



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería y del
Medio Natural

Alimentación de porcino: mejora
de la utilización de las fracciones
fibrosas de diferentes ingredientes
mediante la utilización de enzimas
en cerdas reproductoras

TRABAJO FINAL DE GRADO

Grado en Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural

Alumno

Mario Romeu Antequera

Directores

Alba Cerisuelo García

María Cambra López

Juan José Pascual Amorós

Valencia, enero 2017

Alimentación de porcino: mejora de la utilización de las fracciones fibrosas de diferentes ingredientes mediante la utilización de enzimas en cerdas reproductoras

Financiado por la Cooperativa Ganadera Caspe.

Optimización de las dietas de cerdas reproductoras: Aprovechamiento de las fracciones fibrosas según la fuente de fibra

Resumen

El principal objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto sobre el coeficiente de digestibilidad aparente de la materia seca (MS), energía bruta (EB), proteína bruta (PB) y de las fracciones fibrosas, al variar la fuente de la fibra añadida a las dietas de futuras cerdas reproductoras.

Para ello, se utilizaron 8 piensos en un diseño factorial 4x2 (4 tipos de fibra e inclusión o no de enzimas), aunque para este trabajo por cuestiones prácticas se considerará únicamente el efecto del tipo de fibra. Como fuentes de fibra, se utilizaron: fuentes de glucosa insoluble-celulosa (fórmula de base maíz con girasol y soja), fuentes de manosa (fórmula de base maíz con colza y palmiste), fuentes de glucanos (fórmula de base cebada con girasol y soja) y fuentes de arabinosilanos solubles (fórmula de base trigo, salvado de arroz y germen de maíz con girasol y soja).

Se utilizaron 12 cerdas vacías con un peso vivo inicial de $123,2 \pm 8,33$ kg. Los animales se alojaron en jaulas de digestibilidad durante 8 periodos experimentales de 2 semanas de duración cada uno: 10 días de adaptación a los piensos experimentales y 4 días de recogida de muestras. Los animales se pesaron al inicio y final de cada periodo, y durante todo el periodo experimental se controló el consumo de pienso. Durante los 4 días de recogida el total de heces producidas se recogió y pesó cada 24 h.

A partir de las muestras de pienso, se analizó la MS, cenizas, PB, extracto etéreo (EE), fibra bruta (FB), almidón (AL), la Fibra Neutro Detergente (FND), Fibra Ácido Detergente (FAD), Lignina (LAD), Fibra Dietaria Total (FDT), Fibra Dietaria Soluble (FDS), la proteína ligada a fibra y la EB. A partir de las muestras de heces individuales recogidas durante el balance de digestibilidad, se analizó la EB, MS y PB. A partir de un pool de heces por tratamiento, se realizaron las determinaciones de MS, EE, FND, FAD y FDT.

No existieron diferencias significativas en el peso vivo y el consumo medio diario entre los diferentes piensos. La composición analizada de los piensos fue similar a la calculada. Sin embargo, se encontró un efecto claro del tipo de pienso sobre los coeficientes de digestibilidad aparente de la MS, EB y PB ($P < 0,001$), así como del EE, AL y las fibras (FND, FAD, FB y FDT; $P < 0,05$), estos últimos analizados como pool.

Los resultados obtenidos permiten concluir que, sustituir harina de girasol y harina de soja por torta de palmiste y harina de colza en un pienso con base maíz, afecta negativamente a la digestibilidad de la PB, aunque implicó un aumento considerable de la digestibilidad de las fibras. Por otro lado, sustituir en un pienso con base de harina de girasol y harina de soja el maíz por la cebada disminuyó de forma considerable la digestibilidad de la EB y de la PB. En general, la digestibilidad de la EB de los piensos en base a maíz fue mayor que la de los piensos en base a trigo y, ésta, a su vez, mayor que la de los piensos en base a cebada. Estas recomendaciones permiten optimizar de forma práctica las dietas de las cerdas reproductoras.

Palabras clave:

Alimentación animal, porcino, fibra, cerdas reproductoras

Abstract

The main objective of this work was to evaluate the effect of the source of fiber on the apparent digestibility coefficients of dry matter (DM), gross energy (GE), crude protein (CP) and fiber fractions in future breeding sows. Eight dietary treatments in a 4x2 factorial design (four types of fiber and inclusion or not of enzymes) were used. For practical reasons in this research only the effect of fiber type was considered. As a source of fiber glucose insoluble-cellulose (corn, sunflower and soya diet), mannose (corn, rapeseed and palm kernel diet), glucan (barley, sunflower and soya diet) and arabinoxylans (wheat, rice bran and corn germ whit sunflower and soya) diets were tested.

Twelve sows $123,2 \pm 8,33$ kg initial live weight were used. The animals were housed in digestibility cages for eight experimental periods, two weeks each: ten days for experimental feed adaptation, and four days of feces collection. The animals were weighed at the beginning and at the end of each period. Throughout the whole experimental period, animal weight was controlled. During the 4 days of feces collection, the total amount of feces were collected and weighted each 24 hours.

Feed samples were analyzed for DM, ash, CP, ether extract (EE), crude fiber, starch, neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), lignin, total dietary fiber (TDF), soluble dietary fiber, the fiber-bound protein and GE. The individual sample feces collected were analyzed for DM, CP and GE. Feces were pooled by treatment and each pool were analyzed for DM, EE, NDF, ADF and TDF, as well.

No statistical significant differences were found in animal live weight and average daily consumption between treatments during the experimental period. The analyzed diet composition was similar to the estimated. There was a significant effect of the fiber type on DM, GE and CP ($P < 0.001$) digestibility coefficients, in addition to EE, starch and fibers (NDF, ADF, gross fiber and TDF; $P < 0.05$), being the latter analyzed from the pooled feces.

The results indicate that replacing sunflower meal and soybean meal with palm kernel and rapeseed meal in corn-based feed adversely affects the digestibility of CP, although it resulted in a considerable increase in fiber digestibility. Replacing corn with barley with sunflower meal and soybean meal based feed significantly reduced the digestibility of GE and CP. In general, the digestibility of GE from feed based on corn was higher than that from feeds based on wheat and wheat based feed was higher than barley based feed.

Key words:

Animal feed, porcine, fiber, breeding sows

Resum

L'objectiu d'aquest treball es avaluar l'efecte sobre el coeficient de digestibilitat aparent de la matèria seca (MS), energia bruta (EB), proteïna bruta (PB) i de les fraccions fibroses, al variar les fonts de fibra en pinsos de porques reproductores.

Per això, es van utilitzar 8 pinsos en un disseny factorial 4x2 (4 tipus de fibra e inclusió o no d'enzims), encara que per a aquest treball per qüestions pràctiques es considerarà únicament l'efecte del tipus de fibra. Com a fonts de fibra, es van utilitzar: fonts de glucosa insoluble-cel·lulosa (fórmula de base dacsa amb gira-sol i soja), fonts de manosa (fórmula de base dacsa amb colza i palmiste), fonts de glucans (fórmula de base d'ordi amb gira-sol i soja) y fonts d'arabinosilans solubles (fórmula de base trigo, segó d'arròs i germen de dacsa amb gira-sol i soja).

Es van utilitzar 12 porques buides amb un pes viu inicial de $123,2 \pm 8,33$ kg. Els animals es van allotjar en gàbies de digestibilitat durant 8 períodes experimentals de 2 setmanes de duració cada u: 10 dies d'adaptació als pinsos experimentals i 4 dies de recollida de mostres. Els animals es pesaren a l'inici i al final de cada període i durant tot el període experimental es va controlar el consum de pinso. Durant els 4 dies de recollida el total de excrements produïts se va recollir i pesar cada 24 h.

A partir de les mostres de pinso, s'analitzà la MS, cendres (cen), PB, extracte eteri (EE), fibra bruta (FB), midó (AL), la Fibra Neutra Detergent (FND), Fibra Àcid Detergent (FAD), Lignina (LAD), Fibra Dietaria Total (FDT), Fibra Dietaria Soluble (FDS) y la proteïna lligada a fibra. A partir de les mostres d'excrements individuals recollits durant el balanç de digestibilitat, s'analitzà la EB, MS i PB. A partir d'un pool d'excrements per tractament, es realitzaren les determinacions de MS, EE, FND, FAD i FDT.

No van existir diferències significatives en el pes viu i el consum medi diari (CMD) entre els diferents pinsos. La composició analitzada dels pinsos fou similar a la calculada. No obstant això, es va trobar un efecte clar del tipus de pinso sobre los coeficients de digestibilitat aparent de la MS, EB i PB ($P < 0,001$), i del EE, AL i les fibres (FND, FAD, FB i FDT; $P < 0,05$), aquestos últims analitzats com a pool. En aquest sentit, els resultats obtinguts permeten concloure que la substitució de farina de gira-sol i farina de soja por torta de palmiste i farina de colza en un pinso amb base dacsa, va afectar negativament a la digestibilitat de la PB, encara que va implicar un augment considerable de la digestibilitat de les fibres. D'altra banda, substituir en un pinso amb base de farina de gira-sol i farina de soja la dacsa per l'ordi va disminuir de forma considerable la digestibilitat de la EB i de la PB. En general, la digestibilitat de la EB dels pinsos amb base dacsa fou major que la dels pinsos amb base de trigo i, aquesta, tanmateix, major que la dels pinsos amb base d'ordi. Aquestes recomanacions permeten optimitzar de manera pràctica les dietes de les porques reproductores.

Paraules clau:

Alimentació animal, porcí, fibra, porques reproductores

Agradecimientos

Primero agradecer a mis tutores Juanjo, por ofrecerme la oportunidad de realizar este trabajo, a María por su apoyo y ánimo constante con la redacción de este trabajo y a Alba por todo el trabajo, apoyo y conocimientos con las tareas y el manejo de las cerdas.

Al personal del CITA con quien he tenido el placer de trabajar, en especial a Bea, y mis compañeros Cristian y Eva, he aprendido y disfrutado mucho trabajando con vosotros.

También al personal del Laboratorio de Alimentación Animal del Departamento de Ciencia Animal de la UPV, en especial a Mari Carmen, por dejarme participar en los análisis de laboratorio y compartir sus conocimientos y tiempo.

A la Cooperativa Ganadera Caspe por financiar el proyecto.

A mi familia por todo su apoyo y paciencia.

A Irene por su ayuda y apoyo con la redacción, por sus ánimos y por sus tirones de oreja cuando han sido necesarios.

A Anna por su empujón final.

En definitiva, a todas y cada una de las personas que me han ayudado a llegar hasta aquí, sé que no soy una persona muy efusiva, pero espero haberos devuelto, aunque fuese una pequeña parte de la energía y apoyo recibido.

¡Muchas gracias!

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. La cerda gestante: necesidades y plan de alimentación	1
1.2. Tipos de fibra	5
1.3. Efectos de la fibra en cerdas gestantes	7
2. OBJETIVO	10
3. MATERIALES Y MÉTODOS	11
3.1. Ubicación del estudio e instalaciones	11
3.2. Animales y diseño experimental	12
3.3. Muestreos y medidas	15
3.3.1. Pesos y consumo	15
3.3.2. Ensayo de digestibilidad	15
3.4. Cálculos y análisis estadístico	17
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	18
5. CONCLUSIONES	25
6. BIBLIOGRAFÍA	26

1. INTRODUCCIÓN

Según los datos extraídos del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, MAGRAMA (2015) en España, el censo porcino está formado por 26.983.205 cabezas, de las cuales 2.407.592 (*circa.* 9%) son cerdas reproductoras. Del total de cerdas reproductoras, cerca del 70% se encuentran en fase de gestación (MAGRAMA, 2015).

A pesar de que las cerdas reproductoras pasan más del 70% del ciclo productivo en estado de gestación, no siempre se le da la importancia que merece a esta fase, al menos en términos de alimentación. En general, la gestación es una fase poco exigente a nivel de necesidades en la que las cerdas, por lo general, se alimentan de forma restringida para evitar un engrasamiento excesivo. Por este motivo, generalmente, los piensos de cerdas gestantes admiten una cierta cantidad de ingredientes fibrosos (menos energéticos) que no es posible utilizar en otras fases. La utilización de materia primas fibrosas en los piensos puede ofrecer ventajas a nivel de coste (suelen ser materias primas más baratas) y a nivel de bienestar animal, aumentando la sensación de saciedad (Ramonet *et al.*, 1999). Sin embargo, la utilización de estas materias primas menos energéticas precisa que éstas estén correctamente valoradas ya que si el animal no recibe la cantidad/calidad de nutrientes necesaria durante esta fase, esto puede afectar a la calidad de la progenie al nacimiento y también a lo largo de su vida post-destete (Cerisuelo *et al.*, 2012).

A continuación, se ofrece una pequeña revisión de las necesidades de las cerdas gestantes a partir de la información proporcionada por diversas fuentes bibliográficas, así como la valoración de algunos ingredientes fibrosos habituales en sus raciones.

1.1. La cerda gestante: necesidades y plan de alimentación

Las necesidades de la cerda gestante calculadas según el método factorial se distribuyen de la siguiente forma: entre 60-70% se invierten en mantenimiento, un 5% en crecimiento uterino y de 5-20% en crecimiento materno (Noblet *et al.*, 1985). El peso de los animales, la temperatura

ambiente y la actividad física pueden variar considerablemente las necesidades de mantenimiento.

También el número de parto influye en las necesidades de la cerda gestante, las necesidades de crecimiento materno serán mayores en cerdas de primer y segundo parto que en las de tercer parto en adelante. Además, a mayor número de parto, mayor peso del animal y, por lo tanto, mayores necesidades energéticas de mantenimiento.

La **Tabla 1** muestra el cálculo de las necesidades energéticas y de lisina para cerdas jóvenes y adultas alojadas de manera individual o en grupo. Cabe destacar que, aunque las cerdas alojadas en grupo tienen un mayor gasto de energía debido a un aumento de su actividad física, sus necesidades de termorregulación son mínimas, siendo sus necesidades en energía total menores a las que están alojadas en jaulas.

Por otra parte, todas las cerdas también tienen unas necesidades mínimas en vitaminas y minerales que se han de respetar, puesto que pueden aparecer problemas reproductivos si no se cubren estos niveles mínimos.

Tabla 1. Necesidades en energía (kcal energía metabolizable (EM)/día) y lisina digestible verdadera (g/día) de una cerda gestante joven y adulta alojadas de manera individual o en grupo.

Tipo de animal Alojamiento	Energía metabolizable				Lisina digestible verdadera	
	Cerda joven Jaula	Cerda joven Grupo	Cerda adulta Jaula	Cerda adulta Grupo	Cerda joven	Cerda adulta
Mantenimiento						
Peso metabólico ¹	4.500	4.500	6.601	6.601	1,54	2,26
Termorregulación ²	952	-	1.320	-	-	-
Actividad física ³	-	672	-	986	-	-
Crecimiento materno (deposición tejidos maternos) ⁴	1.558	1.558	842	842	6,74	1,14
Crecimiento uterino (desarrollo fetal y ubre) ⁵	422	422	422	422	4,49	4,49
Total	7.432	7.152	9.185	8.851	12,77	7,89

Fuentes: Noblet (1990), NRC (1998), Ramonet et al. (2000), BSAS (2003), Close y Cole (2003), FEDNA (2006).

Cerda joven: nulípara, 150 kg peso, Temperatura alojamiento = 14 °C.

Cerda adulta: 4º parto, 250 kg peso, Temperatura alojamiento = 14 °C.

¹ 105 kcal EM/kg Peso vivo (PV)^{0,75} y día. 36 g lisina digestible verdadera/ kg PV^{0,75} y día.

² Alojamiento en jaulas: 3,6 kcal EM/kg PV^{0,75} y °C y día por debajo de 20 °C.

Alojamiento en grupo: 2,5 kcal EM/kg PV^{0,75} y °C y día por debajo 14 °C.

³ +15% de actividad física en grupos con respecto a las necesidades de mantenimiento correspondientes al peso metabólico.

⁴ Cerda joven: 30 kg de ganancia materna. Cerda adulta: 10 kg de ganancia materna.

⁵ 11,5 lechones nacidos totales; 1,4 kg/lechón. 185 kcal EM/d para tejido mamario. 20 kg ganancia útero grávido.

Por otro lado, a lo largo de la gestación, las necesidades no son las mismas y aumentan cuanto más avanzada está debido al crecimiento fetal. Por ello, es necesario establecer un plan de alimentación que asegure que los animales reciban los nutrientes que necesitan en cada momento, optimizando así los niveles productivos y los costes de alimentación.

En cuanto al plan de alimentación, tradicionalmente el plan de alimentación de las cerdas gestantes se basaba en una disminución de la cantidad de pienso ofrecida, entre la cubrición y durante los 15-21 días posteriores a ésta, ya que algunos estudios relacionan la disminución en la concentración plasmática de la progesterona con un incremento de la ingestión de energía (Jindal et al., 1996), elevándose así la mortalidad embrionaria. Y a partir del

último mes de gestación, se produce un aumento de la cantidad de pienso ofrecida, debido al incremento de las necesidades de la cerda durante el crecimiento fetal, sobre todo durante los últimos 15-30 días de gestación (Noblet *et al.*, 1985). De esta forma, se busca incrementar el peso del lechón en el momento del nacimiento. Sin embargo, en los últimos años este planteamiento ha ido modificándose.

En la actualidad, durante la gestación temprana (0-21 días) se alimenta a las cerdas según su condición corporal, variando el nivel de alimentación de las cerdas que ya han sido destetadas. Tras el destete, las cerdas deben recuperar su condición corporal óptima, por lo que el nivel de alimentación será mayor en cerdas destetadas que en cerdas primerizas. La relación del incremento de la mortalidad embrionaria y el aumento en el nivel de alimentación pierde importancia frente conseguir la condición corporal óptima de las cerdas. Además, estudios recientes parecen indicar que esta relación no existe en cerdas primerizas (Foisnet *et al.*, 2010) o que podría existir el efecto contrario en cerdas de primer y segundo parto (Hoving *et al.*, 2011).

Para la gestación media (21-90 días) se sigue intentando mantener la condición corporal óptima de la cerda, evitando una sobrealimentación que pueda aumentar los depósitos de grasa en la glándula mamaria (Weldon *et al.*, 1994).

Al final de la gestación o gestación tardía (90-114 días) las necesidades de la cerda aumentan debido al crecimiento fetal. El aumento en el nivel de alimentación no se traduce en un aumento del peso de los lechones al nacimiento por lo que, se aumenta sólo para cubrir las necesidades de la cerda y que ésta mantenga la condición corporal adecuada (Kim *et al.*, 2009).

A pesar de todos los factores que afectan a las necesidades en gestación, estas son bajas con respecto a las necesidades en otras fases productivas. Por lo tanto, el consumo de alimento que requieren las cerdas durante el periodo de gestación es reducido (2,1 – 3 kg de pienso/día). Este consumo suele ser inferior al consumo voluntario, por lo que en general se habla de la sensación de "hambre crónica" que padecen las cerdas gestantes, dando lugar a la aparición de estereotipias o signos de falta de bienestar (D'Eath *et al.*, 2009). Este es uno de los motivos de la tendencia actual de incorporar

elevados niveles de fibra en los piensos de cerdas gestantes, usándose subproductos fibrosos que son bajos en energía dándole volumen a la ración y aumentando la sensación de saciedad, pero siendo muy importante su estudio y valoración.

1.2. Tipos de fibras

La demanda creciente de cereales ricos en energía para consumo humano y la mayor disponibilidad de subproductos ricos en fibra procedentes de alimentación humana, han provocado un aumento de la disponibilidad de materias primas fibrosas en la alimentación porcina.

Haciendo un poco de historia, vemos que ya en el en 1953, Hispley fue el primer científico que utilizó por escrito el término de fibra dietética como "los constituyentes no digeribles que se encuentran en la pared de la célula vegetal". En 1974, Trowell definió la fibra dietética como el "remanente de los componentes de la planta que son resistentes a la hidrólisis por las enzimas intestinales humanas". Esta definición excluía los polisacáridos añadidos a la dieta como aditivos alimentarios, por lo que la definición fue ampliada posteriormente incluyendo "todos los polisacáridos y la lignina, que no son digeridos por las secreciones endógenas del tracto digestivo humano" (Trowell *et al.*, 1976).

En la actualidad no existe una definición universal para la fibra dietética, puesto que no es una entidad homogénea y no hay un método analítico que mida todos los componentes de los alimentos que pueden ejercer los efectos fisiológicos de la fibra. En la **Figura 1** se puede observar la composición de la fibra dietética según el método analítico de determinación.

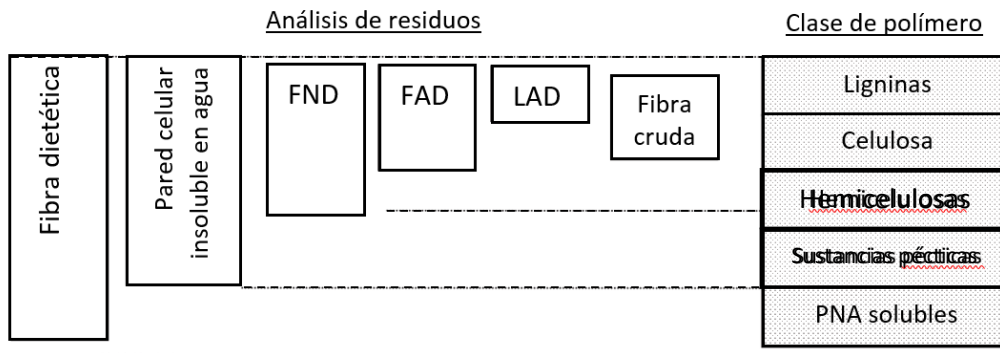


Figura 1. Representación esquemática de la composición de la fibra dietética según distintos métodos gravimétricos e identificación del residuo del análisis (FND: fibra neutro detergente, FAD: fibra ácido detergente, LAD: lignina ácido detergente, PNA: polisacáridos no amiláceos). Adaptado de Gidenne et al. (2010).

Algunos de los principales componentes de la fibra dietética son:

- Polisacáridos, son la parte fundamental de la fibra dietética. Dentro de los polisacáridos podemos encontrar:
 - o Celulosa. El compuesto más abundante en las paredes celulares de las plantas, así que la cantidad en la fibra es importante. Suelen aportar celulosa en cantidades importantes las verduras, frutas, frutos secos y cereales.
 - o Hemicelulosas. Son polímeros más pequeños que la celulosa, se encuentran asociados a ésta como constituyentes de las paredes celulares.
 - o Pectinas. Junto a celulosa y hemicelulosas los tres componentes principales de la fibra dietética.
 - o Gomas
 - o Mucílagos
 - o Almidón resistente
- Oligosacáridos. Son polisacáridos de cadena corta, pero presentan algunas de las propiedades fisiológicas de los polisacáridos más grandes.
- Lignina. Son polímeros insolubles en ácidos y en álcalis fuertes. Por lo que el proceso de lignificación hace que los alimentos resistan la degradación bacteriana y reduce la digestibilidad de los polisacáridos fibrosos.

Según su localización en la célula vegetal, los componentes de la fibra pueden así clasificarse en dos grupos: i). componentes de la pared celular incluyendo los polisacáridos no amiláceos (PNAs) solubles (parte de los β -glucanos, arabinosilanos y sustancias pécticas) e insolubles (lignina, celulosa, hemicelulosa y sustancias pécticas); y ii). componentes del citoplasma de la célula vegetal formado también por sustancias solubles e insolubles como oligosacáridos, fructanos, almidón resistente o mananos (Gidenne *et al.*, 2010).

1.3. Efectos de la fibra en cerdas gestantes

El papel beneficioso de la fibra está ampliamente estudiado en las cerdas gestantes y presenta mejoras en los resultados reproductivos, como por ejemplo en el desarrollo folicular (Ferguson *et al.*, 2007; Webb *et al.*, 2007). Además, la fibra produce una mayor sensación de saciedad y reducción de las estereotipias, sobre todo en cerdas alojadas en jaulas, asociadas a la restricción de la alimentación (Rijnen *et al.*, 2003). Incluso llegando a estar legislado su uso por la Unión Europea "Para calmar su hambre y dada la necesidad de masticar, todas las cerdas y cerdas jóvenes vacías deberán recibir una cantidad suficiente de alimentos gruesos o ricos en fibras y alimentos con un elevado contenido energético." (Directiva 2001/88/CE del Consejo de 23 de octubre de 2001. Artículo 1.7).

Para el caso de la sensación de "hambre crónica" de las cerdas gestantes, son varios los estudios que relacionan las dietas elevadas en fibra con una disminución de las estereotipias (Ramonet *et al.*, 1999; Danielsen y Vestergaard, 2001) debido entre otras cosas al aumento de volumen de la ración, al tratarse de alimentos con menor aporte energético por Kg de pienso, y una digestión más lenta. Este efecto es más acusado en cerdas alojadas individualmente que en cerdas en grupo, ya que estas permanecen más tiempo tumbadas y realizan menos actividad física.

Otro de los posibles beneficios estudiados de la fibra son los efectos positivos sobre la microflora y la salud intestinal (Williams *et al.*, 2001). Según Ramaekers (2013) estos beneficios podrían disminuir la mortalidad de los lechones al prevenir los problemas de estreñimiento durante el periodo del

peri-parto y el parto. También se ha obtenido datos que parecen indicar un aumento en la ingesta de calostro en lechones más pequeños, disminuyendo así también la mortalidad durante la lactación (Loisel *et al.* 2013).

Se recomienda también el uso de dietas altas en fibra fermentable en el período peri-parto de las cerdas durante al menos cinco días antes del parto para prevenir el estreñimiento y estimular la salud intestinal (Tabeling *et al.*, 2003; Oliviero *et al.*, 2009). La fibra también prepara a la cerda para un mayor consumo en lactación (Guillemet *et al.*, 2006).

Sin embargo, la sensación física del estómago lleno (saciedad) asociada a la fibra puede tener consecuencias negativas reduciendo la ingestión, influenciar de forma negativa en el potencial del balance de minerales, aumentar el riesgo de la inclusión de micotoxinas o reducir la digestibilidad de algunos nutrientes (Noblet y Le Goff, 2001). También hay autores que no han observado diferencias significativas en el comportamiento de los animales, tras la inclusión de materias primas fibrosas (Holt *et al.*, 2006). Las diferentes fuentes de fibra utilizadas, podrían explicar estos resultados contradictorios. El efecto de la fibra sobre la cerda no solo va a depender del nivel de fibra, si no que como bien observa Baucells (2012), también depende del tipo de fibra ya que sus efectos pueden variar.

Las fracciones solubles de la fibra tienen un contenido elevado en pectinas que tendrán un gran efecto sobre la viscosidad en estómago e intestino delgado. La fibra soluble puede aumentar la viscosidad en la parte superior del tracto intestinal, reduciendo el vaciado estomacal y la velocidad de tránsito (Gerrits *et al.*, 2006). Esto se debe en parte a que las pectinas tienen una elevada capacidad de retención de agua que aumenta la viscosidad de la dieta, reduciendo así la velocidad del tránsito debido a una supresión de las contracciones intestinales. Como consecuencia, puede verse aminorada la mezcla de enzimas digestivas con los componentes de la dieta, disminuyendo la digestibilidad de los nutrientes. Su fermentación es amplia y rápida, pudiéndose producir en parte en el intestino delgado y completarse en el intestino grueso (Baucells, 2012). En el intestino delgado la fermentación será mayoritariamente láctica, pudiendo ciertos oligosacáridos favorecer el desarrollo de la flora láctica. Además, los productos finales de la fermentación, en su mayoría ácidos grasos de cadena corta y amoniaco se

absorben a través de la pared intestinal y los ácidos grasos de cadena corta contribuyen al aporte de energía para el animal (Gerrits *et al.*, 2006).

En cambio, las fracciones insolubles de la fibra tienen un contenido elevado en lignina. La lignina es absolutamente indigestible y no será fermentada. Tendrá un efecto mecánico sobre el tránsito de material de arrastre, aumentando la velocidad de tránsito (Gerrits *et al.*, 2006). Por lo tanto, los componentes insolubles de la fibra aumentan la velocidad de tránsito en el intestino grueso por estimulación física y aumento del nivel de lastre (Gerrits *et al.*, 2006). Este aumento de la velocidad de tránsito penaliza la acción de las enzimas digestivas, pudiendo reducir la eficacia del proceso de digestión y la digestibilidad de los nutrientes.

Estos resultados controvertidos, de efectos positivos y negativos sobre su potencial aprovechamiento e impacto sobre el nivel productivo y salud de los animales, parece deberse principalmente a la gran variabilidad de las distintas fuentes y fracciones fibrosas existentes, siendo necesario un mejor conocimiento del efecto de su inclusión en función de su naturaleza sobre su aprovechamiento y productividad.

2. OBJETIVO

El objetivo del presente trabajo fue evaluar los efectos sobre el coeficiente de digestibilidad aparente de la materia seca (MS), energía bruta (EB), proteína bruta (PB) y de las fracciones fibrosas al variar la fuente de la fibra añadida a las dietas de futuras cerdas reproductoras.

Los resultados obtenidos permitirán optimizar la formulación práctica de las dietas de las cerdas y reducir el coste de éstas mediante la selección de los ingredientes fibrosos más adecuados sin penalizar los niveles productivos del animal.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del estudio e instalaciones

El trabajo se realizó en la unidad de porcino de cebo experimental del Centro de Investigación y Tecnología Animal (CITA), localizado en Segorbe, Castellón, en la Comunidad Valenciana. El periodo experimental se llevó a cabo entre los meses de enero y mayo de 2016.

Se utilizó una sala adaptada para la realización de estudios de digestibilidad (**Figura 2**), la cual consta de 12 jaulas de digestibilidad de 1x1,2m², provistas cada una de ellas de un comedero tipo tolva holandesa y un bebedero de chupete con recogedor de pérdidas (**Figura 3**). La sala contaba con control ambiental (temperatura y ventilación). La temperatura se controló diariamente mediante calefacción con la finalidad de mantener una temperatura promedio de 16 – 20 °C.



Figura 2. Sala adaptada para estudios de digestibilidad en la Unidad de porcino de cebo experimental del Centro de Investigación y Tecnología Animal (CITA).



Figura 3. Detalle interior de jaula de digestibilidad porcino a la izquierda detalle de la tolva holandesa y a la derecha detalle del suelo de slat y paredes.

3.2. Animales y diseño experimental.

Se utilizaron un total de 12 cerdas de $123,2 \pm 8,33$ kg de peso vivo inicial, procedentes de una granja comercial de la Cooperativa Ganadera de Caspe, que se mantuvieron en estudio durante 16 semanas consecutivas.

La prueba se realizó mediante un diseño en cuadrado latino completamente balanceado. A su llegada a la explotación, los animales se pesaron, se identificaron con un crotal individual y fueron distribuidos en las 12 jaulas asignándoles un tratamiento de manera aleatoria. Se utilizaron las 12 cerdas durante 8 períodos de digestibilidad. Cada periodo de digestibilidad tuvo una duración de 2 semanas: 10 días de adaptación a los piensos y 4 días de recogida de heces. El cambio de pienso en cada periodo se realizó el último día de digestibilidad y durante los 2 primeros días de cambio se administró un pienso mezclado (50%-50%) con el del tratamiento anterior de cada animal. En cada periodo se testaron 8 tratamientos experimentales, así como 4 adicionales.

Los animales fueron alimentados con una ración diaria de 2,1 kg de pienso/día. La oferta se aumentó 100 g/cerda por cada dos periodos de digestibilidad. Al final del estudio las cerdas recibían 2,4 kg de pienso/día. El agua se aportó ad libitum durante todo el periodo experimental.

Se formularon 8 piensos experimentales a priori iso-energéticos e iso-proteicos, partiendo como base de la fórmula para cerdas gestantes y vacías actual de la Cooperativa Ganadera de Caspe. Dichos piensos se formularon con el objeto

del que el único factor de variación fuese la principal fuente de fibra. Además, cada uno de los piensos se probó en dos versiones: con la inclusión o no de enzimas, aunque a efectos de este trabajo se hablará de 4 piensos, dependiendo de su composición sin tener en cuenta la presencia de enzimas. Como enzimas se utilizó un complejo multienzimático que incluía xilanasas, hemicelulasas, pectinasas, β -glucanasas (Ronozyme VP y WX, DSM Products) y una 6-fitasa. En definitiva, se trató de un diseño factorial 4x2 (4 tipos de fuentes de fibra e inclusión o no de enzimas).

Como fuentes de fibra, se utilizaron: fuentes de glucosa insoluble-celulosa (fórmula de base maíz con girasol y soja), fuentes de manosa (fórmula de base maíz con colza y palmiste), fuentes de β -glucanos (fórmula de base cebada con girasol y soja) y fuentes de arabinoxilanos solubles (fórmula de base trigo y cilindro de arroz con girasol y germen de maíz). Las raciones experimentales proporcionadas fueron las siguientes:

- Pienso 1: Base de maíz con girasol y soja
- Pienso 2: Base de maíz con colza y palmiste
- Pienso 3: Base de cebada con girasol y soja
- Pienso 4: Base de trigo y cilindro de arroz con girasol y germen de maíz

En la **Tabla 2** se muestra la composición en ingredientes de los piensos experimentales y se muestra también sus diferencias en los polímeros de las fibras proporcionados por DSM Products.

Tabla 2. Composición de las dietas experimentales en porcentaje (%) sobre sustancia fresca

	Piensos			
	1	2	3	4
Ingredientes				
Maíz	73,6	59,4	0	0
Cebada	0	0	75,6	0
Trigo	0	0	0	58,8
Torta de palmiste	0	25,0	0	0
Cilindro de arroz	0	0	0	22,6
Harina de girasol 28% PB	20,0	0	14,4	12,2
Harina de colza 34% PB	0	10,0	0	0
Harina de soja 47% PB	4,28	2,93	4,49	0
Torta de germen de maíz 13/19	0	0	0	4,00
Manteca de cerdo	0	0	1,86	0
Grasa de pollo	0	0,86	1,85	0
Carbonato de calcio	0,91	0,67	0,79	1,04
Sal	0,41	0,38	0,40	0,53
Lisina 50 Liq	0,35	0,36	0,28	0,45
L-Treonina	0	0,04	0,01	0,05
L-Triptófano	0	0,02	0	0
Fosfato monocálcico	0,16	0	0,01	0
Corrector vitamínico-mineral ¹	0,30	0,30	0,30	0,30
Polímeros y monómeros calculados de las fibras				
Celulosa	4,08	3,60	5,54	4,25
Manosa	0,36	1,46	0,38	0,48
Ácido galaturónico	1,00	0,52	0,78	0,65
β-glucanos	0,34	0,61	2,36	0,45
Arabinosilanos	4,89	4,74	7,41	6,35

¹Composición del corrector vitamínico – mineral (Gesta HP/HYD03) por kg de pienso: Butilhidroxitolueno (BHT)(E-321), 3,00 mg; Cobre (Sulfato cúprico pentahidratado)(E-4), 10,0 mg; Hierro (Carbonato ferroso) (E-1), 105,00 mg; Yodo (Ioduro potásico) (E-2), 1,00 mg; Manganeso (Óxido de manganeso) (E-5), 50,01 mg; Selenio (Selenito sódico) (E-8), 0,20 mg; Zinc (Óxido de zinc) (E-6), 100,00 mg; 6-Fitasa (EC 3.1.3.26) (4a18), 1.500,00 FYT; Sepiolita (E-562), 0,30 g; Vitamina A (E-672), 10.000,00 UI; Vitamina D3 (E-671), 800,00 UI; Vitamina E (3a700), 35,00 mg

3.3. Muestreos y medidas

3.3.1. Pesos y consumo

Los animales se pesaron a su llegada y el último día de cada periodo de digestibilidad (que coincidía con el primer día de adaptación del siguiente periodo).

El consumo de pienso se registró durante todo el estudio. Con esta información se calculó la ganancia media diaria de peso (GMD) y el consumo medio diario de pienso (CMD).

3.3.2. Ensayo de digestibilidad

Las heces producidas durante los 4 días de recogida se pesaron cada 24 h y se mantuvieron en refrigeración (4°C) hasta el final del periodo de recogida. Al final del periodo de recogida, se realizó un pool de las heces de cada animal y se guardó una muestra representativa de aproximadamente 1 kg de heces por animal en congelación (-20°C) hasta su posterior análisis (**Figura 4**).



Figura 4. Pool de heces.

El consumo de pienso durante el balance de digestibilidad se determinó diariamente mediante el peso del pienso consumido y rechazado. Al inicio del ensayo se tomó una muestra de pienso representativa de cada tipo para su análisis.

Durante los 4 días del balance de digestibilidad se recogió una muestra representativa de cada tipo de pienso directamente de los sacos de suministro de pienso de la semana para la determinación de la MS *in situ*.

A partir de las muestras de pienso se realizaron los siguientes análisis por duplicado:

1) Análisis inmediato: MS, cenizas (cen), PB, extracto etéreo (EE), fibra bruta (FB), EB y almidón (AL)

Los análisis de MS (934.01), cen (942.05), PB (990.03), EE (920.39 con hidrólisis ácida previa a la extracción con éter) y FB (978.10) se realizaron según los métodos de la AOAC (2000).

La EB se determinó mediante una bomba calorimétrica (Gallenkamp, London, UK).

El almidón se analizó según Batey (1982), mediante un procedimiento enzimático en dos etapas, con solubilización e hidrólisis hasta maltodextrinas por α -amilasa termostable seguida de hidrólisis completa con aminoglucosidasa (Sigma-Aldrich, Steinheim, Alemania), y valoración de la glucosa mediante el sistema hexokinasa/glucosa-6-fosfato deshidrogenasa/NADP (R-Biopharm, Darmstadt, Alemania).

2) Fracciones fibrosas: Fibra Neutro Detergente (FND), Fibra Ácido Detergente (FAD), Lignina (LAD), Fibra Dietaria Total (FDT), Fibra Dietaria Soluble (FDS) y Fibra Dietaria Insoluble (FDI)

Las fracciones fibrosas (FND, FAD y LAD) se realizaron secuencialmente (Van Soest *et al.*, 1991), con pretratamiento con α -amilasa termostable y corrección por cenizas, usando un sistema de bolsas filtrantes de nylon (Ankom, Macedon, NY, EEUU). La FDT se analizó según el método AOAC 985.29 (AOAC, 2000).

La FDI se calculó como la FND corregida por la PB del residuo. El contenido FDS se calculó como la diferencia entre FDT y FDI.

3) Proteína ligada a fibra: PB-FND, PB-FDT y PB-FDS

Del residuo de la FND se analizó PB según el método descrito anteriormente (990.03) (AOAC, 2000) para calcular la proteína ligada a FDT y la proteína ligada a FND. La diferencia entre la PB-FND y la PB-FDT se estimó como la PB-FDS.

A partir de las muestras de heces individuales se analizó MS, EB y PB. Además, se realizó un pool de heces por tratamiento que se constituyó con una cantidad de 5g de cada muestra de heces por animal y periodo para ese tratamiento. A partir del pool de heces por tratamiento, se realizaron los mismos análisis que para los piensos (MS, EE, FND, FAD y FDT)

3.4. Cálculos y análisis estadístico

A partir de la composición química de las heces y los piensos el coeficiente de digestibilidad aparente (CDA) se calculó según la ecuación:

$$CDA = \frac{\text{Nutriente ingerido} - \text{Nutriente excretado}}{\text{Nutriente ingerido}} \times 100$$

Los datos se analizaron utilizando el paquete estadístico SAS® System Software (SAS 9.1, SAS Instituto Inc., Cary, Norte de California). El animal en cada periodo fue la unidad experimental en todas las variables estudiadas. El modelo estadístico utilizado fue un análisis de varianza (PROC GLM de SAS) para el análisis de datos en diseño con cambios (cuadro latino) que incluyó la fuente principal de fibra, la presencia de enzimas, el animal y el periodo de digestibilidad como efectos principales, así como la interacción fuente de fibra x presencia de enzimas. En el modelo, el efecto de las enzimas y la interacción fuente de fibra x presencia de enzimas no fueron significativos, por lo tanto, los resultados se muestran sólo por fuente de fibra. Además, se aplicaron contrastes ortogonales para realizar comparaciones de interés entre fuentes de fibra. El nivel de significación estadística se estableció en 5%, y un alfa de 0,05.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los rendimientos productivos de los animales durante el periodo experimental se recogen en la **Tabla 3**. Los animales llegaron con un peso medio de $123,2 \pm 8,33$ kg de peso vivo inicial y terminaron la prueba con $185,6 \pm 8,27$ kg de peso vivo. Tanto el peso vivo de las cerdas como el consumo medio diario aumento de forma lineal ($P < 0.001$) a lo largo del periodo experimental, ya que se trataba de animales adultos pero en crecimiento y la cantidad de pienso ofrecida fue aumentando. No existieron diferencias significativas en el peso vivo (de media $151,2 \pm 2,3$ kg) y el CMD (de media $1,98 \pm 0,03$ kg/d) entre los diferentes tratamientos.

Tabla 3. Peso de los animales al inicio de cada periodo de digestibilidad (día de comienzo de la adaptación) y consumo medio diario (CMD) de cada uno de los 12 animales durante los 8 periodos de digestibilidad

		Periodo							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Peso (kg)	Media	123,6 ^a	131,5 ^b	140,7 ^c	145,9 ^d	155,9 ^e	162,7 ^f	170,6 ^g	176,9 ^h
	EEM ¹	0,70	0,66	0,66	0,66	0,66	0,70	0,66	0,66
CMD (kg MS/día)	Media	1,84 ^a	1,85 ^a	1,94 ^b	1,94 ^b	2,03 ^c	2,03 ^c	2,11 ^d	2,11 ^d
	EEM	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008

¹EEM: Error estándar de la media. Medias que no comparten superíndice en la misma fila son diferentes a nivel $P < 0.05$.

La composición analizada de los piensos fue similar a la calculada (**Tabla 4**). La PB del pienso 2 (15,6% de media) fue ligeramente inferior a la del resto de piensos (16,2% de media). El resto de nutrientes se encontraron cercanos a los valores calculados y repetibles para todos los piensos.

Tabla 4. Composición química calculada y analizada de las dietas experimentales en porcentaje (%).

	Pienso 1	Pienso 2	Pienso 3	Pienso 4
Calculada (sobre sustancia fresca)				
Energía neta (kcal/kg)	2326	2326	2326	2326
Cenizas	3,85	4,06	4,04	5,43
Proteína bruta	13,5	13,5	13,5	13,5
Extracto etéreo	2,85	4,52	5,45	5,39
Almidón	48,4	39,5	40,5	41,1
Fibra bruta	7,44	7,73	7,50	7,02
Fibra neutro detergente	16,7	25,2	19,1	17,7
Fibra ácido detergente	8,53	13,7	8,88	9,33
Lignina ácido detergente	1,56	1,46	1,67	2,34
Polisacáridos no amiláceos	18,62	26,76	25,40	22,30
Analizada (sobre materia seca)				
Materia seca	88,6	89,2	90,0	89,0
Energía bruta (kcal/kg)	4496	4618	4621	4545
Cenizas	4,32	4,33	4,73	5,09
Proteína bruta	16,1	15,6	16,4	16,1
Proteína ligada a FND	3,34	6,25	5,13	4,08
Extracto etéreo	4,01	6,34	6,70	6,16
Almidón	52,1	41,8	41,3	47,7
Fibra bruta	6,39	7,27	7,79	6,32
Fibra neutro detergente	19,2	26,2	22,3	23,4
Fibra ácido detergente	8,16	12,67	7,93	7,41
Lignina ácido detergente	1,54	2,59	1,36	1,60
Fibra dietaria total	18,1	26,2	23,5	18,9
Fibra dietaria soluble	0,76	2,22	0,55	1,51

El análisis estadístico del efecto de la fuente de fibra sobre los CDA se resume en la **Tabla 5** y los contrastes entre los piensos en la **Tabla 6**. Se encontró un efecto claro del tipo de pienso sobre los coeficientes de digestibilidad aparente de la MS, EB y PB ($P < 0,001$), y del EE, AL y las fibras (FND, FAD, FB y FDT; $P < 0,05$), estos últimos analizados como pool.

Respecto a la fuente principal de fibra, los piensos con base maíz (piensos 1 y 2) tuvieron una mayor digestibilidad de la MS y EB que los que tuvieron cualquier otro cereal ($+2.87 \pm 0.35$ y $+2.76 \pm 0.36$ puntos porcentuales para digestibilidad de la MS y EB, respectivamente; $P < 0.001$). Los piensos de base maíz también tuvieron una mayor digestibilidad del EE comparado con el resto de cereales ($+5.26 \pm 0.98$ puntos porcentuales para digestibilidad de EE; $P < 0.05$), siendo los de base cebada los que menor digestibilidad del AL

tuvieron (-0.06 ± 0.01 puntos porcentuales para la digestibilidad del AL; $P < 0.05$). Los piensos con base trigo (pienso 4) tuvieron una mejor digestibilidad de la MS y EB que los de base cebada (pienso 3) ($+1.18 \pm 0.36$ y $+1.94 \pm 0.51$ puntos porcentuales para la digestibilidad de la MS y EB, respectivamente; $P < 0.05$).

Respecto a la fuente proteína independientemente de la base de cereal, los piensos de base proteica torta de soja (piensos 1 y 3) tuvieron unos CDA para la PB más altos que los que tuvieron los piensos a base palmiste y colza (pienso 2) o cilindro y germen (pienso 4) ($+2.12 \pm 0.44$ puntos porcentuales; $P < 0.001$).

Para las fibras, los animales alimentados con el Pienso 2 (base de maíz con colza y palmiste) presentaron una mayor digestibilidad respecto al resto de pienso (de media $+16.77 \pm 1.89$, $+29.23 \pm 1.90$, $+22.85 \pm 3.09$ y $+17.79 \pm 2.82$ puntos porcentuales para la digestibilidad de FND, FAD, FB y FDT, respectivamente; $P < 0,05$).

Tabla 5. Efecto del tipo de pienso (P) sobre los coeficientes de digestibilidad aparente de las dietas experimentales, así como efecto de la adición de enzimas (E) y su interacción (Px E).

	Tipo de pienso (TP)				EEM ¹	P-valor		
	Pienso 1	Pienso 2	Pienso 3	Pienso 4		TP	E	TPxE
Materia seca	84,96 ^d	83,71 ^c	80,47 ^a	82,46 ^b	0,35	<0,001	0,454	0,870
Energía bruta	84,57 ^c	83,54 ^c	80,32 ^a	82,26 ^b	0,36	<0,001	0,488	0,871
Proteína bruta	85,69 ^c	80,27 ^a	82,70 ^b	83,89 ^b	0,44	<0,001	0,209	0,806
Extracto etéreo	85,44 ^b	88,64 ^b	82,55 ^a	81,00 ^a	0,98	0,035	0,754	-
Almidón	99,94 ^b	99,95 ^b	99,88 ^a	99,93 ^b	0,01	0,022	0,153	-
Fibra neutro detergente	47,06 ^{ab}	63,83 ^c	42,81 ^a	53,91 ^b	1,89	0,014	0,500	-
Fibra ácido detergente	27,95 ^b	50,40 ^c	14,84 ^a	21,17 ^{ab}	1,90	0,003	0,257	-
Fibra bruta	6,87 ^a	29,72 ^b	14,44 ^a	2,66 ^a	3,09	0,026	0,814	-
Fibra dietaria total	43,01 ^a	60,80 ^b	46,40 ^a	42,96 ^a	2,82	0,052	0,814	-

¹EEM: Error estándar de la media (n=24 para materia seca, proteína bruta y energía bruta; n=4 para el resto de nutrientes)

Tabla 6. Contrastes y estimas (Est.) entre piensos (P).

Parámetro	Materia seca			Energía bruta			Proteína bruta		
	Est.	Error	P-valor	Est.	Error	P-valor	Est.	Error	P-valor
P1-P2	1,26	0,511	0,016	1,03	0,531	0,056	5,43	0,635	<0,001
P1-P3	4,50	0,495	<0,001	4,25	0,514	<0,001	2,99	0,615	<0,001
P1-P4	2,50	0,498	<0,001	2,31	0,518	<0,001	1,81	0,619	0,005
P2-P3	3,24	0,501	<0,001	3,21	0,521	<0,001	-2,43	0,622	<0,001
P2-P4	1,24	0,499	0,015	1,27	0,519	0,017	-3,62	0,621	<0,001
P3-P4	-2,00	0,493	<0,001	-1,94	0,513	<0,001	-1,18	0,613	0,058

Analizando los piensos individualmente, el Pienso 1 presentó los máximos valores de digestibilidad de la MS y la EB. Esto es debido a su elevado contenido en AL (completamente digestible) que fue claramente mayor que en los restantes piensos. Además, el contenido de este pienso en las distintas fracciones fibrosas consideradas (que representan los constituyentes menos digestibles del pienso) fue muy similar o incluso inferior al de los restantes

piensos. Por otro lado, la digestibilidad de las fracciones fibrosas no fue particularmente baja, ya que sólo fue superada por la registrada con el Pienso 2. Así, la utilización de harina de girasol y harina de soja como principales fuentes de proteína en este pienso podría estar detrás de la mayor digestibilidad de la PB, asociado también a su menor proporción de la misma ligada a la FND (20,7%, Tabla 4).

El Pienso 2 mantuvo el maíz como cereal principal, igual que en el Pienso 1, pero se cambiaron las fuentes de proteína. En este caso fueron principalmente torta de palmiste y harina de colza. Su contenido en AL cayó sensiblemente, su contenido en las distintas fracciones fibrosas fue mayor que en los restantes piensos, particularmente en el caso de la FAD. La digestibilidad de la PB fue la más baja (80,3%), que puede ser consecuencia de su mayor proporción de la misma ligada a la FND, del 40,2%, Tabla 4). Este menor CDA de la PB pudiera deberse además de a que la digestibilidad de la PB fue significativamente inferior a las del resto de bases proteicas, a que la fórmula inicial ya observaba un menor contenido en PB para estos piensos. Sin embargo, la digestibilidad de todas las fracciones fibrosas fue superior a la observada con los restantes piensos, lo que permitió amortiguar la previsible reducción de la digestibilidad de la MS y la EB con respecto al Pienso 1. En este sentido, el CDA de la EB del Pienso 2 fue similar ($P > 0.05$) al del Pienso 1. Esto se debe a que su contenido en EB era mayor que en los Pienso 1, probablemente por el mayor contenido en EE, en parte aportado por la torta de palmiste. En algunos estudios, la digestibilidad de la EB han sido mayor en piensos ricos en fibra soluble que en un pienso control (Renteria-Flores *et al.*, 2008). En este mismo estudio se observó el efecto negativo de las fibras insolubles en la digestibilidad de la EB.

El Pienso 3 mantuvo las mismas fuentes de proteína que en el Pienso 1 (harina de girasol y harina de soja) pero tuvo la cebada como principal cereal en vez de maíz. Con ello también se redujo sensiblemente el contenido en AL mientras que aumentó el de FND y FDT respecto al Pienso 1. En este caso, se mantuvo el contenido en FAD pero se redujo su digestibilidad y se redujo la digestibilidad de la PB (ya que disminuyó la proporción de la misma aportada por concentrados proteicos y aumentó la ligada a la FND hasta el

31,2%). Consecuentemente, este pienso presentó los valores más bajos de digestibilidad de la MS y EB en comparación con el resto de piensos.

Finalmente, el pienso 4 (a base de trigo, con cilindro de arroz, harina de girasol y torta de germen de maíz) redujo el contenido en AL, siendo éste intermedio entre el de los Piensos 2 y 3 y el del Pienso 1. Además, mostró un contenido fibroso similar al de los Piensos 1 y 3 y menor que el del Pienso 2. La digestibilidad de la PB fue similar a la del Pienso 3 e intermedia entre la del Pienso 2 y la del Pienso 1. El contenido EE fue similar al de los Piensos 2 y 3 y mayor que el del Pienso 1. Consecuentemente, la digestibilidad de la MS y EB fue mayor que con el Pienso 3 (con cebada) y menor que con el Pienso 2 y sobre todo que con el Pienso 1. En resumen, si comparamos estos piensos con trigo con los piensos 1 y 2 (con maíz), habría una reducción de la digestibilidad de la PB (corregible mediante aumento del contenido en PB del pienso) y de la EB (corregible mediante adición de grasa) en los piensos de trigo.

En definitiva, al elevar el contenido en fibra de los piensos, casi siempre baja la digestibilidad de este (MS, EB y PB). El efecto sobre la digestibilidad ileal de la materia orgánica y de la proteína fue calculado a partir de la información obtenida en 78 dietas estudiadas con cerdos canulados en íleon, por Bach Knudsen (2010), con el siguiente resultado:

$$\text{Digestibilidad ileal de la materia orgánica} = 95,1 - 0,135 \times \text{fibra}; R^2 = 0,77$$

$$\text{Digestibilidad ileal de la proteína} = 88,0 - 0,095 \times \text{fibra}; R^2 = 0,28$$

Es decir, la fibra ejerce un efecto negativo sobre la digestibilidad de MS y PB, aunque como se puede observar en los resultados de este trabajo, si la fracción fibra tiene una digestibilidad elevada, la digestibilidad de la EB puede no verse afectada e incluso aumentar.

Por otro lado, mediante los resultados de otros estudios (Le Goff *et al.*, 2002; Holt *et al.*, 2006 y Renteria-Flores *et al.*, 2008) también se puede observar que el efecto negativo sobre la digestibilidad aumenta cuando hablamos de un porcentaje mayor de fibra insoluble que soluble. Como ya se ha visto antes esto se puede explicar por varias razones. La digestibilidad de la fibra es menor cuanto mayor es el porcentaje de la parte insoluble, ya que es más

resistente a su uso y fermentación por la flora intestinal (Renteria-Flores *et al.*, 2008). La fibra soluble retrasa el vaciado gástrico favoreciendo la digestibilidad y absorción de los nutrientes (Davidson y McDonald, 1998) y por otro lado la fibra insoluble disminuye el tiempo de tránsito intestinal reduciendo la eficacia del proceso de digestión.

5. CONCLUSIONES

Tras analizar los datos obtenidos y en las condiciones del presente trabajo, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

1. En piensos a base de maíz, la digestibilidad de la PB disminuye al cambiar la harina de girasol y la harina de soja por torta de palmiste y harina de colza. Aunque debido al aumento de digestibilidad de las fibras el coeficiente de digestibilidad de la EB no cambia.
2. Sustituir en un pienso con base de harina de girasol y harina de soja, el maíz por la cebada disminuye de forma considerable la digestibilidad de la EB y de la PB.
3. En pienso a base de trigo con cilindro de arroz, harina de girasol y torta de germen de maíz, se reduce la digestibilidad de la EB y de la PB en comparación con los piensos con maíz.

En conclusión y a nivel práctico, fruto de los resultados de este trabajo se plantean algunas recomendaciones de formulación de dietas para cerdas reproductoras con fuentes fibrosas:

- Para mejorar la digestibilidad de la EB, siempre y cuando la formulación lo permita, maíz mejor que trigo, y trigo mejor que cebada.
- Para mejorar la digestibilidad de la PB, siempre y cuando la formulación lo permita, la mejor base es aquella que lleva harinas de soja y girasol, especialmente los que tiene base de cereal maíz.

Estas recomendaciones permiten optimizar la formulación práctica de las dietas de las cerdas. No obstante, el efecto sobre los parámetros reproductivos o indicadores de bienestar animal debería tenerse en cuenta en futuros estudios. Es necesario por lo tanto, evaluar de forma integrada los cambios en las dietas siempre que sea posible.

6. BIBLIOGRAFÍA

- AOAC, Association of Official Analytical Chemists. (2000). Official methods of analysis. Gaithersburg (MD): AOAC.
- Bach Knudsen, K. E. (2010). Características químicas y valor nutritivo de la fibra para ganado porcino. *XXVI Curso de Especialización FEDNA*, 153-171.
- Batey, I.L., (1982). Starch analysis using thermostable alpha-amylases. *Starch/Stärke* 34, 125-128.
- Baucells, F. (2012). La fibra en la nutrición de las cerdas. <https://www.3tres3.com/alimentacion_cerda/la-fibra-en-la-nutricion-de-las-cerdas_30642/> [Consulta: 28 de noviembre de 2016]
- BSAS. (2003). Nutrient Requirement Standards for Pigs. *Br. Soc. Anim. Sci.*, Penicuik, Midlothian, UK.
- Cerisuelo, A., y Torres, A. (2012). Necesidades nutricionales en porcino. 2ª Parte: Necesidades nutricionales de cerdas gestantes y verracos. *Suis*, 93, 34-43.
- Close, W. H., & Cole, D. J. A. (2003). *Nutrition of sows and boars*. Nottingham University Press.
- Danielsen, V., y Vestergaard, Ellen-Margrethe. (2001). Dietary fibre for pregnant sows: effect on performance and behaviour. *Animal Feed Science and Technology*, 90(1-2), 71-80.
- Davidson, M. H., & McDonald, A. (1998). Fiber: forms and functions. *Nutrition Research*, 18(4), 617-624.
- D'Eath, R.B., Tolkamp, B.J., Kyriazakis, I., y Lawrence, A.B. (2009). «Freedom from hunger» and preventing obesity: the animal welfare

implications of reducing food quantity or quality. *Animal Behaviour*, 77(2), 275-288.

FEDNA. (2006). En: De Blas, C., Gasa, J., Mateos, G.G. (Eds.), Necesidades nutricionales para Ganado porcino. Normas FEDNA. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal, Madrid, España.

Ferguson, E. M., Slevin, J., Hunter, M. G., Edwards, S. A., y Ashworth, Cheryl J. (2007). Beneficial effects of a high fibre diet on oocyte maturity and embryo survival in gilts. *Reproduction*, 133(2), 433-439.

Foisnet, A., Farmer, C., David, C., y Quesnel, H. (2010). Relationships between colostrum production by primiparous sows and sow physiology around parturition. *Journal of Animal Science*, 88(5), 1672-1683.

Gerrits, WJJ & Verstegen, MWA (2006). El papel de la fibra dietética en la alimentación porcina. *XXII Curso de Especialización FEDNA*, 19-35.

Gidenne, T., Carabaño, R., García, J. and C. de Blas. (2010). "Fibre Digestion" en Carabaño, R., Piquer, J., Menoyo, D., y Badiola, I. *The Digestive System of the Rabbit. Nutrition of the Rabbit*. UK, CABI Head Office: CAB International.

Guillemet, R., Dourmad, J. Y., y Meunier-Salaün, M. C. (2006). Feeding behavior in primiparous lactating sows: Impact of a high-fiber diet during pregnancy. *Journal of Animal Science*, 84(9), 2474-2481.

Holt, J. P., Johnston, L. J., Baidoo, S. K., y Shurson, G. C. (2006). Effects of a high-fiber diet and frequent feeding on behavior, reproductive performance, and nutrient digestibility in gestating sows. *Journal of Animal Science*, 84(4), 946.

Hoving, L. L., Soede, N. M., van der Peet-Schwering, C. M. C., Graat, E. A. M., Feitsma, H., y Kemp, B. (2011). An increased feed intake during early pregnancy improves sow body weight recovery and increases litter size in young sows. *Journal of Animal Science*, 89(11), 3542-3550.

- Jindal, R., Cosgrove, J. R., Aherne, F. X., y Foxcroft, G. R. (1996). Effect of nutrition on embryonal mortality in gilts: Association with progesterone. *Journal of Animal Science*, 74(3), 620-624.
- Kim, S. W., Hurley, W. L., Wu, G., y Ji, F. (2009). Ideal amino acid balance for sows during gestation and lactation. *Journal of Animal Science* (Vol. 87).
- Le Goff, G., Le Groumellec, L., van Milgen, J., Dubois, S., y Noblet J. (2002). Digestibility and metabolic utilisation of dietary energy in adult sows: influence of addition and origin of dietary fibre. *British Journal of Nutrition*, 87(4), 325-335.
- Loisel, F., Farmer, C., Ramaekers, P., y Quesnel, H. (2013). Effects of high fiber intake during late pregnancy on sow physiology, colostrum production, and piglet performance. *Journal of Animal Science*, 91(11), 5269-79.
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. MAGRAMA (2015). *Encuestas Ganaderas, análisis del número de animales por tipos*. <http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/resultadosdefinitivosporcino_mayo_2015_tcm7-397352.pdf> [Consulta: 20 de abril de 2016]
- Noblet, J., Close, W. H., Heavens, R. P., y Brown, D. (1985). Studies on the energy metabolism of the pregnant sow. 1. Uterus and mammary tissue development. *The British Journal of Nutrition*, 53(2), 251-265.
- Noblet, J., Dourmad, J. Y., y Etienne, M. (1990). Energy utilization in pregnant and lactating sows: modeling of energy requirements. *Journal of Animal Science*, 68(2), 562-572.
- Noblet, J., y Le Goff, G. (2001). Effect of dietary fibre on the energy value of feeds for pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 90(1-2), 35-52.
- NRC. (1998). Nutrient Requirements of Swine. 10th ed. National.

- Oliviero, C., Kokkonen, T., Heinonen, M., Sankari, S., y Peltoniemi, O. (2009). Feeding sows with high fibre diet around farrowing and early lactation: impact on intestinal activity, energy balance related parameters and litter performance. *Research in Veterinary Science*, 86(2), 314-319.
- Ramonet, Y., Meunier-Salaün, M. C., y Dourmad, J. Y. (1999). High-fiber diets in pregnant sows: digestive utilization and effects on the behavior of the animals. *Journal of Animal Science*, 77(3), 591-599.
- Ramonet, Y., Robert, S., Aumaitre, A., Dourmad, J. Y., & Meunier-Salaün, M. C. (2000). Influence of the nature of dietary fibre on digestive utilization, some metabolite and hormone profiles and the behaviour of pregnant sows. *Animal Science*, 70(2), 275-286.
- Ramaeker, P. (2013). Efecto de la alta ingesta de fibra en las cerdas en el parto sobre la supervivencia de los lechones. <https://www.3tres3.com/alimentacion_cerda/efecto-de-la-alta-ingesta-de-fibra-en-las-cerdas-en-el-parto-sobre_32430/> [Consulta: 28 de noviembre de 2016]
- Renteria-Flores, J. A., Johnston, L. J., Shurson, G. C., y Gallaher, D. D. (2008). Effect of soluble and insoluble fiber on energy digestibility, nitrogen retention, and fiber digestibility of diets fed to gestating sows. *Journal of Animal Science*, 86(10), 2568-2575.
- Rijnen, M. M. J. A., Verstegen, M. W. A., Heetkamp, M. J. W., Haaksma, J., y Schrama, J. W. (2003). Effects of dietary fermentable carbohydrates on behavior and heat production in group-housed sows. *Journal of Animal Science*, 81(1), 182-190.
- Tabeling, R., Schwier, S., y Kamphues, J. (2003). Effects of different feeding and housing conditions on dry matter content and consistency of faeces in sows. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 87, 116-121.
- Trowell, H. (1976). Definition of dietary fiber and hypotheses that it is a protective factor in certain diseases. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 29(4), 417-427.

- Unión Europea. Directiva 2001/88/CE del Consejo de 23 de octubre de 2001. Diario Oficial de las Comunidades Europeas, 1 de diciembre de 2001, L 316, p. 2.
- Van Soest P.J., Robertson J.B. y Lewis B.A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* 74, 3583–3597.
- Webb, R., Garnsworthy, P. C., Campbell, B. K., y Hunter, M. G. (2007). Intra-ovarian regulation of follicular development and oocyte competence in farm animals. *Theriogenology*, 68(SUPPL. 1), S22-S29.
- Weldon, W. C., Lewis, A. J., Louis, G. F., Kovar, J. L., Giesemann, M. A., y Miller, P. S. (1994). Postpartum hypophagia in primiparous sows: I. Effects of gestation feeding level on feed intake, feeding behavior, and plasma metabolite concentrations during lactation. *Journal of Animal Science*, 72(2), 387-394.
- Williams, B. A., Verstegen, M. W., y Tamminga, S. (2001). Fermentation in the large intestine of single-stomached animals and its relationship to animal health. *Nutrition Research Reviews*, 14(2), 207-228.