

NUEVOS AVANCES EN ALIMENTACIÓN Y NUTRICIÓN PORCINA: BASES CIENTÍFICAS Y ALIMENTACIÓN PRÁCTICA EN LA PENÍNSULA IBÉRICA

Aitor Balfagón y Encarnación Jiménez-Moreno

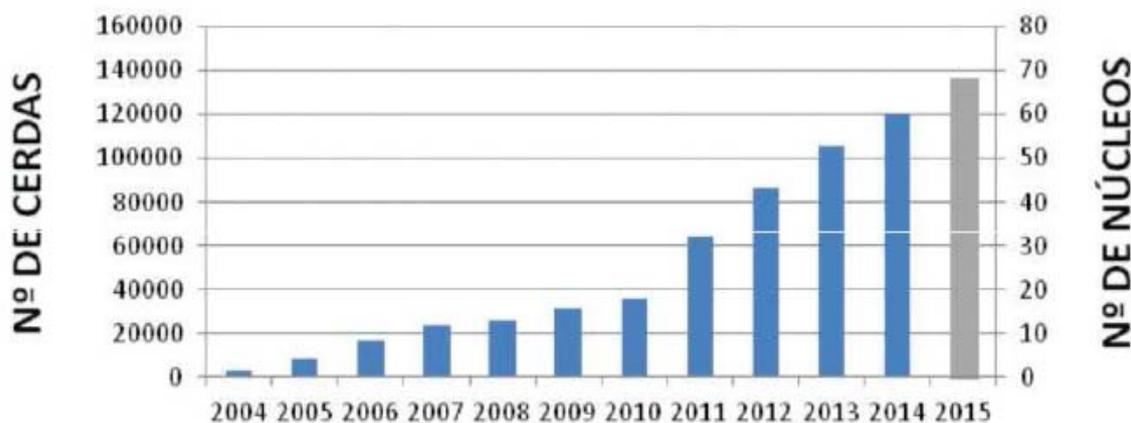
Nutral SCA, Cargill Animal Nutrition Iberia
Mequinenza, Zaragoza.

1.- INTRODUCCIÓN

El avance de la nutrición porcina en los últimos años en numerosas áreas ha sido notable, pero sería justo mencionar que quizás otras ramas de la zootecnia han evolucionado de manera más vertiginosa si cabe. Nos referimos fundamentalmente a los avances en Genética y en Sanidad Animal. La paridad que debe existir entre la nutrición y las otras dos áreas mencionadas es clave a la hora de maximizar el rendimiento productivo de cualquier explotación porcina. Esa diferencia de velocidad entre los avances de una y otras, cuyos motivos son sobradamente conocidos (duración de los ensayos, repetitividad de los mismos, presupuestos de investigación, etc.) ocasiona que estemos afrontando situaciones en el día a día de nuestras explotaciones directamente relacionadas con la misma. Pongamos dos ejemplos evidentes:

La proliferación de la cabaña de cerdas de líneas genéticas llamadas “hiperprolíficas” es un fenómeno mundial, sin excepción en la península ibérica (Figura 1). Ciertamente, la modificación de los programas de alimentación de estas cerdas ha tratado de adaptarse a las nuevas (crecientes) necesidades nutricionales en determinadas fases, y su implantación es un fenómeno apreciable especialmente en los últimos tres años en España, con especial hincapié en la mejora de las dietas de lactación. Ahora bien, la implementación de medidas de manejo y nutrición específicas para los lechones supra-numerarios provenientes de estas reproductoras está sufriendo una demora en el tiempo.

Figura 1.- Evolución del censo en España de una de las genéticas calificadas como hiperprolíficas (Danbred International España)



El segundo ejemplo tiene que ver con el estado sanitario de la cabaña porcina española y más en concreto con su salud intestinal. Si observamos las tendencias en investigación sobre Nutrición Humana, veremos que una corriente importante se centra en salud intestinal. Salvando las diferencias y teniendo en cuenta que en producción animal no solo debemos preservar la integridad de la mucosa y el equilibrio de la flora, sino también mantener el rendimiento productivo, podemos extraer una valiosa información, también aplicable en porcino. Trataremos de aportar luz a este asunto hablando de ingredientes funcionales, de nutrientes íntimamente relacionados con la salud intestinal, y de la interacción entre nutrición y capacidad de ingesta, en los apartados 3.1, 3.2 y 3.3, respectivamente.

Adicionalmente, aunque lo mencionado anteriormente puede ser común a otras latitudes europeas o a Norteamérica, existen factores claramente diferenciales. Por un lado, con respecto a la mayoría de los países europeos, el tamaño de explotación español es muy superior; a diferencia de granjas centroeuropeas más pequeñas y en muchos casos de titularidad familiar, la granja media española puede tener unas medidas de atención al parto menos personalizadas. Esto condicionará la dispersión de pesos de la camada que, de no tomar medidas, se ampliará al llegar al destete y al matadero. Por otro lado, la posibilidad legal de utilizar ciertas proteínas de origen animal y determinados aditivos y promotores de crecimiento en Estados Unidos, así como su precio más asequible, constituyen otro factor diferencial con respecto a España. Este segundo factor diferencial no tiene tanta repercusión en la heterogeneidad sino en los problemas que podemos encontrarnos en la última parte de la transición y comienzo del cebo, especialmente cuando trabajamos con densidades nutricionales medio-altas, como veremos en el apartado 3.

2.- NUTRICIÓN Y MANEJO DE LA PROGENIE DE CERDAS HIPERPROLÍFICAS. CÓMO GESTIONAR LA HETEROGENEIDAD

2.1.- Intervenciones en la cerda reproductora

Una correcta condición corporal de la cerda durante toda su vida productiva, además de garantizarnos una mayor longevidad y rentabilidad, nos da lugar a lechones nacidos más viables, con un peso medio más elevado, más homogéneo y con mayor vitalidad. Y para ello, la alimentación de la cerda a lo largo de toda su vida productiva, modelizando cada fase de producción, nos va a influir de forma directa en dicha calidad de los lechones al nacimiento.

En los primeros tres meses de gestación, un bajo consumo de energía está asociado con una menor nivel de reservas grasas al momento del parto o al deteste, un retraso en la salida del celo y baja tasa de fertilidad (Dourmad et al., 1994). Por el contrario, un sobreconsumo de energía y/o proteína es contraproducente para un buen desencadenamiento del parto y una adecuada viabilidad de los lechones en el momento del nacimiento, lo que suele ir asociado a una mayor tasa de mortinatos y muertos en lactación dentro de los primeros cinco días de vida. Hoving et al. (2011) evaluaron el efecto del nivel de alimentación y de proteína dietética (AID lisina, 0,47 vs. 0,6%) en el primer y segundo parto de las cerdas durante el primer mes de gestación sobre la ganancia de peso de la cerda, tasa de fertilidad y tamaño de la camada (Cuadro 1).

Cuadro 1.- Efecto del nivel de alimentación y de proteína de la dieta durante el primer mes de gestación sobre la ganancia de peso de la cerda, tasa de fertilidad y tamaño de la camada (Hoving et al., 2011)

	Control ¹	30% extra alimento ²	30% extra proteína ³	Prob.
Tasa de fertilidad, %	89,9 (44/49)	76,6 (36/47)	89,8 (44/49)	0,149
Total de lechones nacidos	13,2 ^b	15,2 ^a	13,6 ^b	0,006
Lechones nacidos vivos	12,6 ^b	14,4 ^a	13,2 ^{ab}	0,008
Peso al nacimiento, kg/ lechón	1,45	1,42	1,46	0,650
CV del peso al nacimiento, %	16,9 ^b	20,7 ^a	19,9 ^{ab}	0,009
Mortalidad de 1 a 3 d, %	8,7	10,3	8,4	0,625

^{a-b} Medias dentro de una fila con un misma letra no son diferentes (P<0,05).

¹Control (2,5 kg/d; n = 29)

²30% extra alimento (3,25 kg/d; n = 47)

³30% extra proteína (2,5 kg/d + 30% aminoácidos digestibles; n = 49).

Los resultados de este estudio indicaron que un 30% extra de consumo de alimento (3,25 vs. 2,5 kg/d) desde el día 3 al día 32 después de la inseminación en cerdas de primer y segundo parto (durante la segunda y tercera gestación, respectivamente) mejoró la ganancia

de peso de la cerda durante la primera fase de la maternidad y aumentó el tamaño de la camada con dos lechones más. Asimismo, el sobreconsumo de alimento redujo la tasa de fertilidad y aumentó la heterogeneidad del peso de la camada (de 16,9 a 20,7%) pero no afectó el peso al nacimiento. Estos autores indicaron que la sobrealimentación de proteína no afectó a la ganancia de peso ni los parámetros reproductivos de la cerda. Un exceso de consumo energético durante la gestación determina una mayor deposición de tejido graso y peor desarrollo de tejido mamario con una reducción en su producción lechera.

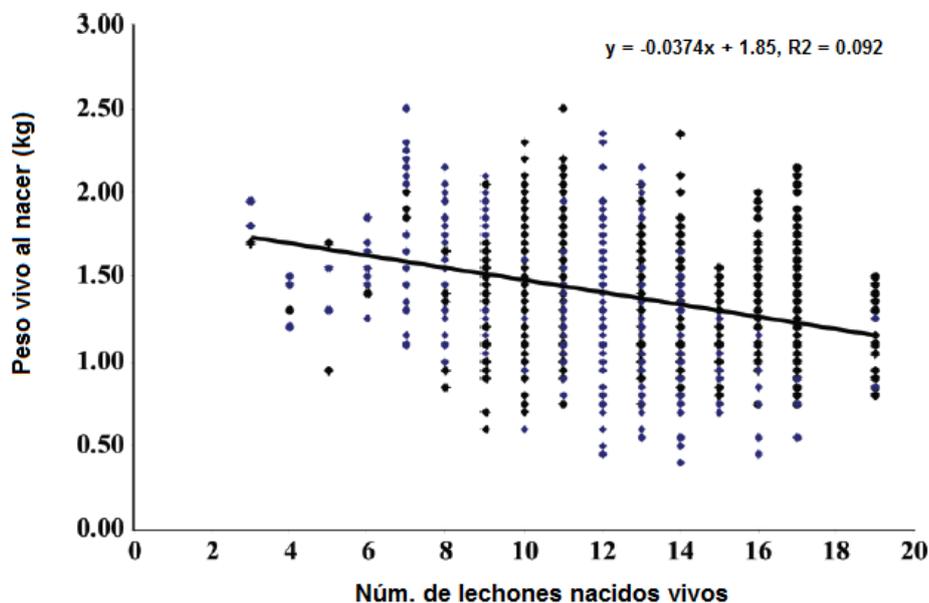
Las genéticas actuales han sido seleccionadas por una mayor prolificidad, lo que incrementa el número de fetos presentes en un útero, del mismo tamaño básicamente; el menor espacio relativo asignado a cada feto reduce las posibilidades de una alimentación a plenitud durante la gestación, repercutiendo sobre la ganancia de peso durante esta etapa (Canario et al., 2010); cuando el tamaño de la camada aumenta, el flujo de sangre en el útero se incrementa en menor medida que el número de fetos, dando lugar a un reducido flujo sanguíneo uterino y, por lo tanto, a una reducción del suministro de nutrientes para el mismo. Hay evidencia que el hacinamiento intrauterino está vinculado a un retraso del crecimiento de los fetos (Bérard et. al., 2010). El síndrome conocido como IUGR (Intra-Uterine Growth Restriction, siglas en inglés de Crecimiento Intra-Uterino Retardado o restringido) es pues uno de los principales factores a evitar en la fase de gestación. Rekiel et al. (2014) describen como el crecimiento y desarrollo de los embriones y fetos, o sus órganos muestran una relación con la creciente fertilidad y prolificidad de las cerdas. Dichos autores afirman en su revisión que la malnutrición intra-uterina puede limitarse mediante elementos nutricionales en la gestación, y que esto tiene un efecto en la miogénesis, resultando en a) un mejor desarrollo de las fibras musculares esqueléticas, y b) en un mayor peso al nacimiento y crecimiento posterior. En conclusión, si queremos aumentar el peso del lechón al nacimiento y reducir la variación intra-camada, debemos dirigir nuestros esfuerzos a mantener un entorno favorable útero – placenta – embrión.

Existe poco efecto del nivel nutricional de la madre sobre el peso del lechón al nacer, esto es, una vez que la camada está establecida en el útero (Borbolla, 2005; Canario et al., 2010). La mayor parte de los nutrientes ingeridos en la dieta o de los provenientes de las reservas corporales son utilizados para mantener el crecimiento logarítmico al final de la gestación; cabe mencionar que una sobrealimentación materna podría incrementar las reservas tanto de grasa y de glucógeno en el lechón recién nacido y el efecto positivo de esto es reducido en comparación con los problemas de parto y durante la lactancia que se tendrían en una cerda sobrealimentada (Borbolla, 2005).

El crecimiento del lechón debe considerarse desde la concepción hasta la madurez o el sacrificio, según sea el caso. En el día 70 post-concepción, los fetos pesan entre 150-200 g. La mayor parte del crecimiento fetal ocurre en los últimos 30 días de gestación, doblando su peso en los últimos 15 días ya que, justo antes del nacimiento, los lechones crecen 75 g al día (Kitchen y Pérez, 2003). También se ha encontrado, como se muestra en la figura 2, una relación entre la disminución en el peso al nacimiento y el aumento del tamaño de la camada de 8,4 a 15,4 lechones, traducándose en un decremento de la media

del peso al nacimiento de 300 g por camada o 43 g por cada lechón al nacimiento (Beaulieu et al., 2010).

Figura 2.- Relación entre el número de lechones nacidos vivos por camada y el peso vivo del lechón al nacer (Beaulieu et al., 2010)



En cualquier caso, muchas de las intervenciones nutricionales relacionadas con la productividad de la cerda se mencionan en las ediciones de FEDNA de 2011 y 2012 por G. Santomá, por lo que nos centraremos en las estrategias en lechones.

2.2.- Intervenciones en la camada

Los lechones recién nacidos son especialmente sensibles a la malnutrición y a las condiciones ambientales desfavorables porque tienen escaso o nulo tejido adiposo y presentan poco pelo para mantener su temperatura. Además, requieren de una temperatura ambiente alta para evitar que sus reservas de glucógeno se agoten rápidamente antes de tomar el calostro. Un lechón con bajo peso al nacimiento tiene pocas probabilidades de alcanzar las mamas, especialmente en camadas numerosas, y comenzar la lactación y así elevar su glucemia. Es por ello, que los lechones más débiles y de bajo peso suelen presentar mayor mortalidad neonatal si no son correctamente amamantados desde el principio de la lactación por su madre o por una nodriza, o bien son complementados adecuadamente.

El calostro es el alimento primordial en el recién nacido dentro de sus primeras horas de vida para su salud, desarrollo y supervivencia. El calostro es una fuente de energía que es requerida para prevenir la hipoglucemia y la hipotermia en lechones, y contiene además factores de crecimiento naturales que ayudan en el desarrollo normal de los órganos vitales y del tracto intestinal aún inmaduro. Además, contiene anticuerpos

(inmunoglobulinas) que garantiza la inmunidad pasiva al lechón ya que estos nacen sin apenas defensas. La capacidad de absorción por parte del neonato de estos anticuerpos es máxima entre las 4 y 12 horas post-parto y después disminuye, siendo nula a las 48 horas. Es necesario un mínimo de 200 g de calostro (Devillers et al., 2004, 2011) para mantener la temperatura corporal por encima de la termoneutralidad (entre 30-35°C) y asegurar la supervivencia del lechón recién nacido. Ferrari et al. (2014) evaluaron los efectos del consumo de calostro sobre la mortalidad y crecimiento de los lechones desde el nacimiento hasta 42 días de edad. Estos autores observaron que la inanición fue la principal causa de mortalidad en lechones pequeños (< 1,2 kg peso al nacimiento) siendo esta mayor en lechones pequeños que en medianos (1,2-1,3 kg) o grandes (> 1,3 kg) (figura 3a). Asimismo, los autores indicaron que la cantidad de calostro requerida para asegurar la supervivencia del lechón puede variar en función del peso vivo al nacimiento (figura 3b) de tal forma que la mortalidad de los lechones grandes no estuvo asociada con el consumo de calostro mientras que la probabilidad de muerte fue substancialmente reducida en lechones medianos y pequeños cuando el consumo de calostro fue de 200 y 250 g, respectivamente (figura 3c). Los lechones más pequeños pueden tener una tasa de IgG aceptable, pero no haber ingerido una cantidad de calostro suficiente que les garantice un reabastecimiento de sus recursos energéticos.

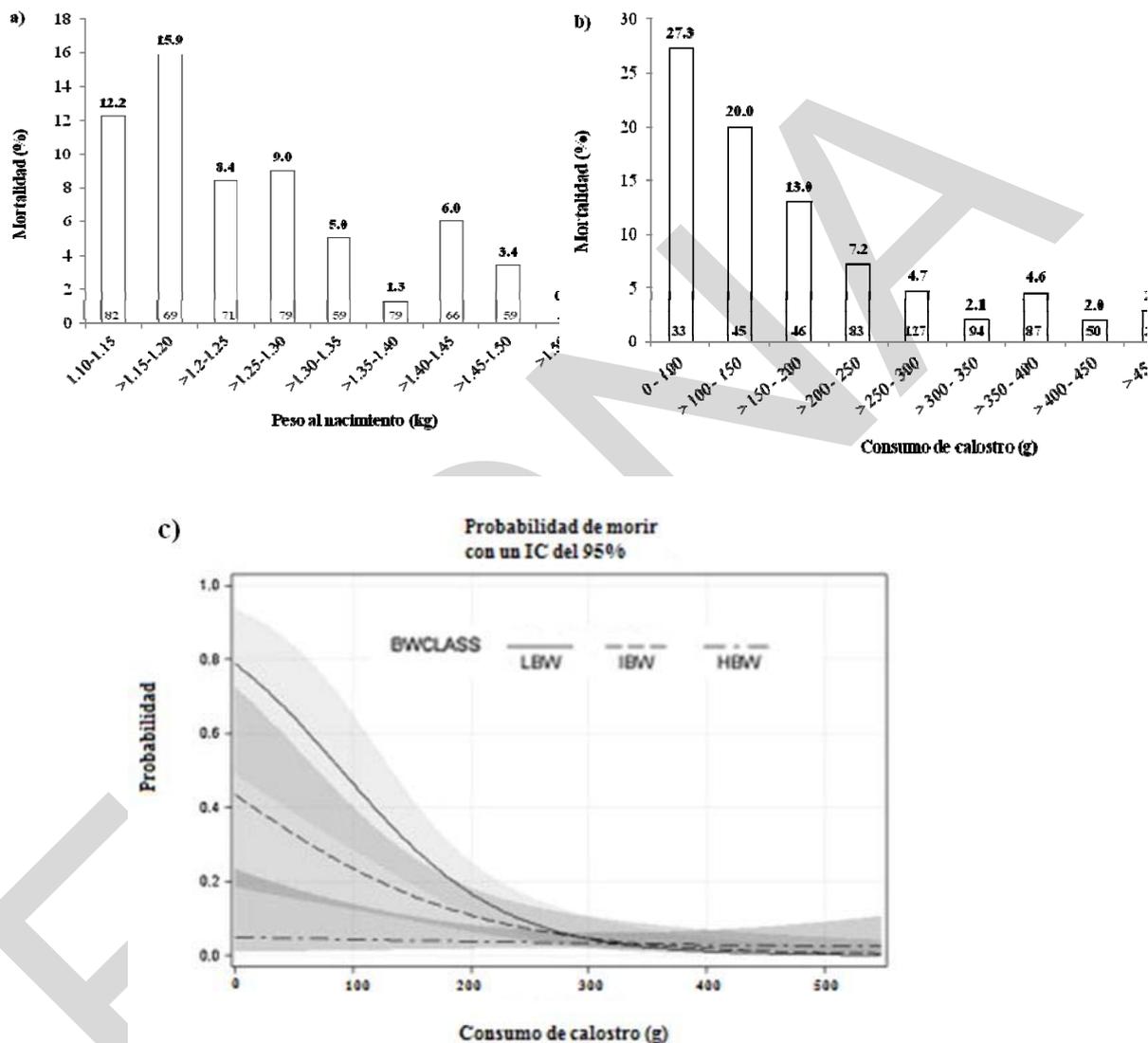
Una opción para mejorar el consumo temprano de energía y evitar así esa inanición, la constituye la suplementación de triglicéridos de cadena media *vía* oral en neonatos pequeños durante los primeros tres días de vida (Heo et al., 2002; Casellas et al., 2005). Estos ácidos grasos son fácilmente digestibles, incluso por un aparato digestivo inmaduro, y no pueden almacenarse en las reservas corporales, por lo que deben utilizarse como fuentes de energía. Por tanto, los triglicéridos de cadena media constituyen una fuente energética ideal para animales con problemas de hipotermia.

Por otro lado, los lacto-reemplazantes (leche artificial) y los piensos de arranque pueden ser una buena alternativa durante el periodo nacimiento-destete para mejorar la supervivencia del lechón y reducir la heterogeneidad de la camada. Una de las claves está, no obstante, en conseguir buenos consumos pre-destete. Estudios como Bruininx et al. (2002), demostraron que el consumo de las dietas pre-destete puede ser de 377 g (\pm 200 g) por lechón desde el día 11 al día 28. Sin embargo, el principal propósito de usar la dieta pre-destete, aparte de suministrar una cantidad extra de nutrientes, es adaptar el tracto gastrointestinal a alimento sólido y promover el desarrollo de enzimas necesarias que mejoren la digestión de las dietas post-destete.

2.2.1.- Alimentación sólida - “Creep Feeding”

Aunque uno de los principales factores que afecta a diversos índices productivos tanto en lactación como en transición y cebo es el peso al destete, como puede verse en el estudio de Rekiel et al. (2014) (cuadro 2), otros factores como el uso de alimento sólido complementario pueden compensar las diferencias causadas por el peso al nacimiento, reduciendo la heterogeneidad.

Figura 3.- Mortalidad de lechones hasta 42 días de edad según a) intervalos de peso al nacimiento y b) consumo de calostro. El número de lechones es mostrado dentro de la columna c) Probabilidad de morir hasta 42 días de edad según el consumo de calostro y peso al nacimiento de los lechones. Son probabilidades en base a predicciones con un IC del 95%. LBW= lechones con peso al nacimiento de < 1,2 kg; IBW = lechones con peso al nacimiento entre 1,2 y 1,3 kg; HBW = lechones con peso al nacimiento > 1,3 kg. (Ferrari et al., 2014).



Diferentes trabajos nos hablan de los efectos positivos del “creep feeding” en la reducción de la heterogeneidad de la camada, tanto en destetes tempranos como a 4 semanas. Claramente, la reducción en la dispersión de pesos proviene de la mejora que manifiestan los lechones de bajo peso al nacimiento, no solo durante la fase de lactación sino también en su adaptación post-destete. Estudios recientes han confirmado que los lechones con menor peso al nacimiento (más numerosos en genéticas hiperprolíficas) acceden a las tetas posteriores, con menor consumo de leche materna y, consecuentemente, alcanzan un menor peso al destete (cuadro 3). Veamos en la figura 4 (Solá-Oriol, 2013a) como un mayor porcentaje de los lechones que mamaron en las tetas posteriores

consumieron “creep feed”, comparado con lechones que mamaron en la parte anterior o media de la cerda, y cómo esto propició que la diferencia de peso entre los lechones de bajo peso al nacimiento y los de más peso se redujese, especialmente al final de la transición.

Cuadro 2.- Efecto del peso al nacimiento sobre la ganancia de peso y conversión del alimento en lechones (según diferentes autores) (Rekiel et al., 2014)

Efecto del peso al nacimiento sobre:	Fuente
Ganancia diaria hasta el destete, el día 28 (o día 21*)	Bee (2004) - $P \leq 0,05$ Bérard et al. (2008, 2010) - NS Beaulieu et al. (2010) - $P \leq 0,05$ Gondret et al. (2005, 2006) - $P \leq 0,05$ Lawlor et al. (2007) – NS Wolter et al. (2002) - $P \leq 0,01^*$
Ganancia diaria durante el engorde (o desde día 21 a 110 kg peso vivo)*	Bee (2004) – NS Bérard et al. (2008, 2010) - $P \leq 0,05$ Beaulieu et al. (2010) - $P \leq 0,05$ Gondret et al. (2005, 2006) - $P \leq 0,05$ Wolter et al. (2002) - $P \leq 0,01^*$
Edad al peso de sacrificio	Bérard et al. (2008, 2010) - $P \leq 0,05$ Beaulieu et al. (2010) - $P \leq 0,05$ Gondret et al. (2005, 2006) - $P \leq 0,05$ Wolter et al. (2002) - $P \leq 0,01$
Conversión del alimento durante el engorde	Bee (2004) – NS Powell y Aberle (1980) - Exp. I - NS, Exp. II - $P \leq 0,05$
Conversión del alimento desde el destete al sacrificio	Bérard et al. (2008, 2010) - $P \leq 0,05$ Gondret et al. (2005, 2006) – NS
Peso vivo al destete sobre el día 28	Lawlor et al. (2007) - $P \leq 0,05$ Milligan et al. (2002) – NS Nissen et al. (2004) - $P \leq 0,01$
Peso vivo a 157 días de edad	Lawlor et al. (2007) - $P \leq 0,05$
Ganancia de peso desde 28 a 157 días de crecimiento	Lawlor et al. (2007) - $P \leq 0,05$
Ganancia de peso desde el destete a 28 días	Milligan et al. (2002) – NS Nissen et al. (2004) – NS
Ganancia de peso durante el engorde a 104 kg peso vivo	Nissen et al. (2004) - $P \leq 0,01$

Estudios coetáneos del mismo autor (Solá-Oriol, 2013b) se centraron en discernir si el principal factor desencadenante de un buen consumo inmediatamente después del destete era el peso al destete o bien el consumo de pienso ocurrido durante la lactancia (“creep

feeding”), incluso en lactaciones de 28 días (figura 5). En el estudio se demuestra que lechones con un menor peso al destete (grupo Q1 = 6,21 kg) tuvieron una ganancia media diaria similar a los lechones destetados con un mayor peso (grupo Q4 = 8,87 kg). El autor sugiere como posible explicación que los lechones de menor peso tienen una mejor adaptación al pienso de prestarter debido a que su consumo de “creep feed” durante la lactación fue superior, mientras que los lechones de mayor peso al destete consumieron más leche materna y tuvieron menor consumo de pienso previo, por lo que se manifiesta la necesidad de iniciar el consumo de pienso sólido antes del destete en lactaciones de 28 días. El mismo autor sugiere la conveniencia de estudiar otras estrategias de manejo en lactación que permitan el contacto de los lechones con otras fuentes de alimentación adicionales a la leche materna.

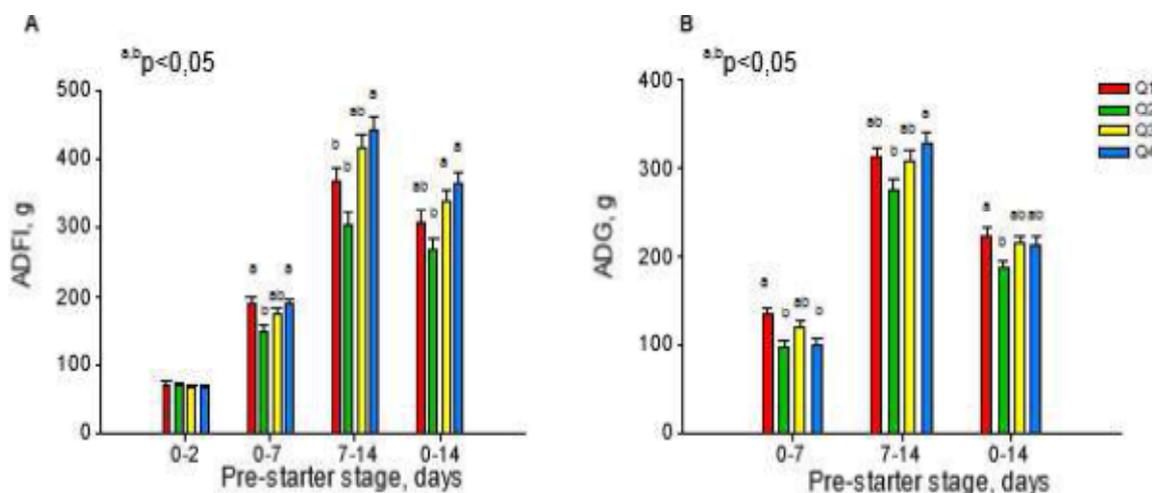
Cuadro 3.- Porcentaje de lechones identificados como consumidores de “creep feed” (ofrecido desde el día 10 de edad) a los días 18, 21 y 25 de edad, según la posición ocupada al mamar durante la lactación. (Solá-Oriol, 2013a)

Días edad	Posición ocupada al mamar		
	Anterior	Media	Posterior
18	7%	5%	12%
21	17%	13%	21%
25	41%	35%	42%

Figura 4.- Evolución del peso vivo de los lechones desde el nacimiento hasta el final del periodo pre-cebo (100 días de vida) según su posición de amamantamiento durante la lactación. (Solá-Oriol, 2013a)



Figura 5.- Evolución de A- Consumo Medio Diario (ADFI, siglas en inglés) y B- de la Ganancia Media Diaria (ADG, siglas en inglés) durante los 14 días siguientes al destete para los 4 grupos (Q1 a Q4, peso menor a mayor al destete). (Solá-Oriol, 2013b)



2.2.2 - Lactancia artificial

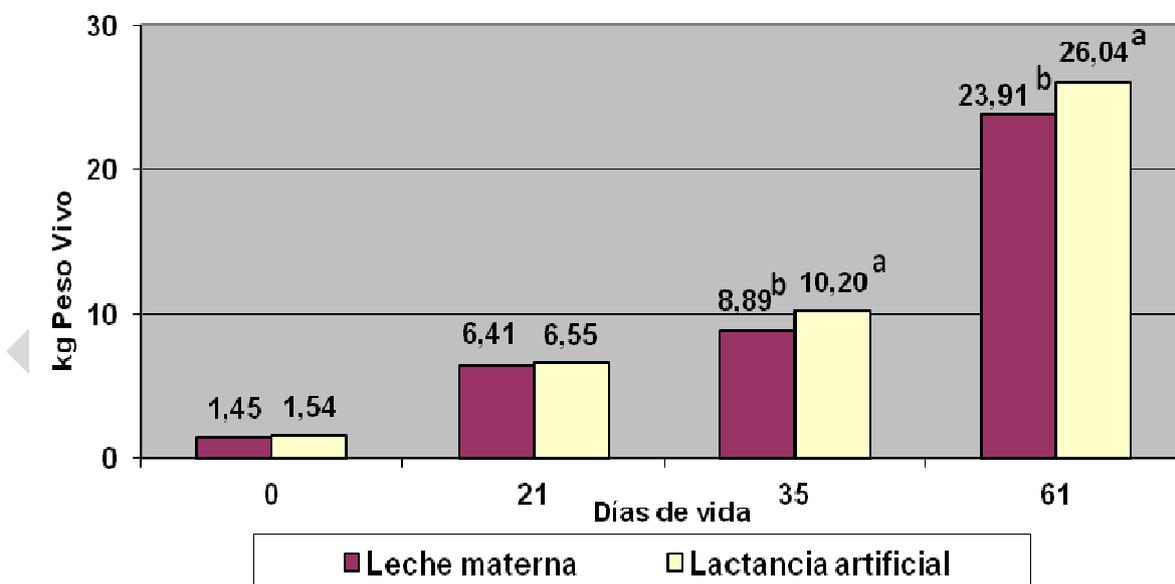
John Gadd (2013) publicó recientemente diferentes medidas que él consideraba “adelantadas a su tiempo” para mejorar la productividad de las cerdas, especialmente de las consideradas hiperprolíficas. Entre las numerosas medidas propuestas, habló de algunas tan manidas como la atención a los partos, o de otras más recientes como la separación de ciertos lechones y su alimentación mediante leche artificial y “creep feed”. Estas dos medidas no son excluyentes sino complementarias, y pueden ayudar no solo a reducir la dispersión de pesos de los lechones (como hemos comentado en el apartado anterior), sino también a alargar la vida productiva de las cerdas reproductoras (hasta 0,91 partos / cerda en toda su vida productiva).

Está claro que la capacidad lechera de las cerdas es y será un factor limitante. Existen en el mercado alternativas o complementos al calostro, basadas en altos niveles de grasa, lactosa, inmunoglobulinas (principalmente de origen bovino) y factores de crecimiento que pueden ayudar a reducir la mortalidad en los 3 primeros días de vida. Adicionalmente, el uso de un lacto-reemplazante para reconstitución en líquido a lechones mejora el crecimiento y el peso de la camada al destete (Azain et al., 1996; Wolter et al., 2002; Ebert et al., 2005). Es necesario, no obstante que las empresas se esfuercen por optimizar la formulación de los lacto-reemplazantes para lechones, ya que en muchos casos se usan productos con una formulación basada en leche de terneros, a pesar de que las diferencias en las necesidades son enormes. Esto no implica que la formulación de estas leches deba estar 100% basada en la composición de la leche de cerda si queremos maximizar el crecimiento. Por ejemplo, Auldist et al. (1997) demostraron que el crecimiento de lechones alimentados con leche artificial fue superior durante la fase de lactación al de sus congéneres alimentados con leche materna cuando el aporte de lisina por

unidad de energía fue un 50% superior al que se encuentra en la leche de la cerda. Asimismo, Oliver et al. (2005) entre otros autores, han encontrado mayores crecimientos al aportar una cantidad de aminoácidos con respecto a energía 50% superior a la encontrada habitualmente en la leche de la cerda.

Estudios de Cargill, 2010 (figura 6, datos no publicados) compararon lechones sanos y correctamente encalostrados, apartados de sus madres a los 3 días de edad provenientes de cerdas hiperprolíficas y alimentados con leche artificial y lactoiniciador sólido, con sus congéneres seleccionados para un mismo peso inicial ($P > 0,10$), que recibieron leche materna, y destetados ambos grupos a 21 días de vida. Ambos grupos consiguieron alcanzar un mismo peso al destete ($P > 0,10$), y tras ser alimentados con pienso común después del destete, los lechones alimentados inicialmente con leche artificial complementada con lactoiniciador consiguieron una ventaja de peso de 1,31 kg (10,20 vs. 8,89 kg, $P < 0,01$) al día 35 de edad y de 2,13 kg (26,04 vs. 23,91 kg, $P < 0,001$) a los 61 días de vida. Estos datos, entre otros, confirman que una de las principales virtudes de la lactancia artificial es la mejor adaptación de estos lechones a los piensos post-destete.

Figura 6.- Evolución del peso de lechones destetados mediante lactancia artificial en comparación con sus congéneres alimentados con leche materna, 150 lechones / tratamiento, destete a 21 días de vida, seguido de piensos comerciales iguales para ambos tratamientos (Cargill, Inc., 2010, datos no publicados)



Finalmente hay que destacar que esta lactancia artificial no solo puede jugar un papel importante en el periodo pre-destete, sino que debe usarse como estrategia para mejorar el desarrollo gastrointestinal en transición y prevenir desórdenes digestivos en fases posteriores. Existe un creciente interés en las funciones fisiológicas de ciertas sustancias bioactivas tales como factores de crecimiento, hormonales, nucleótidos y sus precursores, y su inclusión en leche y lactoiniciadores debe ser estudiada con detalle.

3.- ESTRATEGIAS NUTRICIONALES PARA PREVENIR LOS PROBLEMAS DIGESTIVOS EN LA ÚLTIMA PARTE DEL DESTETE Y COMIENZO DE ENGORDE

La menor digestibilidad de las dietas en la última parte de la transición, así como el menor uso de metafilaxis medicamentosa vía pienso, hacen que este periodo y el inicio del cebo se conviertan en ocasiones en grandes quebraderos de cabeza para los productores porcinos y los veterinarios del sector. Como bien dice el título de este apartado, las intervenciones vía nutrición deben centrarse en la prevención, comenzando en el destete y, a ser posible, en el nacimiento. Comentaremos tres líneas de actuación que pueden ayudar a prevenir estas situaciones: el uso de ingredientes funcionales, la formulación integral (incorporando nutrientes específicos para lechones), y la correcta ponderación de la capacidad de ingesta de nuestras genéticas.

3.1.- Ingredientes Funcionales

Según González-Ortiz et al. (2014), los mecanismos de acción mediante los cuales los ingredientes funcionales pueden mejorar la resistencia del animal a la enfermedad pueden ser varios: 1) Reduciendo la colonización de patógenos mediante la proliferación de bacterias beneficiosas y la modificación del patrón fermentativo (efecto prebiótico); 2) modulando de forma directa o indirecta la respuesta inmune (efecto inmunitario) o 3) Interfiriendo con algunos de los factores de virulencia bacterianos (inhibiendo virulencia). Dentro de este último mecanismo, una de las vías mejor descritas y más prometedoras es la interferencia de los mecanismos de comunicación bacteriana o “*quorum quenching*”, comentado, entre otros, por Nazzaro et al. (2013). Veamos algunos de estos ingredientes funcionales:

3.1.1.- Salvado de trigo

El salvado de trigo proviene de la molienda de las capas externas del trigo y se obtiene como subproducto de la industria de la molinería. Se estima que el salvado representa en torno a un 25% del peso de grano. El salvado de trigo es altamente palatable y de elevada disponibilidad en la península Ibérica. Se usa principalmente en dietas para cerdos cebo y cerdas gestantes por su alto contenido en fibra poco lignificada (38% FND y 3% LAD) y de alta capacidad de retención de agua. Su incorporación puede acelerar el tránsito digestivo y prevenir problemas de estreñimiento durante la fase periparto en la cerda.

El uso de fibra en dietas para lechones tras el destete es limitado ya que está asociado con una reducción de la utilización de nutrientes y de la energía neta. Sin embargo, Molist et al. (2009) indicaron que la inclusión de cantidades moderadas de salvado de trigo (entre un 4 a 8%) como una fuente de fibra insoluble en dietas, no afectó negativamente la digestibilidad de la materia orgánica y almidón, y mejoró el consumo de pienso y el crecimiento de los lechones durante los primeras dos semanas post-destete.

Estos autores asimismo observaron que la incorporación de salvado de trigo o en combinación con pulpa de remolacha redujo el recuento de enterobacterias en el ciego y estimuló la producción de ácido butírico en el colon (cuadro 4). El salvado en su paso por el tracto digestivo, retiene alta cantidad de agua e incrementa la velocidad de tránsito intestinal favoreciendo la producción de ácidos grasos volátiles y promoviendo la prevalencia de bacterias lácticas frente a colonización y crecimiento de *E. coli* en la mucosa intestinal (Hermes et al., 2011). En un estudio posterior, Molist et al. (2010) evaluaron los efectos de la molienda (grosera, 1088 µm vs. fina, 445 µm) del salvado de trigo sobre el ecosistema intestinal de lechones desafiados oralmente con *E. coli* enterotoxigénica. Estos autores observaron que la inclusión de un 4% de salvado de trigo, especialmente con una molienda grosera, redujo la adhesión de *E. coli* and *E. coli* K88 en el íleon y la incidencia de diarreas tras la infección. Estos resultados fueron confirmados más tarde por González-Ortiz et al. (2014) quienes demostraron en ensayos *in vitro* el efecto bloqueante y anti-adhesivo del salvado de trigo a la adhesión de *E. coli* K88 a la mucosa intestinal. La fracción soluble del salvado de trigo puede interactuar con la bacteria *E. coli* existente en el intestino delgado facilitando su excreción por heces y reduciendo el riesgo de adhesión, proliferación y translocación de *E. coli* en el íleon (Molist et al., 2011).

Cuadro 4.- Digestibilidad de los nutrientes y concentración de ácidos grasos volátiles y ácido láctico en el colon y población bacteriana en los ciegos en cerdos a 15 días post-destete (Molist et al., 2009)

	Fuente de fibra				EEM (n=4)	Prob.
	Control ¹	Salvado trigo ²	Pulpa remolacha ³	Salvado + pulpa ⁴		
Digestibilidad, %						
Materia orgánica	0,78 ^b	0,78 ^b	0,83 ^a	0,80 ^b	0,012	<0,01
Almidón	0,90	0,88	0,89	0,89	0,021	0,482
Ácidos grasos volátiles						
Ac. Fórmico	0,9	1,2	1,1	1,1	0,41	0,924
Ac. Acético	68,2	109,2	144,7	122,9	35,95	0,172
Ac. Propiónido	45,5	54,2	65,9	76,9	20,82	0,234
Ac. Butírico	11,7 ^b	35,9 ^a	12,2 ^b	31,3 ^a	10,83	0,027
Ac. Isoácidos	0,5	0,5	0,4	0,7	0,29	0,615
Ac. Succínico	7,1	0,2	0,5	0,2	7,73	0,547
Ac. Láctico	20,8	34,6	54,7	6,7	33,18	0,329
Conteo bacteriano ⁵						
Enterobacterias	11,1 ^x	10,0 ^{xy}	10,8 ^{xy}	8,3 ^y	1,14	<0,05
Lactobacilli	11,7	12,0	11,9	11,5	0,53	0,572

¹Contenido de total polisacáridos no amiláceos fue de 102 g/kg.

²8% g de salvado de trigo.

³6% de pulpa de remolacha.

⁴4% de salvado de trigo y 3% de pulpa de remolacha

⁵Determinado por PCR a tiempo real (log copias del gen rDNA 16S/g)

^{a-b}Medias dentro de una fila con un misma letra no son diferentes (P<0,05).

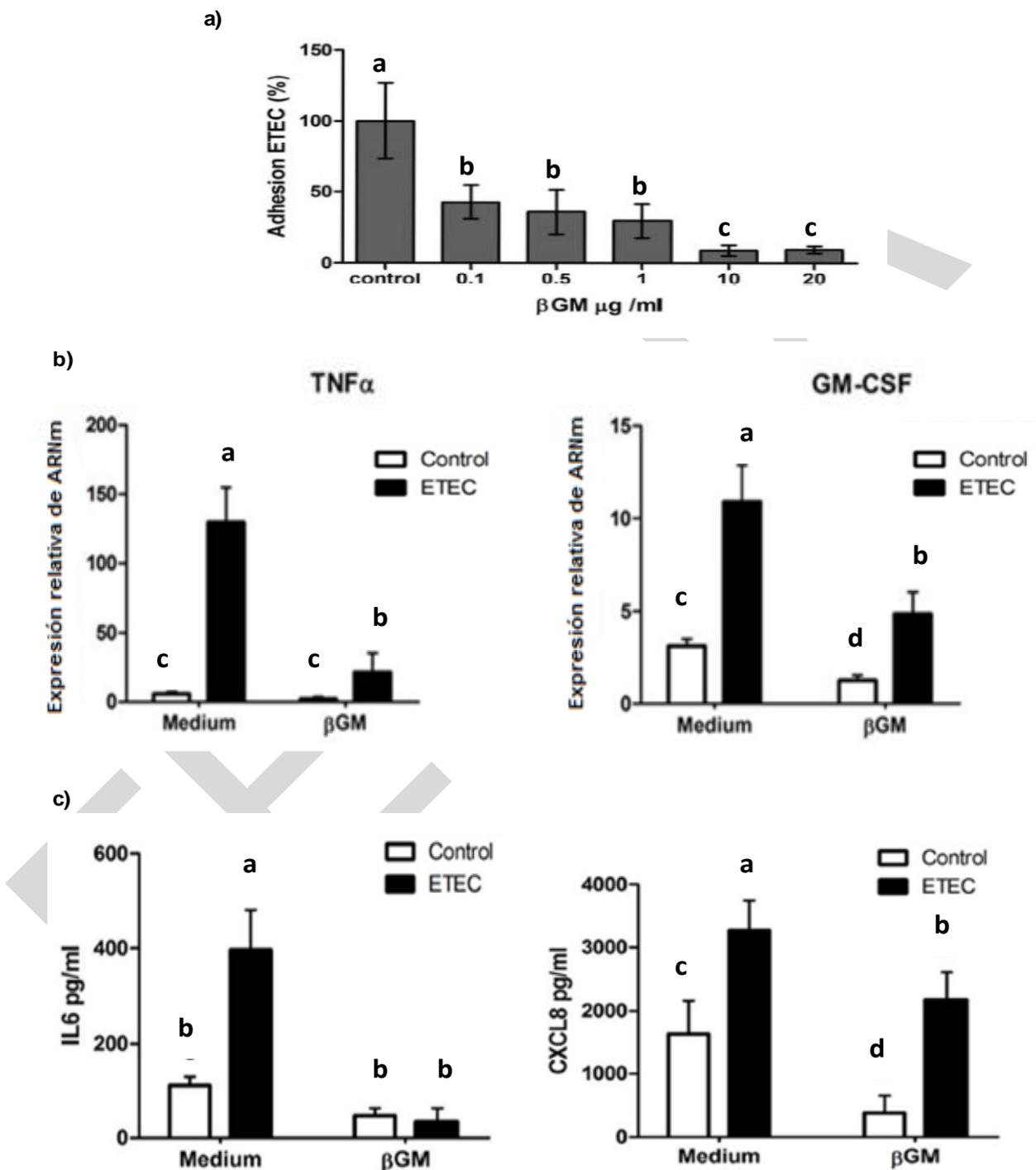
3.1.2.- Algarroba

La algarroba es el fruto del algarrobo (*Ceratonia siliqua L.*), una especie leñosa típica de la Cuenca Mediterránea. El algarrobo pertenece a la familia de las leguminosas. España es el primer productor mundial de algarroba con unas 60.000 toneladas anuales y su cultivo se encuentra localizado principalmente en la Comunidad Valenciana, Baleares y Cataluña.

La algarroba consiste en una vaina de color oscura de entre 10 y 15 cm de largo, con una pulpa de sabor dulce que rodea a las semillas. Las semillas, llamadas garrofin son ricas en galactomananos, y tras un proceso industrial se utilizan como un aditivo natural en alimentación humana para espesar, emulsificar, estabilizar o gelificar un alimento. La pulpa o garrofa contiene un alto contenido en fibra (celulosa, pectinas y lignina) y azúcares (fructosa, glucosa y sacarosa). La garrofa es un alimento energético que se emplea sobre todo en alimentación animal, en especial en conejos y rumiantes, bien directamente o como un componente de los piensos compuestos, aunque también es utilizada en alimentación humana como un alimento funcional. Su contenido en azúcares (45%) y el aroma dulzón le convierten en un ingrediente de alta palatabilidad, característica que lo hace bien aceptado como alimento para conejos y rumiantes de primera edad. Sin embargo, su utilización es limitada en monogástricos debido a su escaso aporte proteico (4.5% PB) y en aminoácidos. Además, parte de esta proteína es poco digestible debido a que está ligada a la fracción FAD. Por tanto, el uso de algarroba requiere adicionar complementos proteicos, en especial si se incluyen grandes cantidades en la ración. El contenido en almidones así como de minerales es bajo. A veces se comercializa, no sólo el garrofin y la pulpa por separado sino la harina del fruto completo (incluyendo el garrofin) que presenta contenidos más bajos de azúcares y de taninos, y más altos en proteína bruta que la pulpa.

La utilización de derivados de la algarroba despierta cierto interés en alimentación porcina debido a sus propiedades anti-inflamatorias y anti-diarreicas, y como moduladores del sistema inmune y del crecimiento microbiano patógeno. Por ejemplo, los galactomananos tienen la facultad de ejercer una acción favorable contra las inflamaciones de la mucosa intestinal bloqueando la adhesión de patógenos al epitelio (Hermes et al., 2011, Badia et al., 2012a; González-Ortiz et al., 2014), reduciendo la irritación y actuando contra las diarreas en cerdos. Estudios realizados *in vitro* han demostrado la capacidad anti-adhesiva de los β -galactomananos extraídos de la algarroba de forma muy específica ante *E. coli* K88 (Hermes et al., 2011, Badia et al., 2012a) y *Salmonella* (Badia et al., 2012b). Tal y como se muestra en la figura 7a, la adición de β -galactomananos redujo aproximadamente un 80% la adhesión de *E. coli* enterotoxigénica sobre la superficie epitelial de las células IPI-2I, como si de un agente profiláctico de las infecciones gastrointestinales se tratara (Badia et al., 2012a). Asimismo, en este mismo estudio se observó que los β -galactomananos inhibieron significativamente la expresión de ARNm del TNF- α y GM-CSF (figura 7b) así como la secreción de IL6 y CXCL8 de las células IPI-2I infectadas con *E. coli* indicando que los β -galactomananos son capaces de reducir la inflamación patogénica.

Figura 7.- Efecto de β -galactomananos extraídos de la semilla de la algarroba sobre a) la adherencia de *E. coli* enterotoxigénica K88, b) expresión de ARNm de citoquinas y quemoquinas y c) secreción de citoquinas y quemoquinas sobre un cultivo celular procedente de epitelio intestinal porcino (IPI-2I). ^{a,d}Medias con el misma letra no fueron estadísticamente diferentes ($P > 0.1$). (Badia et al., 2012a)



Guerra et al. (2013) evaluaron los efectos de la inclusión de 0.5% derivado de algarroba rico en galactomananos en la dieta en lechones desafiados experimentalmente con *E. coli* K88 enterotoxigénica tras el destete. Estos autores observaron que el derivado de la algarroba redujo el recuento de enterobacterias en heces y en colon y la incidencia de

diarreas y hubo un descenso específico de *E. coli* K88 en el colon. Estos cambios en la microbiota intestinal pudieron estar relacionados con una mayor producción de ácidos grasos de cadena corta y de láctico en el colon, con mejoras en la función de la barrera intestinal al aumentar el contenido de linfocitos intraepiteliales y de células caliciformes y con una modulación de la respuesta inflamatoria al reducirse la concentración plasmática de Pig-Map.

Otro componente importante de la algarroba con propiedades anti-inflamatorias y astringentes son los taninos, que se encuentran ligados a la lignina. En dietas con consumos elevados es necesario considerar su concentración de taninos ya que los niveles elevados pueden reducir la digestibilidad y la absorción de nutrientes, pudiendo llegar a comprometer el consumo de pienso y el crecimiento de los animales de ahí que el uso de la algarroba esté limitada en dietas para cerdos. Kotrotsios et al. (2010) evaluó el efecto de la inclusión de 7,5 a 12,5% de garrofa (pulpa) en dietas isocalóricas sobre la digestibilidad de los nutrientes en lechones y cerdos en crecimiento y engorde. Estos autores observaron que la digestibilidad de los nutrientes se redujo con niveles crecientes de garrofa en la dieta en todos los periodos estudiados. Los taninos de la algarroba son de tipo condensado, que durante el proceso de secado se hidrolizan, lo que va a mejorar significativamente su valor nutritivo. Los taninos son considerados potentes anti-oxidantes y anti-inflamatorios y tienen un poder bacteriostático y anti-diarreico que podría resultar de interés en dietas para lechones en los primeros días tras el destete (Biagia et al., 2010). Lizardo et al. (2002) reportaron que la inclusión de un 3 ó 6% de harina de algarroba micronizada en dietas para lechones alimentados de 0 a 21 días post-destete no afectó negativamente sobre la productividad. Estos autores además, observaron que la incidencia de diarrea post-destete tendió a reducirse entre un 20 y 33% en cerdos alimentados con un 3 y 6% de harina de algarroba, respectivamente. Resultados similares han sido observados en un estudio reciente conducido en la Universidad de Illinois por el profesor H.H. Stein (datos no publicados), quienes indicaron que la inclusión de un 5% de harina de algarroba podría utilizarse para reemplazar la lactosa en una dieta para lechones sin que afecte negativamente sobre la productividad durante los primeros 28 días post-destete.

3.2.- Nutrientes Específicos y Formulación Integral

3.2.1.- Energía Neta Lechones

La aplicación práctica de las ecuaciones de predicción de la Energía Neta (EN) requiere de una caracterización más precisa de la composición nutritiva y la digestibilidad de los ingredientes. Un aspecto importante a tener en cuenta es que cuando comparamos el sistema de energía digestible (ED) y de EN, el primero es independiente del animal a tratar, mientras que el segundo es dependiente del animal y requiere una comprensión en detalle de como un animal en un estado fisiológico determinado utiliza la energía de la dieta (Whittemore y Kyriazakis, 2006). Por tanto, es obvio que la eficiencia en la utilización de la energía metabolizable (EM), y posteriormente de la EN, varía según las necesidades de

mantenimiento, crecimiento y lactación, y la composición de la ganancia (ratio proteína / grasa) (Noblet y Henry, 1993).

El sistema de EN considera la cantidad de energía biodisponible que los cerdos utilizan a partir de los ingredientes de la dieta, especialmente de aquellos que contienen contenidos extremos de grasa, fibra y proteína (van Milgen et al., 2001; Noblet y van Milgen, 2004; de Lange y Birkett, 2005). Según estos autores, la EN representa la mejor estimación del contenido verdadero de la energía de la dieta, ya que el valor energético de ingredientes ricos en proteína y fibras están sobreestimadas en el sistema de ED (o EM). En cambio, los ingredientes ricos en grasa o almidón están subestimadas (Noblet y Henry, 1993). En base a lo comentado anteriormente y en relación a la estimación de la ED, el almidón y los lípidos tienen un efecto positivo sobre el valor de la EN mientras que la proteína y la fibra tienen un efecto negativo. Las primeras fracciones pueden ser más eficientes que las segundas.

Oresanya et al. (2005) indicaron que si el valor de EN de los ingredientes se estima desde las ecuaciones de predicción que hay disponibles, la precisión y la idoneidad de las ecuaciones en porcino (ej. transición vs. crecimiento) podrían no ser fiables. Por ejemplo, la ecuación de predicción de la EN según el sistema francés, es desarrollada en cerdos entre 45 y 120 kg peso vivo. La EN se define como la suma de la energía retenida (deposición de proteína y de grasa) y la EN de mantenimiento (la producción de calor durante el ayuno). La energía retenida incrementa con la deposición de grasa, lo que es considerablemente mayor en cerdos en engorde que en cerdos en transición, por tanto, la capacidad de estas ecuaciones para predecir con exactitud el valor de la EN de las dietas durante la transición es incierta.

En la estimación de la EN lechón se asume que los cerdos en transición usan más energía para deposición de magro que para la deposición de grasa. El cerdo en cebo y acabado se encuentra en una situación de balance energético positivo, lo que quiere decir que predomina la deposición de grasa en los tejidos sobre la movilización de la misma. La composición de la ganancia de los cerdos en transición es tomada en consideración para la predicción de la EN asignando una mayor eficiencia de la energía para la deposición de proteína frente a la de grasa (eficiencia marginal). Debido a este cambio en la eficiencia marginal, el valor energético para las fracciones de proteína y de grasa son ajustadas, dando lugar a nuevos valores de densidad energética para cerdos en transición. Por tanto, una vez conocidas las diferencias existentes en la composición de la ganancia entre un cerdo en transición y en cebo-acabado, el sistema de energía puede ser adaptado para mejorar las particiones de la energía y las predicciones sobre la productividad. En este sentido, una revisión de ensayos realizados en Cargill (datos no publicados) revela que dietas formuladas en base a EN lechón mejoraron en un 28% la predicción de la ganancia de peso en lechones durante transición comparadas con las mismas dietas valoradas con EN cerdos adultos.

3.2.2.- *Ratio de aminoácidos y nivel de proteína bruta*

La mayoría de los estudios relacionados con la proteína ideal han evaluado la proporción adecuada de lisina en relación a otros aminoácidos esenciales, pero no han determinado el ratio óptimo aminoácidos esenciales / no esenciales. La proporción de aminoácidos esenciales o indispensables en relación a aquellos no esenciales a un nivel de proteína bruta de la dieta dada es importante y viene determinado por el ratio lisina total / proteína bruta (Li et al., 2001). Desde un punto de vista biológico, el ratio lisina total / proteína bruta de las dietas proviene del nivel de lisina total en relación al porcentaje de proteína bruta en el músculo (Nemechek et al., 2011). Aunque se recomienda formular las dietas para lechones con un ratio lisina / proteína bruta de 6,8%, un valor por encima de este nivel puede ser usado debido a que el contenido de lisina liberado durante el catabolismo de la proteína del músculo es conservado y reciclado con una mayor eficiencia que la de otros aminoácidos (Nemechek et al., 2011). Ratliff citado por Nemechek et al. (2011) sugirió que el ratio lisina total / proteína bruta no debiera exceder el 7,1%.

Otro de los principales indicadores (indirectos) de la relación aminoácidos esenciales / no esenciales es el ratio isoleucina / lisina (expresados ambos como digestible ileal estandarizada). Un reciente estudio de Soumeh et al. (2014), afirma que el ratio óptimo de SID isoleucina / lisina para maximizar la ganancia media diaria y el consumo de pienso fue de 0,52, mientras que para optimizar el índice de conversión fue de 0,48. Esta diferencia, que puede parecer minúscula, condiciona el contenido en proteína bruta (y por ende, en proteína fermentable si se trabaja con fuentes proteicas menos digestibles) y, por lo tanto, la seguridad digestiva de la misma.

3.2.3.- *Proteína fermentable*

La degradación de las proteínas en el colon comienza con la hidrólisis de proteínas en péptidos más pequeños y aminoácidos por las proteasas y peptidasas bacterianas que son más activas en un pH neutro a alcalino. En el colon proximal, las bacterias utilizan los carbohidratos como principal fuente de energía para su propio metabolismo y proliferación. La digestión fermentativa de los carbohidratos da lugar a ácidos grasos volátiles de cadena corta y a una reducción del pH. Durante la progresión a partes más distales del colon, los carbohidratos fermentables se agotan, el pH se incrementa y la fermentación de proteínas se vuelve más eficiente. Los principales productos de la fermentación de las proteínas son NH_3 y productos nitrogenados potencialmente tóxicos como las aminas biogénicas (histamina), sulfuro de hidrógeno, ácido fenólico y compuestos indólicos (Visek, 1978), que en altas concentraciones pueden afectar a la integridad de la mucosa intestinal (Lallès et al., 2007), reduciendo la longitud de los villis y aumentando la excreción de nitrógeno en heces y orina (Eisemann y Nienaber, 1990). La presencia de proteína dietaria no digerida y de origen endógeno en la parte distal del tracto gastrointestinal promueve el crecimiento de bacterias patógenas y la secreción de agua y electrolitos que en altas concentraciones, el intestino no es capaz de absorber dando lugar a heces menos consistentes y empeoramiento de la productividad, especialmente en lechones tras el destete y cuando las condiciones no

son favorables (Wellock et al., 2008; Heo et al., 2014). La fermentación de la proteína en la parte distal del tracto gastrointestinal puede ser reducida limitando el consumo de proteína dietética poco digestible. En las figuras 8 y 9 se presentan datos de Heo et al. (2014) sobre el impacto del consumo de proteína dietética sobre los índices de fermentación de nitrógeno (producción de amoniaco y concentración de nitrógeno ureico en sangre), la consistencia de las heces y el índice de diarreas en lechones desafiados con *E. coli* enterotoxigénica K88⁺ durante 7 a 14 días post-destete.

Figura 8.- Relación lineal entre el consumo diario de proteína (g/día) tras la infección experimental de *Escherichia coli* (ETEC) y a) el contenido de amoniaco y b) la concentración de nitrógeno ureico en plasma. RSD = desviación estándar residual (Heo et al., 2014)

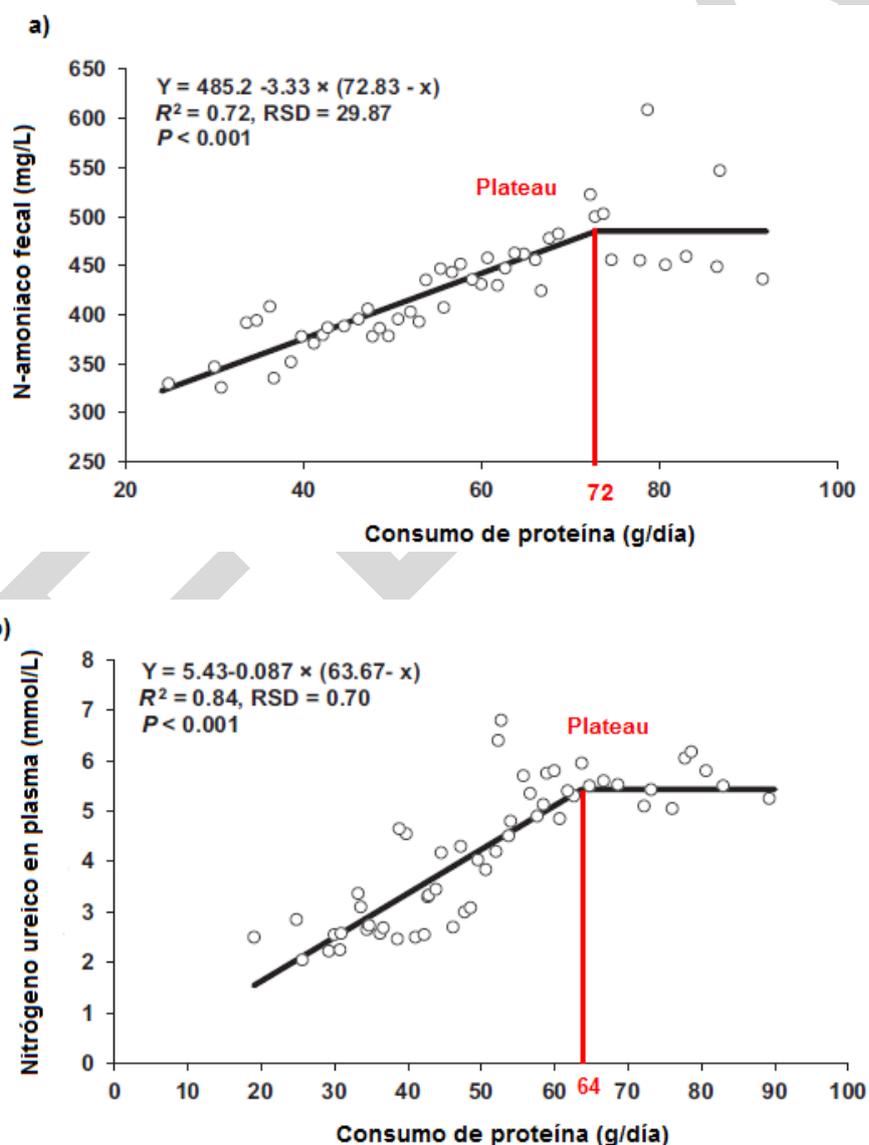
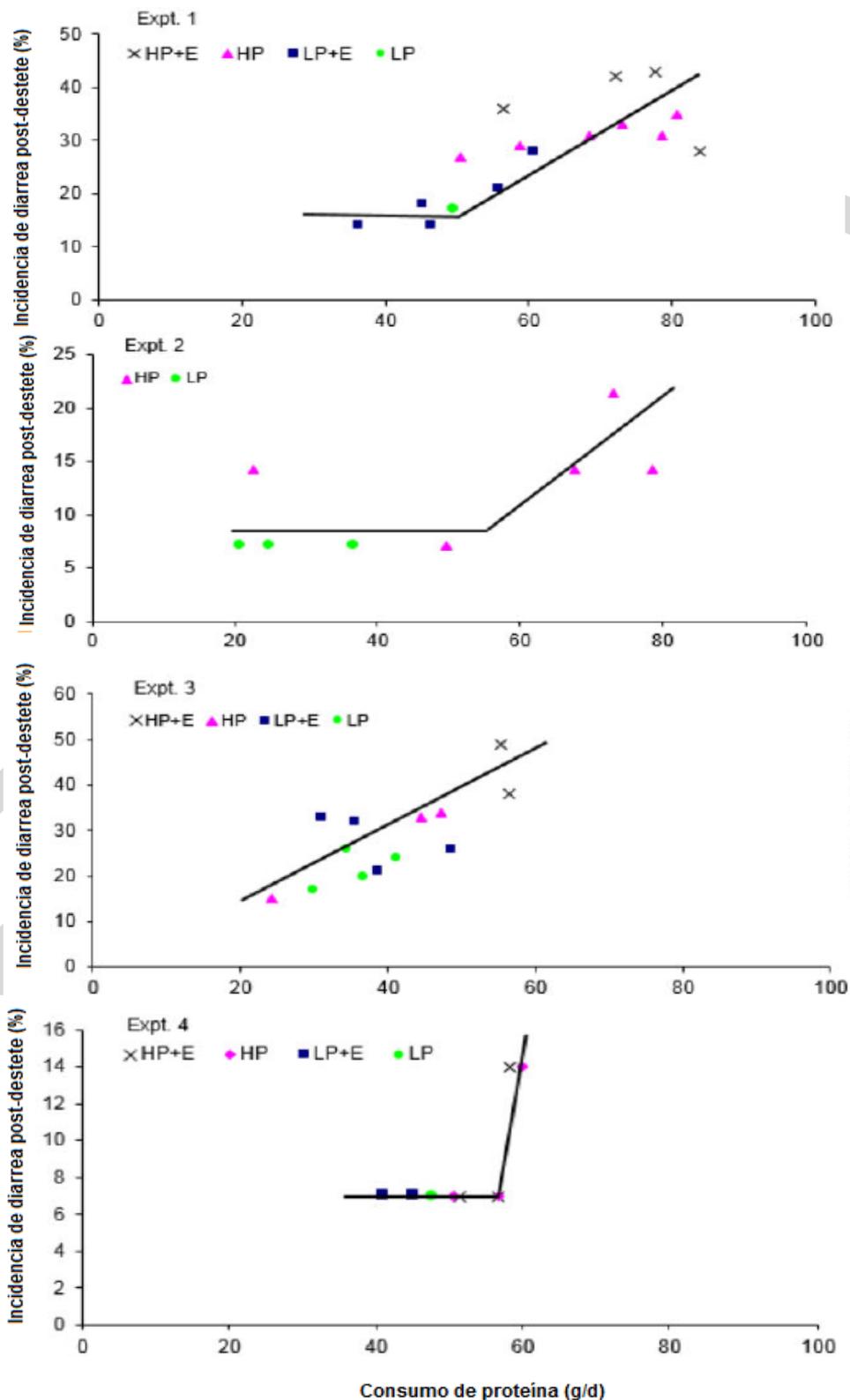


Figura 9.- Relación lineal entre el consumo diario de proteína (g/día) tras la infección experimental de *Escherichia coli* (ETEC) y la incidencia de diarrea de lechones durante los primeros 14 días post-destete en 4 experimentos [1, 2, 3 y 4 corresponden a Heo et al. (2010b), (2008), (2009) y (2010a), respectivamente]. HP = lechones alimentados con una dieta alto en proteína bruta, LP = lechones alimentados con una dieta baja en proteína bruta, HP + E = lechones alimentados con HP desafiados con ETEC, LP + E = lechones alimentados con LP desafiados con ETEC. (Heo et al., 2014)



Los resultados indicaron que la incidencia de diarreas es dependiente del consumo de proteína diaria. La restricción a un consumo de proteína diaria menor de 60 g en lechones que consumen una dieta baja en proteína durante 7 días tras el destete, reduce la incidencia de diarreas lo que pudo estar asociado con una reducción en la producción de amoniaco y la concentración de urea en plasma. El aporte de proteína dietaria altamente digestible reduce la presencia de sustrato disponible para la degradación colónica (Apajalahti et al., 2005). La ingestión de una dieta baja en proteína y balanceada con aminoácidos sintéticos podría reducir la formación de metabolitos microbianos tóxicos y la incidencia de diarreas, especialmente a edades tempranas tras el destete (Heo et al., 2008). Htoo et al. (2007) observaron que la productividad y la incidencia de diarreas no fueron afectadas cuando la proteína dietaria se redujo de un 24 a 20% manteniendo los mismos niveles de digestibilidad ileal estandarizada de los aminoácidos y de energía. Asimismo, estos autores observaron que el contenido de proteína dietaria no afectó al pH de la digesta y a la concentración de NH₃ y de aminos en el contenido ileal de los cerdos.

Se hace por tanto imprescindible reducir el contenido de proteína fermentable en el tracto gastrointestinal y formular en base a la cantidad de proteína fermentable en la dieta, especialmente cuando se incurra en problemas entéricos durante la transición.

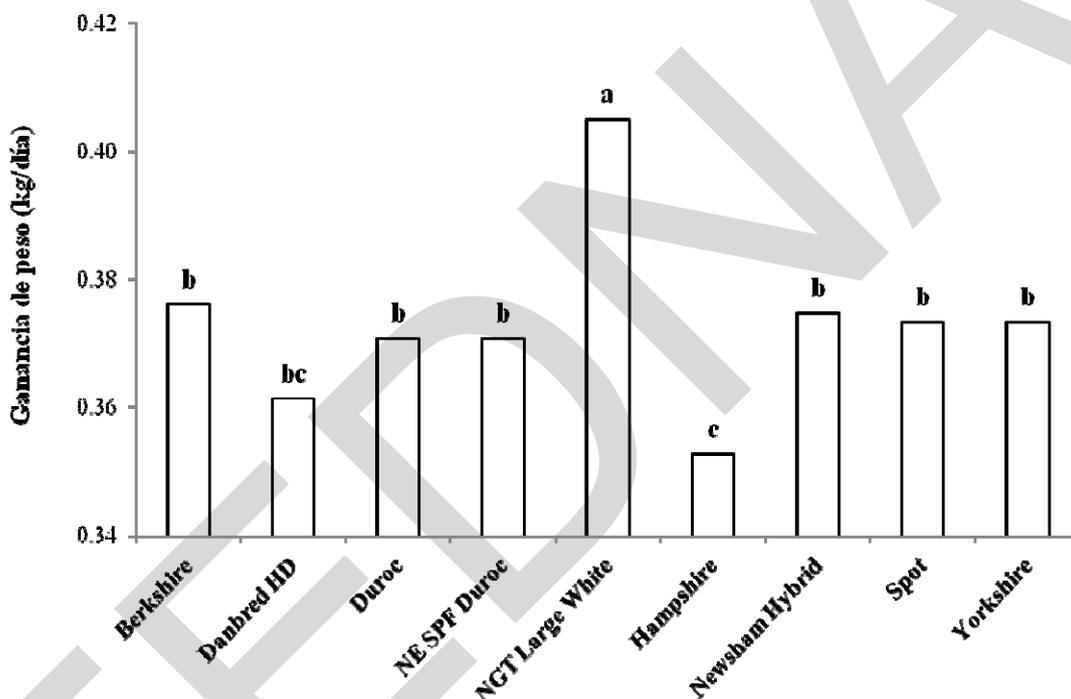
3.3.- Capacidad de Ingesta y Genética. Interacción con la nutrición

El crecimiento de los cerdos está condicionado, entre otros factores, por la genética y la nutrición. La selección genética efectuada en porcino en las últimas décadas ha resultado en cerdos con una mejor eficacia en la conversión del pienso y canales más magras, pero también ha provocado cerdos con menor capacidad de ingesta relativa. Ello, en parte, es debido a la disminución de su capacidad intestinal y a la variación en los niveles de las hormonas relacionadas con la saciedad, como la CCK-8 (colescistoquinina) o la leptina.

Es bien conocido que los niveles y patrones de consumo de alimento difieren entre cerdos de diferentes razas puras y entre líneas genéticas durante sus fases de producción. Numerosos estudios han demostrado que ciertas genéticas como el Duroc, tienen mayor capacidad de consumo. En general, los cerdos jóvenes de genotipos no mejorados con un bajo potencial de crecimiento de magro consumen más y son menos eficientes que los cerdos mejorados. Entre los genotipos mejorados, las diferencias en el crecimiento temprano son pequeñas y difíciles de detectar en condiciones comerciales. Este hecho fue demostrado en un estudio realizado en Estados Unidos por el National Pork Producers Council (Asociación Nacional de Productores de Porcino), en el que varios genotipos comerciales de cerdos fueron evaluados bajo condiciones comparables (NPPC, 1995). Aunque hubo una diferencia del 15% entre los dos genotipos más extremos (NGT Large White vs. Hampshire), todos los demás mostraron un rendimiento comparable en el periodo entre 5 y 20 kg de peso vivo (figura 10). Sin embargo, cerdos entre 29 a 113 kg de peso vivo, la diferencia en consumo de alimento entre líneas genéticas fue del 6% con respecto a la media (cuadro 5). En este estudio, razas como Berkshire, Duroc y Spot tuvieron

consumos de pienso más altos mientras que las líneas procedentes de Europa (Newsham Hybrid y Danbred HD) tuvieron consumos más bajos. En cuanto a la raza Pietrain, el consumo en general es menor y crecen más lentamente que el Duroc o Landrace White mientras que su contenido en magro es mayor (Affentranger et al., 1996). Es en ese espacio entre los 15 y los 30 kg de peso, cuando ya se empiezan a apreciar en campo diferencias notables de consumo entre diferentes líneas y quizás no hemos sabido adaptar suficientemente las dietas a las distintas realidades.

Figura 10.- Crecimiento de lechones de diferentes líneas genéticas en el periodo de crecimiento comprendido entre 5 a 20 kg de peso vivo (NPPC, 1995). Medias con el misma letra no fueron estadísticamente diferentes ($P > 0,1$)



Cuadro 5.- Parámetros productivos entre diferentes razas y líneas genéticas de cerdos en el periodo de crecimiento de 29 a 113 kg de peso vivo (NPPC, 1995)

Raza o línea genética	Consumo de pienso (g/día)	Ganancia de peso (g/día)	Índice de conversión	Tasa de crecimiento magro (g/día)
Berkshire	2.66 ^{ef}	840 ^c	3.07 ^e	286 ^e
Danbred HD	2.47 ^c	831 ^e	2.88 ^{cd}	327 ^c
Duroc	2.61 ^e	885 ^c	2.91 ^d	318 ^{cd}
Hampshire	2.57 ^{de}	849 ^{cd}	2.92 ^d	322 ^c
NGT Large White	2.53 ^{cd}	849 ^{de}	2.94 ^d	295 ^e
NE SPF Duroc	2.62 ^e	894 ^c	2.89 ^{cd}	331 ^c
Newsham Hybrid	2.51 ^{cd}	863 ^{cd}	2.83 ^c	331 ^c
Spot	2.68 ^f	835 ^e	3.14 ^f	285 ^e
Yorkshire	2.53 ^d	835 ^e	2.93 ^d	309 ^d

^{a,c} Medias dentro de una columna con un misma letra son diferentes ($P < 0.05$).

El consumo de pienso no sólo varía entre razas puras o líneas genéticas sino también dentro de una misma línea genética que ha sido mejorada. El consumo voluntario de pienso está genéticamente relacionado con importantes indicadores económicos del crecimiento y el espesor de la grasa dorsal pero estas relaciones no son perfectas. Las correlaciones genéticas entre el consumo de pienso y el crecimiento se estima en un 0.65 y el espesor de la grasa dorsal, en un 0,37 (Clutter y Bascamp, 1998). La variabilidad del consumo de pienso que es independiente del crecimiento y de la composición corporal se identifica como el consumo residual del pienso (CRP) y ha sido sugerido como una medida alternativa a seleccionar para mejorar la conversión alimenticia. El CPR se define como la diferencia entre el consumo observado y el esperado en base a los requerimientos de mantenimiento y producción (Koch et al., 1963; Boddicker et al., 2011). Las variaciones en CPR reflejan las diferencias en eficiencia con que los animales usan el alimento para la producción y el mantenimiento del peso vivo así como los errores en la predicción. Además, este parámetro tiene una heredabilidad moderada (0.29) y responde bien a la selección (Hoque and Suzuki, 2009). La selección para reducir el CPR da lugar a cerdos que coman menos y más despacio, crezcan menos, sean más magros y tengan necesidades de mantenimiento inferiores. Estudios realizados en Iowa State University (USA) o en INRA (Francia), indican que cuanto peor es el CPR, los cerdos son más eficientes. Aumentar el CPR en las líneas maternas y una moderada disminución en las líneas paternas es lo deseable.

En la variación genética del CRP intervienen varios factores como el comportamiento del animal durante el consumo de pienso (número de visitas al día al comedero, tiempo empleado en cada comida, tasa de ingestión), la digestibilidad de los nutrientes, la actividad física, composición corporal y las necesidades energéticas para mantenimiento entre otros. Estudios realizados en líneas de cerdos mejorados para CPR (de Haer et al., 1993, Barea et al., 2010) indicaron que las necesidades de energía de mantenimiento juegan un papel mucho más importante sobre la variación genética del CPR que la capacidad de digerir los nutrientes. A este respecto, Barea et al. (2010) estudiaron las relaciones existentes entre el CPR y la digestibilidad de los nutrientes y las necesidades energéticas de mantenimiento en cerdos de dos líneas divergentes de Large White que fueron seleccionadas para alto y bajo CPR. Cuando el consumo de pienso aumenta, la cantidad de energía requerida para digerir el mismo sube, y en parte es debido a un aumento en el tamaño de los órganos digestivos así como a la producción de calor que se libera dentro de los tejidos. Cerdo con un CPR inferior para una misma productividad tuvieron una menor producción de calor endógeno (-6%) probablemente debido en gran medida a una mayor actividad metabólica y mayor actividad física. Además, cerdos mejorados para un bajo CPR tienen una mejor eficiencia energética en la funciones de la mitocondria en el músculo (Grubbs et al., 2013).

El consumo voluntario de pienso está condicionado no solo por la genética sino por las características del pienso y la fase productiva de los animales. En la mayoría de las ocasiones, la densidad energética es el primer determinante del consumo de pienso (NRC, 1998) pero otros nutrientes como los aminoácidos pueden así mismo interferir (Quiniou et

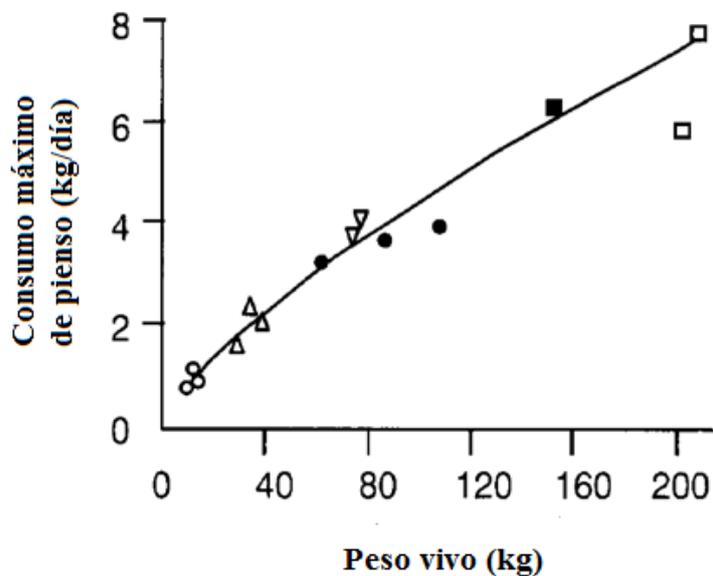
al., 1995). En general, es aceptado que el animal consume alimento para satisfacer sus demandas de energía, lo que sucede dentro de ciertos rangos de densidad energética del alimento. Por lo general, cuando la densidad energética de la dieta disminuye, los cerdos responden incrementando la ingesta de pienso para mantener la misma ingesta energética, pero hasta cierto punto, ya que la ingesta del alimento está limitada por su propia capacidad física de ingestión, por factores ambientales, o bien por la retroalimentación negativa debido a los factores retrógrados del resto de nutrientes que son consumidos en exceso.

La capacidad de compensar con el consumo de dietas bajas en energía se incrementa con la edad (o peso de los cerdos; figura 11a). En base a unos estudios realizados por Black et al. (1986), cerdos por debajo de los 20 kg peso vivo, difícilmente llegan a consumir alimento en cantidades suficientes para rebasar las demandas de mantenimiento (figura 11b). En cambio, cerdos entre 20 y 50 kg o por encima de 60 kg, fueron capaces de ajustar el consumo de pienso al contenido de energía digestible de la dieta cuando ésta se mantuvo por debajo de 14 y 10 MJ/kg, respectivamente. Por lo general, cerdos con más de 60 kg, normalmente rebasan con su consumo su demanda de energía, por lo que aumenta su capacidad de almacenamiento en forma de grasa. Por otro lado, la compensación de energía no se da de forma inmediata, el lechón necesita de más tiempo para ajustar su consumo al contenido de energía de la dieta que el cerdo adulto, quien es capaz de adaptarse rápidamente. A mayor consumo, mayores las posibilidades de exceder las demandas de energía, pero el mayor consumo es necesario para asegurar que la síntesis de proteína no se impida por una insuficiencia energética o por la distracción de los aminoácidos para su uso como combustible.

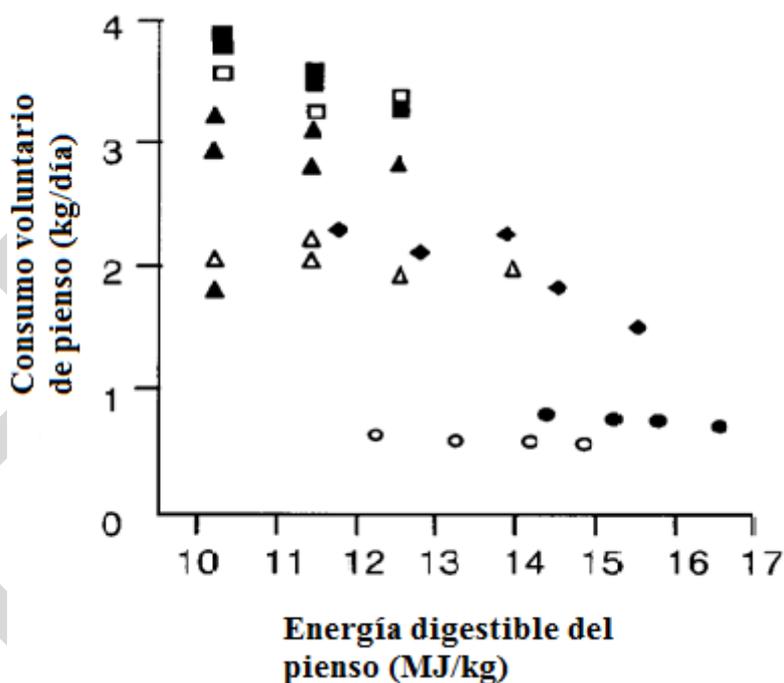
Bikker et al. (1995), Quiniou et al. (1995) y Weis et al. (2004) indicaron los cerdos genéticamente mejorados entre 20 y 120 kg de peso vivo, tenían una alta capacidad de crecimiento magro, y que tanto el crecimiento y la deposición de proteína y grasa incrementaron linealmente con la ingesta de pienso y de energía. Por ejemplo, en la figura 12 se muestra datos reportados por Bikker et al. (1995) sobre la respuesta de la deposición de proteína y de grasa así como el ratio deposición grasa / proteína a incrementos en el consumo energético en cerdos con alto potencial de crecimiento magro entre 20 y 45 kg de peso. Estos autores observaron que la tasa de la deposición de proteína incrementa linealmente con el consumo energético y que al incrementar el consumo energético, el ratio deposición lípido/ proteína se aproxima hacia un valor de forma curvilínea, hasta que la capacidad de ingestión o la deposición de proteína máxima llega a ser un limitante. Sin embargo, en lechones entre 5 y 20 kg de peso vivo, la relación existente entre estos parámetros y el consumo de pienso y de energía no está clara.

Figura 11.- a) Evolución del consumo de pienso en cerdos alimentados con dietas bajas en contenido energético y b) Relación entre el consumo voluntario de pienso y el contenido de energía digestible de la dieta en cerdos (Black et al., 1986)

a)



b)

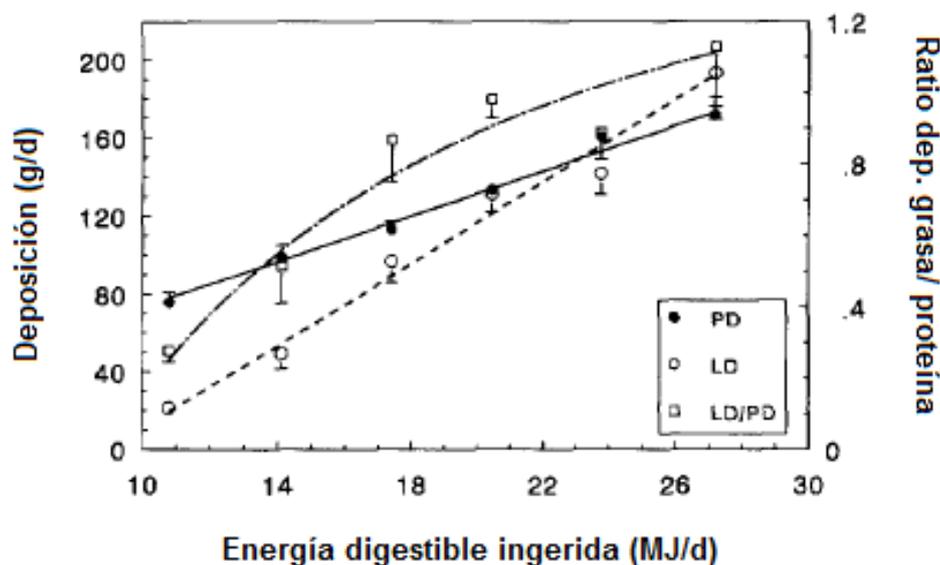


○ = 10 kg; ● = 13 kg; ◆ = 33 kg; △ = 39 kg; ▲ = 61 kg; □ = 84 kg; ■ = 107 kg.

La información existente entre la densidad energética del pienso y la ingesta de energía en lechones es escasa. Por ejemplo, Reis de Souza et al. (2000) evaluaron los efectos de incrementar el contenido de EB de 3.840 a 4.265 kcal/kg sobre el crecimiento y

utilización de la energía en lechones de 7 a 25 kg de peso vivo. Estos autores observaron que el contenido de ED incrementó desde 3.240 a 3.500 kcal pero no afectó al crecimiento y al consumo de pienso mientras que el consumo de ED mejoró un 5%. Levesque (2002) reportaron un incremento en el consumo de ED de lechones de 7 a 20 kg de peso vivo cuando el contenido de ED incrementó desde 3.180 a 3.590 kcal/ kg de pienso. Oresanya et al. (2005) observaron que incrementando el contenido de la EN de 2.290 a 2.550 kcal/kg se redujo el consumo de pienso pero no afectó al consumo de EN de los cerdos de 9 a 25 kg de peso vivo. En un estudio posterior, Oresanya et al. (2008) no observó efecto alguno sobre el crecimiento y el consumo de alimento cuando el contenido de EN incrementó de 2.150 a 2.370 kcal. El consumo de EN y el consumo de EN ingerida destinada para el crecimiento incrementó en proporción al aumento del contenido de EN. Los resultados de estos estudios sugieren que la densidad energética del pienso no es el único factor que afecta el consumo de pienso (Patience et al., 1995).

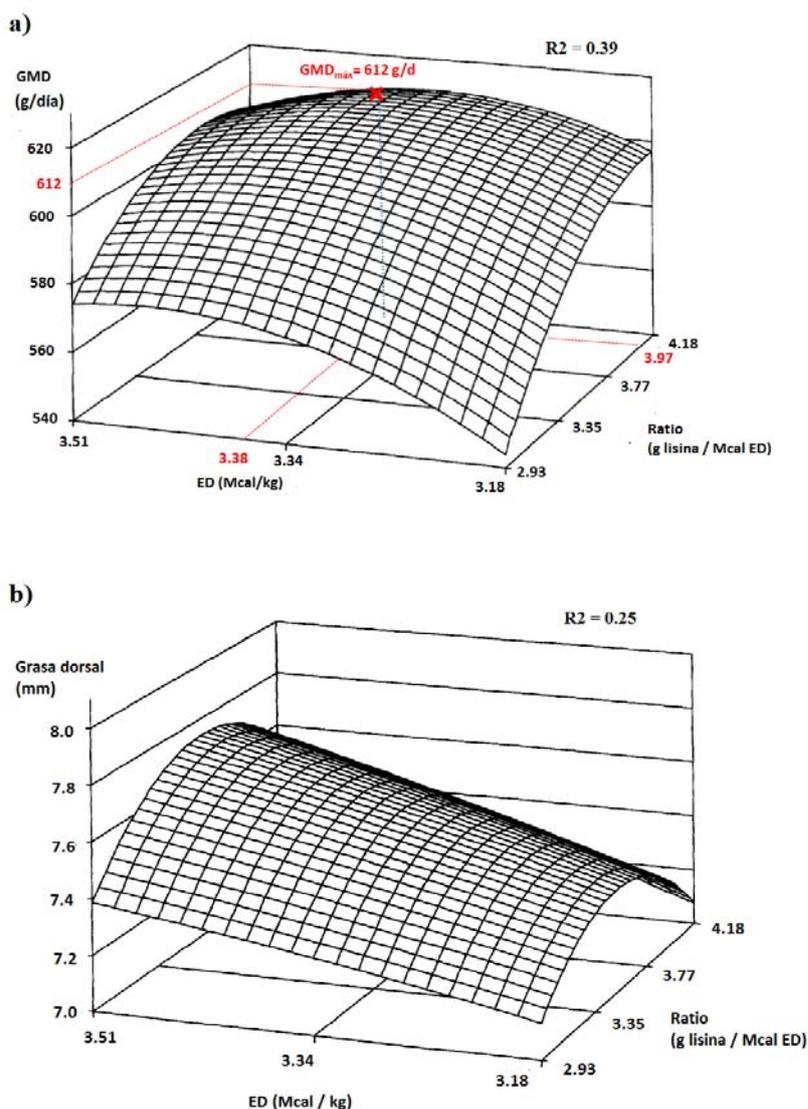
Figura 12.- Relación entre energía digestible ingerida y la tasa de deposición de proteína (PD= $16.1 + 5.77 \times$ Energía Digestible ing.), tasa de deposición de grasas (LD = $- 94 + 10.5 \times$ Energía Digestible ing.), y el ratio entre la deposición de grasas y proteína (Bikker et al., 1995)



Otros componentes de la dieta podrían afectar al consumo de pienso, el crecimiento, y la utilización de la energía en lechones tras el destete como por ejemplo, la relación lys:DE (Nam y Aheme, 1994; Oresanya et al., 2007), el contenido de material indigestible y de alta capacidad de retención de agua como por ejemplo la fibra (Tsaras et al., 1998; Whittemore et al., 2001) y el contenido de grasa (Reis de Souza et al., 2000) que ejercen de forma directa o indirecta efectos fisiológicos sobre el animal. Nam y Aheme (1994) evaluaron los efectos del ratio lisina / ED sobre el crecimiento y el consumo de pienso de los lechones de 9 a 26 kg de peso vivo (de 0 a 4 semanas post-destete). Los valores del ratio lisina/ ED estuvieron comprendidos entre 2,93 y 4,18 g/Mcal y de ED de la dieta, entre 3,17 y 3,51 Mcal/kg. Estos autores observaron que el ratio lisina/ED tuvo mayor efecto sobre el crecimiento que el contenido de ED de la dieta y que el contenido de ED de la

dieta tuvo un efecto negativo sobre el consumo de pienso. La figura 13 muestra una superficie respuesta generada a partir de la predicción de medias para la ganancia media diaria (a) y para la grasa dorsal (b) frente al ratio lisina total/ ED y el contenido de ED de la dieta. La óptima combinación de ratio lisina total/ED y ED para maximizar el crecimiento de lechones en el periodo estudiado fue de 3.97 g lisina/Mcal de ED y 3.38 Mcal de ED. En relación a determinar el ratio de lisina/ED que maximiza el crecimiento magro y considerando que la grasa dorsal afecta negativamente sobre el crecimiento magro, los ratios por encima de 3.97 g de lisina/Mcal de ED reduce el espesor de la grasa dorsal, lo que resultaría en mayores estimas del crecimiento magro. Oresanya et al. (2007) indicaron que los requerimientos de ratio lisina/ED dependen del estado fisiológico del lechón durante la transición. Los lechones criados bajo un programa de alimentación de una única fase, comprendida entre 7.5 y 22.5 kg, el ratio óptimo de lisina/ ED fue de 4.27 g/ Mcal mientras que en un programa de doble fase, entre 7.5 y 13 kg y 13 y 22.5 kg, los valores estimados fueron de 4.46 y 3.70 g/Mcal, respectivamente.

Figura 13.- Superficie 3D de la a) GMD (g/día) y b) grasa dorsal frente ratio lisina / ED de la dieta (g/Mcal) y la ED (Mcal/kg) durante 4 semanas de crecimiento.



Whittemore et al. (2001) estudiaron los efectos de la dilución de una dieta de 3.200 a 2.560 kcal ED/kg con la adición de 0, 50 y 70% de pulpa de remolacha. Las dietas fueron ofrecidas a los lechones entre los 12 a 18 kg por un periodo de dos semanas. El consumo de pienso de los cerdos alimentados con 70% de pulpa de remolacha se redujo un 58% durante la primera semana del experimento sin embargo, el consumo de todas las dietas fueron comparables en la segunda semana. El consumo de energía se redujo un 66% durante la primera semana (0 vs. dieta con 70% de pulpa) y un 19% en la segunda semana. Estos resultados indican que los lechones son capaces de adaptarse a consumir una dieta baja en densidad energética y con volumen con el tiempo probablemente como resultado de una distensión de algunos compartimentos del tracto gastrointestinal (Kyriazakis y Emmans, 1995). Sin embargo, esta adaptación al consumo de alimento no es suficiente para lograr un consumo energético óptimo para el crecimiento. Solamente en situaciones donde se den diluciones extremas de energía así como en aquellas que fueron reportados por Whittemore et al. (2001), los lechones no consumen la cantidad de energía suficiente para cubrir sus necesidades de mantenimiento y crecimiento.

Finalmente, mencionaremos la grasa como otro factor que puede afectar al consumo. La adición de grasa en dietas para lechones ha sido ampliamente recomendada para mejorar el consumo de pienso y de energía debido a que el lechón tiene una alta capacidad para digerir la grasa de la leche materna. Sin embargo, esta capacidad del lechón a la digestión y utilización de las grasas puede estar limitada por el nivel de inclusión y fuente de grasa añadida. Por ejemplo, Reis de Souza et al. (2000) evaluaron los efectos de la inclusión de niveles crecientes (desde 0 a 4 y 8%) de sebo en la dieta sobre la productividad, digestibilidad de los nutrientes y composición corporal en lechones de 25 kg. Estos autores demostraron que la adición creciente de sebo mejoró el consumo de energía y la digestibilidad de la grasa pero no afectó al crecimiento y a la conversión del alimento. La falta de respuesta del crecimiento a altos niveles de inclusión de sebo pudo estar relacionado con un cambio en la composición corporal, incrementando las reservas energéticas y el espesor grasa dorsal de lechones alimentados con un ratio alto energía / proteína.

4.- CONCLUSIONES

La presión de selección genética a favor de un mayor número de nacidos totales/vivos está contribuyendo en gran medida al avance y a la rentabilidad del sector porcino. A raíz de esto, se hacen necesarias intervenciones nutricionales que reduzcan la incidencia de crecimiento intra-uterino retardado y que, consecuentemente, limiten el número de lechones con bajo peso al nacimiento.

Adicionalmente, deben marcarse pautas de manejo y alimentación diferenciales y específicas para esos lechones de bajo peso, que disminuyan la dispersión de peso originada en el nacimiento y que, de no actuar, se magnificará al llegar a la edad de sacrificio, con graves consecuencias económicas. Entre las soluciones propuestas, se

encuentran la administración de preparaciones complementarias al calostro (ricas en inmunoglobulinas, fuentes energéticas, etc), o la separación de hasta un 10% de los lechones supra-numerarios para alimentarlos mediante leche reconstituida y lactoiniciador sólido. La formulación de ambos productos debe tener en cuenta si se tratan de complementos a la leche materna o si por el contrario son usados para reemplazarla, ya que el escenario es totalmente distinto. Debe tenerse en cuenta además la inclusión de compuestos bioactivos que estimulen el sistema inmune y el correcto desarrollo del aparato digestivo. El objetivo final será la reducción de la dispersión de pesos de una manera práctica y económica, y, de manera indirecta, el alargamiento de la vida productiva de la cerda reproductora debido a la menor presión que se ejerce entonces sobre ésta.

En la segunda parte de esta disertación nos hemos centrado en salud intestinal y en la repercusión de la misma en las posibles incidencias entéricas que pueden ocurrir al final de transición, así como sus repercusiones posteriores. Factores como la selección de ciertos ingredientes funcionales resultan de vital importancia. No debemos olvidarnos tampoco de formular con nutrientes íntimamente relacionados con salud intestinal, como son la proteína fermentable o los carbohidratos estructurales.

En este sentido, es también conveniente disponer de una valoración energética específica para lechones, puesto que diversos autores han demostrado las diferencias en la digestibilidad de la grasa, por ejemplo, cuando hablamos de un lechón con una actividad lipasa comprometida, en comparación con un cerdo adulto; del mismo modo, la digestibilidad proteica de ciertos ingredientes puede variar en el lechón, en especial si se está en un balance energético negativo (como puede ocurrir en los días inmediatamente posteriores al destete). La re-evaluación de esta Energía Neta Lechones afectará también al ratio lisina / energía.

Por último, si verdaderamente aplicamos el concepto de proteína ideal en nuestra formulación de lechones, no olvidemos que al trabajar con ratios respecto a lisina, las matemáticas nos pueden jugar malas pasadas. Los lechones no se alimentan de ratios sino de cantidades diarias, y es esto último lo que debemos tener siempre presente. En la prevención de los problemas entéricos, tendrá una especial importancia la relación isoleucina / lisina, ya que pasando de un ratio de 0,48 a uno de 0,53 (variaciones encontradas en la literatura) podemos incurrir en deficiencias de aminoácidos no esenciales en un extremo, o en mayor riesgo entérico en el otro extremo, debido al aumento de proteína fermentable que lleva implícito en muchos casos. Aquí también jugará un papel primordial la correcta ponderación de la capacidad de ingesta de la genética con la que estemos trabajando, ya que una correcta estimación de la misma evitara que trabajemos con densidades nutricionales demasiado elevadas, evitando así el riesgo entérico.

5.- REFERENCIAS

AFFENTRANGER, P., GERWIG, C., SWEWER, G.J.F., SCHOWÖRER, D. y KÚNZI, N. (1996) *Livest. Prod. Sci.* 45: 187-196.

- APAJALAHTI, J. (2005) *J. Appl. Poult. Res.* 14(2): 444-453.
- AULDIST, D. E., STEVENSON, F. L., KERR, M. G., EASON, P. y KING, R. H. (1997) *Anim. Sci.* 65: 501-507.
- AZAIN, M. J., TOMKINGS, T. SOWINSKI, J.S., ARENTSON, R.A., JEWELL, D.E. (1996) *J. Anim. Sci.* 74: 2195-2202.
- BADIA, R., ZANELLO, G., CHEVALEYRE, C., LIZARDO, R., MEURENS, F., MARTINEZ, P., BRUFAU, J. y SALMON, H. (2012a) *Vet. Res.* 43: 4-9716-43-4.
- BADIA, R., BRUFAU, M.T, GUERRERO-ZAMORA, A.M., LIZARDO, R., DOBRESCU, I., MARTIN-VENEGAS, R., FERRER, R., SALMONG, H. y BRUFAU, J. (2012b) *Clinical Vaccine Immunology* 19: 368-376.
- BAREA,R., DUBOIS, S., GILBERT, H., SELIER, P., VAN MILGEN, J. y NOBLET, J. (2010) *J. Anim. Sci.* 88: 2062-2072.
- BEAULIEU, A.D., AALHUS, J.L., WILLIAMS, N.H., y PATIENCE, J.F. (2010) *J. Anim. Sci.* 88: 2767-2778.
- BÉRARD, J., PARDO, C.E, BETHAZ, S., KREUZER, M. y BEE, G (2010) *J. Anim. Sci.* 88: 3242-3250.
- BIAGIA, G. CIPOLLINI, I. PAULICKS, B.R. y ROTH, F.X. (2010) *Arch. Anim. Nutr.* 64: 121-135.
- BIKKER, P., KARABINAS, V., VERSTEGEN, M.W., y CAMPBELL, R.G. (1995) *J. Anim. Sci.* 73:2355-2363.
- BLACK , J.L., CAMPBELL, R.G., WILLIAMS, I.H., JAMES, K.L. y DAVIES, G.T. (1986) *Res. Develop. Agric.* 3: 121-145.
- BODDICKER, N., GABLER, N.K., SPURLOCK, M.E., NETTLETON, D. y DEKKERS, J.C.M. (2011) *Anim.* 5: 1344-1353.
- BORBOLLA, G.S. (2005) *Los porcicultores y su entorno* 76: 49-62.
- BRUININX, E.M.A.M, BINNENDIJK,G.P., VAN DER PEET-SCHWERING, C.M.C, CHARAMA, J.W., DEN HARTOG, L.A., EVERTS, H. y BEYNEN, A.C. (2002) *J. Anim. Sci.* 80: 1413-1418.
- CANARIO, L., LUNDGREN, H., HAANDLYKKEN, M. y RYDHMEN, L. (2010) *J. Anim. Sci.* 88: 1240-1247.
- CASELLAS, J., CASAS, X., PEDRAFITA, J., y MANTECA, X. (2005) *Preventive Veterinary Medicine* 67: 213-221.
- CLUTTER, A.C. y BRASCAMP, E.C. (1998) En: *The Genetics of the Pig.* (eds. M.F. ROTHSCHILD y A. RUVINSKY), pp: 427-462 CAB International, Wallingford, Oxon, UK.
- de LANGE, C.F.M. y BIRKETT, S.H. (2005) *Canadian J. Anim. Sci.* 85(3): 269-280 (Abst.).
- DEVILLERS, N., VAN MILGEN, J., PRUNIER, A. y LE DIVIDICH, J. (2004) *Anim. Sci.* 78: 305-313.
- DEVILLERS, N., PRUNIER, A. y LE DIVIDICH, J. (2011) *Anim.* 5: 1605-1612.
- DOURMAN, J.Y., ETIENNE,M., PRUNIER, A., y NOBLET, J. (1994) *Livest. Prod. Sci.* 40: 87-97.
- EISEMANN, J.H. y NIENABER, J.A. (1990) *Br. J. Nutr.* 64: 399-411.

- EBERT, A.R., BERMAN, A.S., HARRELL, R.J., KESSLER, A.M., CORNELIUS, S.G. y ODLE, J. (2005) *J. Nutr.* 135: 2137-2143.
- FERRARI, C.V., SBARDELLA, P.E., BERNARDI, M.L., COUTINHO, M.L., VAZ, JR., I.S., WENTZ, I. y BORTOLOZZO, F.P. (2014) *Preventive Veterinary Medicine* 114: 259-266.
- GADD, J. (2013) *Thinking ahead: Essential for sow management*. <http://www.pigprogress.net/1371049W>.
- GUERRA, A.A., GONZÁLEZ-ORTIZ, D., PEREZ, J.F. y MARTIN-ORUE, S.M. (2013) *Nutr. Hosp.* 28: 21-22.
- GONZÁLEZ-ORTIZ, G., PÉREZ HERNÁNDEZ, J. F., HERMES, R.G., MOLIST, F., JIMÉNEZ-DIAZ, R. y MARTÍN ORÚE, S.M. (2014) *Br. J. Nutr.* 111: 633-642.
- GRUBBS, J.K., FRITCHEN, A.N., HUFF-LONERGAN, E., DEKKERS, J.C.M., GABLER, N.K., y LONERGAN, S.M. (2013) *J. Anim. Sci.* 91: 2133-2140.
- HERMES, R.G., MANZANILLA, E.G, MARTIN-ORUE, S.M., PEREZ, J.F., y KLASING, K.C. (2011) *Comp. Immunol. Microbiol. Infect. Dis.* 34: 479-488.
- HEO, K.N., LIN, X., HAN, I.K. y ODLE, J. (2002) *J. Nutr.* 132: 1989-1994.
- HEO, J.M., KIM, J.C., HANSEN, C.F., MULLAN, B.P., HAMPSON, D.J., y PLUSKE J.R. (2008) *Arch. Anim. Nutr.* 62: 343-358.
- HEO, J.M., KIM, J.C., HANSEN, C.F., MULLAN, B.P., HAMPSON, D.J. y PLUSKE, J.R (2010a) *Anim. Feed Sci. Technol.* 160: 148-159.
- HEO, J.M., KIM, J.C., HANSEN, C.F., MULLAN, B.P., HAMPSON, D.J. y MARIBO, H. (2010b) *Livest.Sci.* 133: 210-213.
- HEO, J.M., KIM, J.C., YOO, J. y PLUSKE, J.R. (2014) *Anim. Sci. J.* doi:10.1111/asj.12275.
- HOQUE, M.A. y SUZUKI, K. (2009) *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 22: 747-755.
- HOVING, L.L., SOEDE, N.M., VAN DER PEET-SCHWERING, C.M.C., GRAAT, E.A.M., FEITSMA, H., Y KEMP, B. (2011) *J. Anim. Sci.* 89: 3542-3550.
- HTOO J.K., ARAIZA, B.A., SAUER, W.C., RADEMACHER, M., ZHANG, Y., CERVANTES, M. y ZIJLSTRA, R. T. (2007) *J. Anim. Sci.* 85: 3303-3312.
- KITCHEN, D. y PEREZ, J. (2003) <http://www.revista-anaporc.com/contenidos/dessep3.htm>
- KOCH, R.M., SEIGER, L.A. CHAMBERS, D. y GREGORYY, K.E. (1963) *J. Anim. Sci.* 22: 486-494.
- KOTROTSIOS, N.V, CHRISTAKI, E.V., BONOS, E.M, y FLOROU-PANERI, P.C. (2010) *J. Food Agric. Environment* 8: 779-782.
- KYRIAZAKIS, I, y EMMANS, G.C. (1995) *Br. J. Nutr.* 73: 191-201.
- LALLÈS, J. P., BOSI, P., SMIDT, H. y STOKES, C.R. (2007) *Proceedings of the Nutrition Society* 66: 260-268.
- LEVESQUE, C. L. 2002. The effects of dietary digestible energy content and site of weaning on weanling pig performance. *M.Sc. Thesis*. University of Saskatchewan.
- LI, D., XI, P., WANG, J., WANG, J., REN, J., KANG, Y. y THACKER, P. (2001) *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 14: 1282-1289.

- LIZARDO, R., CAÑELLAS, J., MAS, F., TORRALLARDONA, D. y BRUFAU, J. (2002) En: *Journées de la Recherche Porcine, sous l'égide de l'Association Française de Zootechnie*, Paris, France. pp. 97-101.
- MOLIST, F., DE SEGURA, A.G., GASA, J., HERMES, R.G., MANZANILLA, E.G., ANGUITA, M. y PÉREZ, J.F. (2009) *Anim. Feed Sci. Technol.* 149: 346-353.
- MOLIST, F., GÓMEZ DE SEGURA, A., PÉREZ, J.F., BHANDARI, S.K., KRAUSE, D.O. y NYACHOTI, C.M. (2010) *Livest. Sci.* 133: 214-217.
- MOLIST, F., HERMES, R.G., DE SEGURA, A.G., GASA, J., MANZANILLA, E.G. y PÉREZ, J.F. (2011) *Br. J. Nutr.* 105: 1592-1600.
- NAM, D.S., y AHERNE, F.X. (1994) *J. Anim. Sci.* 72: 1247-1256.
- NAZZARO, F., FRATIANNI, F., COPPOLA, R. (2013) *Int. J. Mol. Sci.* 14: 12607-12619.
- NEMECHEK, J.E., TOKACH, M.D., BRITZ, S.S., GOODBAND, R.D., DeROUCHEY, J.M., NELSSSEN, J.L., y URSY, J. (2011) En: *Proceedings of the Swine Industry Day*, Kansas State University, 1056: 70-78.
- NOBLET, J. y HENRY, Y. (1993) *Livest. Prod. Sci.* 36: 121-141.
- NOBLET, J. y van MILGEN, J. (2004) *J. Anim. Sci.* 82:E229-E238.
- NPPC (1995) *Genetic evaluation: Terminal line program results*. National Pork Producers Council, Des Moines, IA.
- NRC (1998). *Nutrient requirements of swine*. 10th ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC.
- OLIVER, W. T., TOUCHETTE, K. J., COALSON, J. A., WHISNANT, C. S., BROWN, J. A., MATHEWS, S. A., ODLE, J., y HARRELL, R. J. (2005) *J. Anim. Sci.* 83: 1002-1009.
- ORESANYA, T.F. (2005) Energy metabolism in the weanling pigs: effects of energy concentration and intake on growth, body composition and nutrient accretion in the empty body. *PhD Thesis*, University of Saskatchewan, Saskatoon, Canada.
- ORESANYA, R.F., BEAULIEU, A.D., BELTRANENA, E., y PATIENCE, J.F. (2007) *Can. J. Anim. Sci.* 87: 45-55.
- ORESANYA, T.F., BEAULIEU, A.D., y PATIENCE, J.F. (2008) *J. Anim. Sci.* 86: 348-363.
- PATIENCE, J.F., THACKER, P., y de LANGE, C.F.M. (1995). *Swine Nutrition Guide*. 2nd edition. Prairie Swine Centre, Inc., Univ. of Saskatchewan, Saskatoon.
- QUINIQU, N., NOBLET, J., van MILGEN, J., DOURMAN, J. Y. (1995) *Anim. Sci. (Pencaitland)* 61: 133-143.
- REIS de SOUZA, T.C., AUMAITRE, A., MOUROT, J., y PEINIAU, J. (2000) *Asian Austr. J. Anim. Sci.* 13: 497-505.
- REKIEL, A., WIĘCEK, J., BATORSKA, M. y KULISIEWICZ, J. (2014) *Ann. Anim. Sci.* 14: 3-15.
- SANTOMÁ, G. Y PONTES, M (2011) En: *XXVII Curso de especialización FEDNA* pp. 169-225.
- SANTOMA, G. (2012) En: *XXVIII Curso de especialización FEDNA* pp. 173-245.
- SOLÁ-ORIO, D. (2013a) http://www.pig333.com/what_the_experts_say/unrestricted-milk-consumption-doesnt-guarantee-the-production-success_6931/
- SOLÁ-ORIO, D. (2013b) http://www.pig333.com/nutrition/the-live-weight-of-the-piglets-weaned-at-28-days-a-decisive-factor_7013/

- SOUMEH, E.A., VAN MILGEN, J., SLOTH, N.M., CORRENT, E., POULSEN, H.D. y NØRGAARD, J.V. (2014) *Anim. Feed Sci. Technol.* doi:10.1016/j.anifeedsci.2014.09.013
- TSARAS, L.N., KYRIAZAKIS, I., y EMMANS, G.C. (1998) *Anim. Sci.* 66: 713-723.
- VISEK, W.J. (1984) *J. Dairy Sci.* 67: 481-498.
- WEIS, R.N., BIRKETT, S.H., MOREL, P.C.H., y de LANGE, C.F.M. (2004) *J. Anim. Sci.* 82: 109-121.
- WELLOCK, I.J., FORTOMARIS, P.D., HOUDIJK, J.G.M. y KYRIAZAKIS, I. (2008) *Anim.* 2: 825-833.
- WHITTERMORE, C.T., GREEN, D.M. y KNAP, P.W. (2001) *Anim. Sci.* 73: 363-373.
- WHITTERMORE, C.T. y KYRIAZAKIS, I. (2006) Energy value of feedstuffs for pigs. En: Whittemore, C. (eds.) *Whittemore's Science and Practice of Pig Production*. 3rd edition. Blackwell Publishing, UK.
- WOLTER, B.F., ELLIS, M., CORRIGAN, B.P y DE-DECKER, J.M. (2009) *J. Anim. Sci.* 80: 301-308.