saraiva, A., et al., 2018. Piglet birth weight, subsequent performance, carcass traits and pork quality: A meta-analytical study. *Livestock Science*, 214, 175–179.
- Lefaucheur, L., Edom, F., Ecolan, P., Butler-Browne, G., 1995. Pattern of muscle fiber type formation in the pig. *Developmental Dynamics : An Official Publication of The American Association of Anatomists*, 203, 27–41.
- Liao, C.W. y Veum, T. L., 1994. Effects of dietary energy intake by gilts and heat stress from days 3 to 24 or 30 after mating on embryo survival and nitrogen and energy balance. *Journal of Animal Science*, 72, 2369–2377.
- Losel, D., Kalbe, C., Rehfeldt, C., 2009. L-Carnitine supplementation during suckling intensifies the early postnatal skeletal myofiber formation in piglets of low birth weight. *Journal of Animal Science*, 87, 2216–2226.
- Martineau, G. P., y Badouard, B., 2009. Managing highly prolific sows. En *Proceedings of the London swine conference*, Editorial JM Murphy, 14-30.
- Mascarello, F., Stecchini, M., Rowlerson, A., Balocchi, E., 1992. Tertiary myotubes in postnatal growing pig muscle detected by their myosin isoform composition.

- Journal of Animal Science, 70, 1806–1813.
- Mateo, R., Wu, G., Bazer, F., Park, J., Shinzato, I., Kim, S., 2007. Dietary L-arginine supplementation enhances the reproductive performance of gilts. *The Journal of Nutrition*, 137, 652–656.
- Metges, C., 2000. Contribution of microbial amino acids to amino acid homeostasis of the host. *The Journal of Nutrition*, 130, 1857S–1864S.
- Milligan, B., Fraser, D., Kramer, D., 2002. Within-litter birth weight variation in the domestic pig and its relation to pre-weaning survival, weight gain, and variation in weaning weights. *Livestock Production Science*, 76, 181–191.
- Molina, J., Musah, A., Hard, D., Anderson, L., 1985. Conceptus development after vascular occlusion of the middle uterine artery in the pig. *Journal of Reproduction and Fertility*, 75, 501–506.
- Morrow, W., Meyer, R., Roberts, J., Lascelles, D., 2006. Financial and welfare implications of immediately euthanizing compromised nursery pigs. *Journal of Swine Health and Production*, 14, 25–34.
- Nissen, P., Jorgensen, P., Oksbjerg, N., 2004. Within-litter variation in muscle fiber characteristics, pig performance, and meat quality traits. *Journal of Animal Science*, 82, 414–421.
- Nissen, P. M., Oksbjerg, N. 2011. Birth weight and postnatal dietary protein level affect performance, muscle metabolism and meat quality in pigs. *Animal*, 5, 1382-1389.

- Noblet, J., 2007a. Net energy evaluation of feeds and determination of net energy requirements for pigs. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36, 277-284.
- Noblet, J., 2007. Recent developments in net energy research for swine. *Advances in Pork Production*, 18, 149-156.
- Noblet, J., Close, W., Heavens, R., Brown, D., 1985. Studies on the energy metabolism of the pregnant sow: 1. Uterus and mammary tissue development. *British Journal of Nutrition*, 53, 251-265.
- Noblet, J., Fortune, H., Shi, X., Dubois, S., 1994. Prediction of net energy value of feeds for growing pigs. *Journal of Animal Science*, 72, 344-354.
- Noblet, J. y Van Milgen, J., 2004. Energy value of pig feeds: Effect of pig body weight and energy evaluation system. *Journal of Animal Science*, 82, 229-238.
- NOM-062-ZOO-1999, 2001. Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio. *Diario Oficial de la Federación*. México, D.F.
- NRC, 2012. *Nutrient Requirements of Swine*. 11th ed. National Academies Press, Washington, DC.
- Oksbjerg, N., Nissen, P., Therkildsen, M., Møller, H., Larsen, L., Andersen, M., Young, J., 2013. Meat science and muscle biology symposium: in utero nutrition related to fetal development, postnatal performance, and meat quality of pork. *Journal of Animal Science*, 91, 1443-1453.

- Panzardi, A., Bernardi, M., Mellagi, A., Bierhals, T., Bortolozzo, F., Wentz, I., 2013. Newborn piglet traits associated with survival and growth performance until weaning. *Preventive Veterinary Medicine*, 110, 206–213.
- Père, M.C., y Etienne, M., 2000. Uterine blood flow in sows: effects of pregnancy stage and litter size. *Reproduction Nutrition Development*, 40, 369–382.
- Powell, S. E., y Aberle, E. D., 1980. Effects of birth weight on growth and carcass composition of swine. *Journal of Animal Science*, 50, 860–868.
- Quiniou, N., Dagorn, J., Gaudré, D., 2002. Variation of piglets' birth weight and consequences on subsequent performance. *Livestock Production Science*, 78, 63–70.
- Ramonet, Y., Meunier-Salaün, M. C., Dourmad, J.Y., 1999. High-fiber diets in pregnant sows: digestive utilization and effects on the behavior of the animals. *Journal of Animal Science*, 77, 591–599.
- Rankin, J. H., Goodman, A., Phernetton, T., 1975. Local regulation of the uterine blood flow by the umbilical circulation. *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine*. Society for Experimental Biology and Medicine, 150, 690–694.
- Redmer, D., Wallace, J., Reynolds, L., 2004. Effect of nutrient intake during pregnancy on fetal and placental growth and vascular development. *Domestic Animal Endocrinology*, 27, 199–217.
- Rehfeldt, C., Kuhn, G., 2006. Consequences of birth weight for postnatal growth performance and carcass quality in pigs as related to myogenesis. *Journal of*

- Animal Science, 84, 113–123.
- Rehfeldt, C., Tuchscherer, A., Hartung, M., Kuhn, G., 2008. A second look at the influence of birth weight on carcass and meat quality in pigs. *Meat Science*, 78, 170–175.
- Rendón del Águila, J. U., Martínez-Gamba, R. G., Herradora M. A., Alonso-Spilsbury, M., 2017. Efecto del peso al nacer, tamaño de camada y posición en la ubre sobre el crecimiento de cerdos durante la lactancia y engorda. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 8, 75–81.
- Reynolds, L., Ford, S., Ferrell, C., 1985. Blood flow and steroid and nutrient uptake of the gravid uterus and fetus of sows. *Journal of Animal Science*, 61, 968–974.
- Reynolds, L. y Redmer, D., 2001. Angiogenesis in the placenta. *Biology of Reproduction*, 64, 1033–1040.
- Schoknecht, P., Newton, G., Weise, D., Pond, W., 1994. Protein restriction in early pregnancy alters fetal and placental growth and allantoic fluid proteins in swine. *Theriogenology*, 42, 217–226.
- Stein, H.H., Fuller, M., Moughan, P., Seve, B., Mosenthin, R., Jansman, A.J.M., Fernández, J.A., de Lange, C.F.M., 2007. Definition of apparent, true, and standardized ileal digestibility of amino acids in pigs. *Livestock Science*, 109, 282–285.
- Van Milgen, J. y Dourmad, J. Y., 2015. Concept and application of ideal protein for pigs. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 6, 15–25.

- Velayudhan, D. E., Heo, J. M., Nyachoti, C. M., 2015. Net energy content of dry extruded-expelled soybean meal fed with or without enzyme supplementation to growing pigs as determined by indirect calorimetry. *Journal of Animal Science*, 93, 3402-3409.
- Wang, J., Chen, L., Li, D., Yin, Y., Wang, X., Li, P., Dangott, L., Hu, W., Wu, G., 2008. Intrauterine growth restriction affects the proteomes of the small intestine, liver, and skeletal muscle in newborn pigs. *The Journal of Nutrition*, 138, 60–66.
- Wang, T., Huo, Y., Shi, F., Xu, R., Hutz, R., 2005. Effects of intrauterine growth retardation on development of the gastrointestinal tract in neonatal pigs. *Neonatology*, 88, 66-72.
- Wang, X., Lin, G., Liu, C., Feng, C., Zhou, H., Wang, T., Li D., et al., 2014. Temporal proteomic analysis reveals defects in small-intestinal development of porcine fetuses with intrauterine growth restriction. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 25, 785–795.
- Waterlow, J.C., 1999. The mysteries of nitrogen balance. *Nutrition Research Reviews*, 12, 25-54.
- Wigmore, P. y Stickland, N., 1983. Muscle development in large and small pig fetuses. *Journal of Anatomy*, 137, 235–245.
- Wilson, M. E. y Anderson, L. L., 2010. Mechanistic aspects of fetal development relating to postnatal health and metabolism in pigs. *En Managing the prenatal environment to enhance livestock productivity*, 161-202. Springer, Dordrecht.

- Wu, G., 1998. Intestinal mucosal amino acid catabolism. *The Journal of Nutrition*, 128, 1249-1252.
- Wu, G., Bazer, F., Cudd, T., Meininger, C., Spencer, T., 2004. Maternal nutrition and fetal development. *The Journal of Nutrition*, 134, 2169–2172.
- Wu, G., Bazer, F., Davis, T., Jaeger, L., Johnson, G., Kim S., Knabe D., Meininger, C., Spencer, T., Yin, Y., 2007. Important roles for the arginine family of amino acids in swine nutrition and production. *Livestock Science*, 112, 8–22.
- Wu, G., Bazer, F., Wallace, J., Spencer, T., 2006. Board-invited review: intrauterine growth retardation: implications for the animal sciences. *Journal of Animal Science*, 84, 2316–2337.
- Xu, R., Mellor, D., Birtles, M., Reynolds, G., Simpson, H. 1994. Impact of intrauterine growth retardation on the gastrointestinal tract and the pancreas in newborn pigs. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition*, 18, 231–240.
- Yeung, M. y Smyth, J. 2003. Nutritionally regulated hormonal factors in prolonged postnatal growth retardation and its associated adverse neurodevelopmental outcome in extreme prematurity. *Neonatology*, 84, 1–23.