

Impacto del peso al nacimiento del lechón sobre los balances de nitrógeno y energía en la fase de crecimiento

Enrique Vázquez Mandujano ^a

Tércia Cesária Reis de Souza ^b

Ericka Ramírez Rodríguez ^c

Gerardo Mariscal-Landín ^{c*}

^a Universidad Nacional Autónoma de México. Posgrado de Producción y Salud Animal. Ciudad de México. México.

^b Universidad Autónoma de Querétaro. Facultad de Ciencias Naturales. Querétaro, Qro., México.

^c Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Centro Nacional de Investigación en Fisiología. km 1 Carretera a Colón, 76280 Ajuchitlán, Querétaro, México.

* Autor de Correspondencia: mariscal.gerardo@inifap.gob.mx

Resumen:

Para determinar el efecto del peso al nacimiento sobre los balances de nitrógeno (N) y energía (E) en cerdos en crecimiento se realizaron balances de N y E a cinco pares de hermanos. Cada par constó de un cerdo de peso bajo al nacimiento (PBN=912 ± 40 g) y un cerdo de peso normal al nacimiento (PNN=1,610 ± 223 g). Los cerdos se manejaron de manera normal hasta los 90 días de edad, cuando se trasladaron a la Unidad Metabólica para realizar los dos estudios de balance: a los 50 kg de peso y a la misma edad (cuando el cerdo PBN pesó 50 kg). Los PNN digirieron más ($P<0.05$) MS a los 50 kg y a la misma edad (86.9 vs 86.0). La digestibilidad del N tendió ($P<0.10$) a ser mayor en los PNN a los 50 kg (77.6 vs 76.7) y fue mayor ($P<0.05$) a la misma edad (78.0 vs 76.7). El N retenido como porcentaje del consumido a la misma edad fue mayor ($P<0.01$) en los PNN 61.1 % vs 57.7 %; y ($P<0.10$) en el N retenido como porcentaje del absorbido 78.4 % vs 75.2 %. Se observó una mayor ($P<0.05$) digestibilidad de la E a los 50 kg en los PNN 85.1 vs

84.1 % y a la misma edad ($P<0.01$) 85.4 vs 84.1 %. La EM fue mayor a los 50 kg ($P<0.05$) en los PNN 83.0 vs 82.0 % y a la misma edad ($P<0.01$) 83.5 vs 82.0 %. Se concluye que los cerdos PBN son menos eficientes que los cerdos PNN.

Palabras clave: Peso-bajo-nacimiento, Balance-energía, Balance-nitrógeno, Cerdos.

Recibido: 31/08/2018

Aceptado: 24/01/2019

Introducción

En cerdos, la eficiencia con que los animales obtienen y utilizan la energía del alimento pudiera estar determinada al nacimiento; ya que el crecimiento fetal es un proceso dinámico que depende de la interacción armónica de la madre, el feto y la placenta. El impacto sobre el crecimiento del feto es dependiente de la disponibilidad de nutrientes; ya que en esta etapa el genoma juega un papel limitado⁽¹⁾. En cerdos, debido a que la selección genética se ha enfocado en prolificidad, se ha incrementado la incidencia de partos con animales de bajo peso⁽²⁻⁴⁾. Lo cual, puede deteriorar el desarrollo del embrión/feto o de sus órganos durante el embarazo, y dado que el medio ambiente intrauterino del embrión siempre modula la expresión del genoma fetal y tiene consecuencias de por vida a través del efecto conocido como “fetal programming”⁽⁵⁾ los animales de bajo peso al nacimiento pueden ser afectados negativamente en su desarrollo postnatal. El impacto del bajo peso al nacimiento ha sido estudiado principalmente en el tejido muscular y nervioso⁽⁶⁻⁸⁾, ya que estos tejidos se caracterizan porque su desarrollo postnatal se realiza a través del proceso de hipertrofia⁽⁹⁾, por lo que en principio el efecto negativo persiste durante toda la vida del cerdo. Sin embargo, también se afectan diversas funciones del tracto gastrointestinal, ya que se modula la expresión génica en intestino delgado y colon. Los genes afectados están relacionados con el metabolismo celular, biosíntesis, transducción de señales y muerte celular⁽¹⁰⁾.

Debido a que el aparato gastrointestinal madura fisiológicamente después del nacimiento, y esos cambios son inducidos principalmente por el cambio de una nutrición parenteral a una nutrición enteral, y a la presencia de un gran número de sustancias bioactivas en el calostro y la leche⁽¹¹⁾; se suponía que sí había algún impacto negativo del bajo peso al nacimiento sobre la función del tracto gastrointestinal, éste se manifestaría solamente durante las primeras fases de vida; pero estudios recientes muestran que su impacto negativo se puede observar aún en animales adultos. Una menor capacidad de los lechones para digerir la proteína en comparación a los cerdos en crecimiento-finalización ya ha sido reportada; y esta menor capacidad digestiva fue más evidente cuando se compararon materias primas de origen vegetal ricas en fibra o factores anti-

nutricionales^(12,13), ya que al utilizar caseína que es una proteína altamente digestible no se observó ninguna diferencia⁽¹⁴⁾. Sin embargo, esa menor capacidad digestiva es diferente a la mencionada anteriormente porque esta última se presentaría en animales con la misma edad cronológica^(10,15).

Por lo que el objetivo de este estudio fue comparar la digestibilidad y los balances de nitrógeno y energía entre cerdos de peso bajo al nacimiento (PBN) y cerdos de peso normal al nacimiento (PNN) en dos condiciones: mismo peso y misma edad.

Material y métodos

El trabajo se realizó en la Unidad Metabólica del CENID Fisiología del INIFAP. El protocolo fue revisado y aprobado por el Comité Científico Técnico del CENID Fisiología. El manejo empleado en los animales respetó los lineamientos de la Norma Oficial Mexicana para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio⁽¹⁶⁾, así como los de la International Guiding Principles for Biomedical Research Involving Animals⁽¹⁷⁾.

Animales

Se formaron cinco pares de hermanos (5 lechones PBN), menos de 1 kilogramo de peso al nacimiento (0.912 ± 0.040 kg) y 5 lechones PNN (1.612 ± 0.223 kg), los cuales se seleccionaron dentro de los hermanos que tenían un peso lo más cercano al peso promedio de la camada. Los animales se seleccionaron de cinco camadas de más de 12 lechones nacidos vivos. Los cerdos se alimentaron de manera normal y permanecieron en granja bajo las condiciones de manejo normales durante los primeros 90 días de edad. Posteriormente se movieron a la Unidad Metabólica a una sala con temperatura controlada, la cual fluctuó entre los 19 y 22 °C, en donde se alojaron de manera individual en jaulas metabólicas las cuales contaban con bebedero y comedero individual, y con una malla que permitió la separación y colecta de heces y la colecta de orina a través de embudos colocados debajo del piso de la jaula.

Cuando el cerdo PNN pesó 50 kg se realizó el primer estudio de Balance de Nitrógeno y Energía (solo en los animales PNN); el segundo estudio de balance de nitrógeno y energía se realizó cuando los animales PBN alcanzaron los 50 kg de peso. En ese momento se realizó el estudio de balance en los animales PBN y PNN. De esa manera se contó con un estudio de balance de nitrógeno y energía a los 50 kg de peso en los dos tipos de animales y con un estudio de balance de nitrógeno y energía a la misma edad.

Dieta experimental y manejo alimenticio

Al inicio del periodo de adaptación a la dieta experimental y durante todo el periodo experimental, los cerdos se alimentaron de acuerdo a su peso metabólico (555 kcal de EM x Kg^{0.60}) y se les acostumbró a consumir su alimento en una hora⁽¹⁸⁾. La dieta experimental (Cuadro 1) fue una dieta sorgo-pasta de soya enriquecida con vitaminas y minerales y que aportó los requerimientos recomendados por el NRC⁽¹⁹⁾ para esa etapa productiva.

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

Ingrediente		g/kg
Sorgo		731.6
Pasta de soya		200.0
Aceite de maíz		24.5
L-Lisina HCl		7.9
L-Treonina		0.9
DL-Metionina		0.9
L-Triptofano		0.03
Sal		5.0
Carbonato de calcio		6.3
Fosfato bicálcico		10.3
PreMix de minerales		8.0
PreMix de vitaminas		4.5
Análisis químico:		
Materia seca	%	95.55
Energía bruta	Kcal/kg	3,985.00
FDN	%	9.36
FDA	%	4.26
Proteína cruda	%	14.75
Análisis estimado		
Lisina digestible	%	0.85
Treonina digestible	%	0.52
Azufrados digestibles	%	0.48
Triptófano digestible	%	0.15
Calcio	%	0.59
Fósforo total	%	0.52

^a La premezcla de minerales traza aporta las siguientes cantidades por kilo 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 La premezcla de vitaminas aporta las siguientes cantidades por kilo de alimento: vitamina A, 4,250 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.

Estudios de balance de nitrógeno y energía

Durante los estudios de balance, el agua proporcionada correspondió a 3 L de agua por kilo de materia seca consumida. El suministro de agua se restringió para poder realizar la colecta total de orina. Cada período experimental estuvo compuesto de cinco días de adaptación, al inicio del periodo experimental se les proporcionó alimento marcado con óxido férrico a razón de 3 g/kg. La colecta total de heces se realizó cada 12 h y se inició a partir del momento en que las heces aparecieron marcadas. El sexto día (primer día posterior al periodo experimental) se les proporcionó nuevamente alimento marcado con óxido férrico a razón de 3 g/kg. La presencia de heces marcadas determinó el fin de la colecta de heces; las heces colectadas se mantuvieron a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. La colecta de orina se realizó dos veces al día durante cinco días, el recipiente donde se recibió la orina contenía 40 ml de HCl 6M para acidificar la orina y evitar la pérdida de amoníaco por volatilización. La orina colectada en un día se filtró, a través de manta de cielo y lana de vidrio, se pesó y se tomó una alícuota del 5% la cual se guardó a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta su análisis.

Análisis de laboratorio

Las muestras de heces se secaron parcialmente a $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ y posteriormente se molieron a través de una malla de 0.5 mm en un molino de laboratorio (Arthur H. Thomas Co. Philadelphia, PA). En las materias primas, dietas experimentales y heces se determinó el contenido de MS, PC de acuerdo con los métodos 934.01 y 976.05 del AOAC⁽²⁰⁾ y de energía por medio de una bomba calorimétrica adiabática (modelo 1281, Parr, Moline, IL). En la orina se determinó el contenido de nitrógeno de acuerdo al método 976.05 del AOAC⁽²⁰⁾; y en la orina liofilizada se estimó el contenido de energía según Le Bellego⁽²¹⁾.

Análisis de los datos

Diariamente se registró el consumo de alimento para obtener el consumo de materia seca (g/día), nitrógeno (g/día) y energía (Kcal/día), multiplicando el consumo de alimento por la concentración del nutriente en la dieta. La estimación de la excreción de materia seca (g/día), nitrógeno (g/día) y energía (Kcal/día) en heces se estimó multiplicando la cantidad de heces producidas en base seca por la concentración de nutrimentos en las heces. La estimación de la excreción de nitrógeno (g/día) y energía (Kcal/día) en orina se estimó multiplicando el total de orina producida por la concentración de nutrimentos en la orina. La digestibilidad fecal de la materia seca, nitrógeno y energía se estimó mediante la siguiente ecuación propuesta por Adeola⁽²²⁾:

$$DTA = ((NC - NX) / NC) \times 100$$

Donde DTA= digestibilidad total aparente; **NC**= nutriente consumido g/día, **NX**= nutriente excretado g/día. La retención de nitrógeno (g/día) y energía digestible y metabolizable (Kcal/día) se calculó sustrayendo la cantidad de nutrimentos excretados en heces y orina de la cantidad de nutrimentos consumidos.

Análisis estadístico

Los datos se analizaron según un diseño de bloques completos al azar (cada par de hermanos fue un bloque) y se realizaron dos contrastes: en el primero se compararon los balances de N y E al mismo peso (50 kg) y en el segundo a la misma edad (determinada cuando el cerdo PBN pesó 50 kg)⁽²³⁾. El análisis estadístico se realizó empleando el procedimiento GLM del paquete estadístico SAS⁽²⁴⁾. Las diferencias fueron consideradas significativas cuando ($P < 0.05$), y una tendencia fue reconocida cuando ($0.05 < P < 0.10$)

Resultados

Los animales seleccionados tuvieron un peso significativamente diferente ($P < 0.001$) al nacimiento (Cuadro 2), ya que los lechones PBN pesaron en promedio 912 ± 40 g y los PNN $1,610 \pm 223$ g. Los cerdos PNN seleccionados alcanzaron los 50 kg de peso en menor tiempo ($P < 0.001$) 109 días, que los animales PBN 127.8 días. Lo que hace una ganancia diaria de peso (GDP) de 513 g/día para los cerdos PNN y de 451 g/día para los cerdos PBN. La diferencia en el peso promedio en estos dos tipos de animales a los 127.8 días de edad fue de 12.2 kg de peso (63.8 vs 51.6 kg de peso para los cerdos PNN y PBN respectivamente). Cabe resaltar que esta diferencia no fue ocasionada por que los animales PBN padecieran alguna enfermedad durante su fase de crecimiento o que hayan consumido dietas diferentes en algún periodo de su vida. Durante los estudios de Balance a los animales se les ofrecieron 555 kcal por $\text{kg}^{0.60}$, no habiendo diferencia ($P > 0.10$) en el consumo de alimento (545 vs 540 kcal por $\text{kg}^{0.60}$ en los cerdos PNN y PBN respectivamente), lo que representó un consumo prácticamente similar 98.1 y 97.2 % del alimento ofrecido para los cerdos PNN y PBN por $\text{kg}^{0.60}$. Sin embargo, los cerdos PNN tuvieron una mayor digestibilidad ($P < 0.05$) de la MS a los 50 kg y a la misma edad que los cerdos PBN.

Cuadro 2: Pesos al nacimiento y al inicio de los estudios de Balance de Nitrógeno y Energía; así como datos del consumo de kilocalorías por peso metabólico y balance y digestibilidad de la materia seca

	Peso		Edad		Contrastes		EEM
	PNN ¹	PBN ²	PNN	PBN	P peso ³	P edad ⁴	
Peso al nacimiento, kg	1.610	0.912	1.610	0.912	0.001	0.001	0.048
Peso al destete, kg	6.310	3.616	6.310	3.616	0.001	0.001	0.222
Ganancia diaria de peso, kg	0.513	0.451	0.540	0.451	0.001	0.001	0.008
Peso al inicio del balance, kg	51.4	51.6	63.8	51.6	NS	0.001	0.554
Días de edad al inicio del balance	109.0	127.8	127.8	127.8	0.001	NS	1.564
kcal EM consumidas/kg ^{0.60}	545.1	540.3	544.9	540.3	NS	NS	3.186
Materia seca consumida, g/d	1,729	1,722	1,987	1,722	NS	0.001	14.747
Materia seca excretada, g/d	227	241	261	241	0.10	0.05	4.730
Digestibilidad de la materia seca, %	86.9	86.0	86.9	86.0	0.05	0.05	0.255

¹PNN= lechón con peso normal al nacimiento; ²PBN= lechón con peso bajo al nacimiento; ³Probabilidad del contraste Peso; ⁴Probabilidad del contraste Edad. EEM= error estándar de la media.

NS= no significativo ($P>0.10$).

Balance de nitrógeno

Los resultados se presentan en el Cuadro 3. Donde puede observarse que el N consumido a la misma edad fue mayor ($P<0.001$) en los cerdos PNN 48.9 g/día que en los cerdos PBN 42.4 g/día. La digestibilidad del N tendió ($P<0.10$) a ser mayor en los cerdos PNN cuando ambos grupos tenían 50 kg de peso (77.6 vs 76.7) y fue significativamente mayor ($P<0.05$) cuando los cerdos tenían la misma edad (78.0 vs 76.7) para los cerdos PNN y PBN respectivamente. La excreción de N en orina tanto por edad como por peso fue similar ($P>0.10$) entre grupos 8.3 g de N/día. El N retenido como porcentaje del consumido fue similar ($P>0.10$) a los 50 kg de peso 57.4 % pero cuando los cerdos tenían la misma edad fue mayor ($P<0.01$) en los animales PNN 61.1 % que en los animales PBN 57.7 %; esta diferencia se mantuvo ($P<0.10$) en el N retenido como porcentaje del absorbido 78.4 % en los cerdos PNN vs 75.2 % en los PBN.

Cuadro 3: Resultados del balance de nitrógeno

	Peso		Edad		Contrastes		EEM ⁵
	PNN ¹	PBN ²	PNN	PBN	P peso ³	P edad ⁴	
Nitrógeno consumido, g/d	43.0	42.4	48.9	42.4	NS	0.001	0.432
Nitrógeno en heces, g/d	9.6	9.9	10.8	9.9	NS	0.01	0.176
Nitrógeno digestible, %	77.6	76.7	78.0	76.7	0.10	0.05	0.334
Nitrógeno absorbido, g/d	33.4	32.5	38.2	32.5	NS	0.001	0.383
Nitrógeno en orina, g/d	8.8	8.1	8.3	8.1	NS	NS	0.361
Nitrógeno excretado, g/d	18.5	18.0	19.0	18.0	NS	0.05	0.283
Nitrógeno retenido, g/d	24.6	24.5	29.9	24.5	NS	0.001	0.514
Nitrógeno retenido, % del consumo	57.1	57.7	61.1	57.7	NS	0.01	0.719
Nitrógeno retenido, % del absorbido	73.6	75.2	78.4	75.2	NS	0.10	0.999

¹PNN= Lechón con peso normal al nacimiento; ²PBN= Lechón con peso bajo al nacimiento; ³Probabilidad del contraste peso; ⁴Probabilidad del contraste edad; ⁵EEM= error estándar de la media.

NS= no significativo ($P>0.10$).

Balance de energía

Los resultados se presentan en el Cuadro 4. El consumo de energía fue mayor ($P<0.001$) a la misma edad 8,289 vs 7,183 kcal/día para los cerdos PNN y PBN respectivamente. Se observó una mayor ($P<0.05$) digestibilidad de la energía a los 50 kg en los cerdos PNN 85.1 % que en los PBN 84.1 % y esta diferencia fue aún más significativa ($P<0.01$) a la misma edad 85.4 vs 84.1 % para los cerdos PNN y PBN respectivamente. La energía excretada en la orina fue similar ($P>0.10$) para ambos grupos de cerdos 153 kcal/día. La Energía Metabolizable a los 50 kg fue mayor ($P<0.05$) en los cerdos PNN 83.0 % que en los PBN 82.0 %. Cuando se comparó la EM a la misma edad la diferencia fue más significativa ($P<0.01$) 83.5 vs 82.0 % para los cerdos PNN y PBN respectivamente.

Cuadro 4: Resultados del balance de energía

	Peso		Edad		Contrastes		EEM ⁵
	PNN ¹	PBN ²	PNN	PBN	P peso ³	P edad ⁴	
Energía consumida, kcal/d	7,212	7,183	8,289	7,183	NS	0.001	63.429
Energía en heces, kcal/d	1,080	1,141	1,211	1,141	0.05	0.01	15.453
Energía digestible, %	85.1	84.1	85.4	84.1	0.05	0.01	0.222
Energía digestible, kcal/kg	3,547	3,508	3,563	3,508	0.05	0.01	9.245
Energía excretada, kcal/d	1,231	1,292	1,370	1,292	0.10	0.05	20.237
Energía en orina, kcal/d	151	151	159	151	NS	NS	6.150
Energía metabolizable, %	83.0	82.0	83.5	82.0	0.05	0.01	0.278
Energía metabolizable, kcal/kg	3,459	3,420	3,483	3,420	0.05	0.01	11.529

¹PNN= Lechón con peso normal al nacimiento; ²PBN= Lechón con peso bajo al nacimiento; ³Probabilidad del Contraste Peso; ⁴Probabilidad del Contraste Edad; ⁵EEM= error estándar de la media.

NS= no significativo ($P>0.10$).

Discusión

Crecimiento

Los resultados muestran que los cerdos PBN fueron más ligeros al destete y en la etapa de crecimiento, lo cual es el resultado de una menor ganancia diaria de peso para los cerdos PBN. La mayor frecuencia de lechones PBN observada actualmente en la porcicultura se debe a la selección que se ha realizado en las hembras por prolificidad, lo que ha aumentado la presencia de lechones nacidos con bajo peso <1 kg⁽²⁻⁴⁾, provocando que entre todas las especies de animales domésticos la porcina sea la que presenta la mayor tasa de nacimientos con bajo peso⁽⁷⁾. Estos animales se caracterizan por presentar una mayor tasa de mortalidad y una menor ganancia de peso en lactación lo que provoca un menor peso al destete⁽²⁵⁾. Además de que su crecimiento post destete también se caracteriza por ser menor al de sus hermanos nacidos con un peso normal^(3,25,26) y por una menor calidad de canal⁽²⁶⁾.

Digestibilidad

La menor digestibilidad del nitrógeno y energía observada en los animales PBN ha sido reportada principalmente en lechones^(11,27-31). Las explicaciones a este fenómeno son varias e incluyen una menor capacidad digestiva por una menor longitud y área del tracto gastrointestinal en los lechones^(11,28,30), además en los lechones está afectada la estructura histológica de intestino⁽¹⁰⁾, y se ha reportado una menor cantidad de lactasa y aminopeptidasas y un menor tamaño de páncreas⁽²⁷⁾ pudiendo esto provocar una menor capacidad de secreción de enzimas digestivas; así mismo estos animales tienen un menor contenido de transportadores de aminoácidos neutros⁽²⁹⁾. En animales en crecimiento los estudios son más escasos, pero también se ha reportado una menor cantidad de enzimas aminopeptidasas y un menor peso relativo de su tracto digestivo en cerdos⁽³¹⁾, y un menor tamaño del TGI en bovinos⁽³²⁾.

Balances de nitrógeno y energía

El menor nitrógeno retenido en los cerdos PBN cuando ambos grupos tenían la misma edad; así como la menor cantidad de energía metabolizable en los animales PBN muestran una menor eficiencia en el uso de los nutrientes absorbidos. Esto puede ser debido a que

algunas enzimas y o metabolitos están alterados en estos animales afectando el metabolismo intermediario. Por ejemplo en lechones PBN se ha reportado un aumento en la concentración plasmática de fructosamina y colesterol unido a la lipoproteína de baja densidad, indicando una tendencia a la presencia de resistencia a la insulina en esos animales⁽²⁶⁾. Una menor concentración sérica de serotonina y triptófano⁽³³⁾. Además, los lechones PBN tienen una menor tasa de síntesis de proteína⁽³⁴⁾ y una mayor tasa de degradación de proteína⁽³⁵⁾; no se sabe si estas características están presentes o desaparecen durante su crecimiento post destete; y aunado esto a que este tipo de animales tienen un menor número de células musculares^(2,36-38). Por lo que es muy probable que todos los factores mencionados afecten el uso metabólico de los nutrientes, ya que la capacidad de deposición de tejido magro (proteína) es reducida. Esto implicaría un mayor costo metabólico de la ganancia de peso lo que experimentalmente se ha observado, puesto que son animales más grasos⁽²⁶⁾.

Consumo de alimento

Durante la fase de balance a una misma edad se provocó un menor consumo en los animales PBN cuando ambos grupos de cerdos tenían la misma edad, esto fue ocasionado porque los animales fueron racionados a 555 kcal de EM por kg^{0.60}. Sin embargo, es característico de los animales PBN el mostrar un menor consumo de alimento durante toda su vida que el observado en los animales PNN^(6,36-38). En lechones el consumo de alimento es afectado por la digestibilidad de la dieta⁽³⁹⁾ y los animales PBN tienen una menor digestibilidad como se ha discutido previamente, además se ha reportado que son animales que tienen menos células gástricas secretoras de ghrelina que es la hormona que estimula el consumo de alimento al generar la sensación de hambre⁽⁴⁰⁾. Todas estas características ayudan a explicar el menor consumo que durante toda su vida se observa en esos animales.

Conclusiones e implicaciones

Los cerdos PBN son menos eficientes que los cerdos PNN, esto es debido a una menor digestibilidad del nitrógeno y energía cuando ambos grupos se comparan a la misma edad y una menor retención de Nitrógeno en el organismo lo que encarece el costo metabólico del aumento de peso.

Agradecimientos

Los autores agradecen al INIFAP por el apoyo financiero al Proyecto: ¿Impacta el peso al nacimiento en la capacidad digestiva y el uso metabólico de nutrientes en cerdos en crecimiento-finalización? No. SIGI 10145234138

Literatura citada:

1. Bauer MK, Harding JE, Bassett NS, Breier BH, Oliver MH, Gallaher BH, *et al.* Fetal growth and placental function. *Mol Cell Endocrinol* 1998;140(1-2):115-120.
2. Pardo CE, Bérard J, Kreuzer M, Bee G. Intrauterine crowding impairs formation and growth of secondary myofibers in pigs. *Animal* 2013;7:430-438.
3. Douglas SL, Edwards SA, Kyriazakis I. Management strategies to improve the performance of low birth weight pigs to weaning and their long-term consequences. *J Anim Sci* 2014;92:2880-2888.
4. Douglas SL, Edwards SA, Kyriazakis I. Are all piglets born lightweight alike? Morphological measurements as predictors of postnatal performance. *J Anim Sci* 2016;94:3510-3518.
5. Lin G, Wang X, Wu G, Feng C, Zhou H, Li D, *et al.* Improving amino acid nutrition to prevent intrauterine growth restriction in mammals. *Amino Acids* 2014;46:1605-1623.
6. Gondret F, Lefaucheur L, Louveau I, Lebret B, Pichodo X, Le Cozler Y. Influence of piglet birth weight on postnatal growth performance, tissue lipogenic capacity and muscle histological traits at market weight. *Livest Prod Sci* 2005;93:137-146.
7. Wu G, Bazer FW, Wallace JM, Spencer TE. Board Invited Review: Intrauterine growth retardation: Implications for animal sciences. *J Anim Sci* 2006;84:2316-2337.
8. Prado EL, Dewey KG. Nutrition and brain development in early life. *Nutr Rev* 2014;72(4):267-284.
9. Brown LD. Endocrine regulation of fetal skeletal muscle growth: impact on future metabolic health. *J Endocrinol* 2014;221:R13-R29.
10. D'Inca R, Kloareg M, Gras-Le Guen C, Le Huërou-Luron I. Intrauterine growth restriction modifies the developmental pattern of intestinal structure, transcriptomic profile, and bacterial colonization in neonatal pigs. *J Nutr* 2010;140(5):925-931.

11. Yang H, Xiong X, Yin Y. Development and renewal of intestinal villi in pigs. In: Blachier F, Wu G, Yin Y editors. Development and renewal of intestinal villi in pigs. Nutritional and physiological functions of amino acids in pigs. New York: Springer; 2013:30-47.
12. Mariscal-Landín G, Reis de Souza TC, Parra SJE, Aguilera BA, Mar BB. Ileal digestibility of protein and amino acids from canola meal in weaned piglets and growing pigs. *Livest Sci* 2008;116:53-62.
13. Mariscal-Landín G, Reis de Souza TC, Ávalos MA. Ileal amino acids digestibility of sorghum in weaned piglets and growing pigs. *Animal* 2010;4:1341-1348.
14. Mariscal-Landín G, Reis de Souza TC. Endogenous ileal losses of nitrogen and amino acids in pigs and piglets fed graded levels of casein. *Arch Anim Nutr* 2006;60:454-466.
15. He Q, Ren P, Kong X, Xu W, Tang H, Yin Y, *et al.* Intrauterine growth restriction alters the metabolome of the serum and jejunum in piglets. *Mol BioSyst* 2011;7(7):2147-2155.
16. Diario Oficial de la Federación. Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio. Norma Oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999. Diario Oficial de la Federación 2001(Miércoles 2 de agosto).
17. CIOMS. International guiding principles for biomedical research involving animals. In: Organization WH editor. International guiding principles for biomedical research involving animals. Council for International Organizations of Medical Sciences ed. Geneva; 1985.
18. Ayoade DI, Kiarie E, Trinidad Neto MA, Nyachoti CM. Net energy of diets containing wheat-corn distillers dried grains with solubles as determined by indirect calorimetry, comparative slaughter, and chemical composition methods. *J Anim Sci* 2012;90:4373–4379.
19. NRC. Nutrient Requirements of Swine: Eleventh Revised Edition. Washington, DC: The National Academies Press; 2012.
20. AOAC. Official Methods of Analysis. 17 th. ed. Arlington, VA. USA: Assoc. Offic. Anal. Chem.; 2000.
21. Le Bellego L, van Milgen J, Dubois S, Noblet J. Energy utilization of low-protein diets in growing pigs. *J Anim Sci* 2001;79:1259-1271.
22. Adeola O. Digestion and balance technique in pigs. In: Lewis AJ, Southern LL editors. Digestion and balance technique in pigs. Second ed. Boca Raton, USA: CRC Press; 2001:903-916.

23. Steel RGD, Torrie JH. Principles and procedures of statistics. A Biometrical approach. 2nd ed. New York: McGraw-Hill 1980.
24. SAS version 9.2. Statistical Analysis Systems Institute User's guide. Statistical Analysis Systems Institute User's guide. 9.2 ed. Cary NC, USA: SAS Institute Inc.; 2008.
25. Huting AMS, Sakkas P, Wellock I, Almond K, Kyriazakis I. Once small always small? To what extent morphometric characteristics and postweaning starter regime affect pig lifetime growth performance. *Porcine Health Management* 2018;4:21.
26. Vázquez-Gómez M, García-Contreras C, Torres-Rovira L, Astiz S, Óvilo C, González-Bulnes A, *et al.* Maternal undernutrition and offspring sex determine birth-weight, postnatal development and meat characteristics in traditional swine breeds. *J Anim Sci Biotechnol* 2018;9:27.
27. Morise A, Louveau I, Le Huërou-Luron I. Growth and development of adipose tissue and gut and related endocrine status during early growth in the pig: impact of low birth weight. *Animal* 2008;2:73-83.
28. Wiyaporn M, Thongsong B, Kalandakanond-Thongsong S. Growth and small intestine histomorphology of low and normal birth weight piglets during the early suckling period. *Livest Sci* 2013;158:215-222.
29. Yang H, Fu D, Shao H, Kong X, Wang W, Yang X, *et al.* Impacts of birth weight on plasma, liver and skeletal muscle neutral amino acid profiles and intestinal amino acid transporters in suckling Huanjiang Mini-Piglets. *PloS One* 2012;7(12).
30. Guilloteau P, Zabielski R, Hammon HM, Metges CC. Nutritional programming of gastrointestinal tract development. Is the pig a good model for man? *Nut Res Rev* 2010;23:4-22.
31. Mickiewicz M, Zabielski R, Grenier B, Le Normand L, Savary G, Holst JJ, *et al.* Structural and functional development of small intestine in intrauterine growth retarded porcine offspring born to gilts fed diets with differing protein ratios throughout pregnancy. *J Physiol Pharmacol* 2012;63:225-239.
32. Meyer AM, Hess BW, Paisley SI, Du M, Caton JS. Small intestinal growth measures are correlated with feed efficiency in market weight cattle, despite minimal effects of maternal nutrition during early to mid-gestation. *J Anim Sci* 2014;92:3855-3867.
33. Willemen SA, Che L, Dewilde S, Van Hauwaert ML, De Vos M, Huygelen V, *et al.* Enteric and serological distribution of serotonin and its precursor tryptophan in perinatal low and normal weight piglets. *Animal* 2014;8:792-799.
34. Chen Y, McCauley SR, Johnson SE, Rhoads RP, El-Kadi SW. Downregulated translation initiation signaling predisposes low-birth-weight neonatal pigs to slower rates of muscle protein synthesis. *Front Physiol* 2017;8:482.

35. Ramsay TG, Stoll MJ, Shannon AE, Blomberg LA. Metabolomic analysis of longissimus from underperforming piglets relative to piglets with normal preweaning growth. *J Anim Sci Biotechnol* 2018;9:36.
36. Foxcroft GR, Dixon WT, Novak S, Putman CT, Town SC, Vinsky MDA. The biological basis for prenatal programming of postnatal performance in pigs. *J Anim Sci* 2014;84(E. Suppl.):E105-E112.
37. Oksbjerg N, Nissen PM, Therkildsen M, Møller HS, Larsen LB, Andersen M, *et al.* Meat science and muscle biology symposium: In utero nutrition related to fetal development, postnatal performance, and meat quality of pork. *J Anim Sci* 2013;91:1443-1453.
38. Rehfeldt C, Kuhn G. Consequences of birth weight for postnatal growth performance and carcass quality in pigs as related to myogenesis. *J Anim Sci* 2014;84(E. Suppl.):E113-E123.
39. Sève B. Élevage et sevrage des porcelets. In: Perez JM, Mornet P, Rérat A editors. *Élevage et sevrage des porcelets*. Paris: Maloine Editors; 1986:403-430.
40. Willemen SA, De Vos M, Huygelen V, Franssen E, Tambuyzer BR, Casteleyn C, *et al.* Ghrelin in the gastrointestinal tract and blood circulation of perinatal low and normal weight piglets. *Animal* 2013;7:1978-1984.