



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

MÁSTER OFICIAL EN PRODUCCIÓN ANIMAL

**Efecto de la adición de carbohidrasas sobre el aprovechamiento de
nutrientes en cerdas reproductoras**

Trabajo Fin de Máster

Valencia, septiembre 2016

Cristian Rokney Quispe Cépida

Directores:

María Cambra López

Alba Cerisuelo García

Juan José Pascual Amorós

Agradecimientos

A la Dra. María Cambra López, la Dra. Alba Cerisuelo García y al Dr. Juan José Pascual Amorós, por el asesoramiento y apoyo en las diferentes etapas del trabajo de investigación.

Al personal del Centro de Investigación y Tecnología Animal CITA - Segorbe y del Laboratorio de Alimentación Animal del Departamento de Ciencia Animal - UPV, por compartir sus conocimientos y apoyarme en el desarrollo de la investigación. A mis padres y familiares por su cariño y apoyo incondicional.

A la Cooperativa Ganadera Caspe por financiar el proyecto.

Finalmente, al programa Erasmus Mundus, por haberme concedido la beca mediante el proyecto Euroinkanet.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar los efectos de la incorporación de enzimas carbohidrasas, sobre el coeficiente de digestibilidad aparente de la materia seca (MS), energía, proteína y de las fracciones fibrosas en dietas de cerdas reproductoras. Para ello se formularon 8 piensos experimentales iso-energéticos e iso-proteicos en un diseño factorial 4x2 (4 tipos de fibra e inclusión o no de enzimas). Como enzimas, se empleó un complejo multienzimático que incluía xilanasas, hemicelulasas, pectinasas y β - glucanasas.

Se utilizaron 12 cerdas con $123,2 \pm 8,33$ kg de peso vivo inicial alojadas en jaulas de digestibilidad durante 8 tandas de digestibilidad de 2 semanas de duración cada uno: 10 días de adaptación a los piensos experimentales y 4 días de recogida de heces. Los animales se pesaron individualmente a su llegada y el peso se volvió a registrar el último día de cada periodo de digestibilidad. El consumo de pienso se controló durante todo el estudio. A partir de las muestras de pienso, se analizó la MS, cenizas, energía bruta (EB), proteína bruta (PB), extracto etéreo, fibra bruta, almidón, la fibra neutro detergente (FND), fibra ácido detergente (FAD), lignina, fibra dietaria total (FDT), fibra dietaria soluble y la proteína ligada a fibra. A partir de las muestras de heces individuales recogidas durante el balance de digestibilidad, se analizó la MS, PB y EB. A partir del pool de heces por tratamiento, se realizaron las mismas determinaciones que para los piensos. Los datos se analizaron mediante un análisis de varianza que incluyó el pienso (fuente 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.

No se encontraron diferencias estadísticas entre los tratamientos con y sin la adición de las enzimas ni para la interacción tipo de pienso x adición de enzima, aunque sí existieron diferencias numéricas. La mayor diferencia con la adición de enzimas se observó en las fracciones de fibras donde el coeficiente de la digestibilidad de la fibra aumentó 1,45, 2,66 y 0,73 puntos porcentuales para la FND, FAD y FDT, respectivamente. En el caso del pienso en base a palmiste y colza, la FND aumentó 2,7 puntos porcentuales, la FAD aumentó en 7,4 puntos porcentuales y la FDT 4,4 puntos porcentuales. Es por ello que, aunque la adición de enzimas no mejoró de forma significativa la digestibilidad de las fracciones fibrosas ni de otros nutrientes, su inclusión en los piensos con elevados contenidos en palmiste podrían mejorar de forma relevante el aprovechamiento de su fibra.

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the effect of the addition of carbohydrases enzymes on the apparent digestibility coefficients of dry matter (DM), energy, protein and of the fibrous fractions in breeding sows diets. Eight feed treatments (iso-energy and iso-protein) were used in a 4 x 2 factorial design (4 types of fiber and inclusion or not of enzymes). As enzymes, a multi-enzyme complex that included xylanases, hemicellulase, pectinases and β -glucanases was used.

Twelve sows (123,2 \pm 8,33 kg initial live weight) were housed in digestibility cages during 8 batches of 2 weeks each. Each batch consisted in: 10 days of adaptation to experimental feed and 4 days of feces collection. Animals are weighed individually at their arrival and the last day of each batch. Feed intake was monitored throughout the study. From feed samples, DM, ash, gross energy (GE), crude protein (CP), ether extract, crude fiber, starch, neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), lignin, total dietary fiber (TDF), soluble dietary fiber and the fiber-bound protein. Individual sample feces collected during the digestibility trials were analyzed for DM, CP and GE. Feces were pooled by treatments and the same determinations as for feed samples were conducted. Data were analyzed by analysis of variance which included feed (fiber source), the presence of enzymes, animal and digestibility batch as main effects and interaction of the source fiber x presence of enzymes.

No statistical differences between treatments were found with and without the addition of enzymes nor in the interaction type of feed x enzyme, although there were numerical differences. The larger difference with the addition of enzymes was observed in the fiber fractions where the fiber apparent digestibility coefficients increased 1.45, 2.66 and 0.73 percentage points for NDF, ADF and TDF, respectively with enzyme addition. In the case of feed based on palm oil and rapeseed, NDF increased 2.7 percentage points, ADF increased 7.4 percentage points and TDF 4.4 percentage points with enzyme addition. In conclusion, although the addition of carbohydrases did not significantly improve the digestibility of fibrous fractions or other nutrients, their inclusion in feed with high contents of palm kernel could improve fiber use.

RESUM

L'objectiu d'este treball va ser avaluar els efectes de la incorporació d'enzims carbohidrasas, sobre el coeficient de digestibilitat aparent de la matèria seca (MS), energia, proteïna i de les fraccions fibroses en dietes de truges. Amb aquest objectiv es van formular 8 pinsos experimentals iso-energètics i iso-proteics en un disseny factorial 4x2 (4 tipus de fibra i inclusió o no d'enzims). Com a enzims, es va emprar un complex multienzimàtic que incloïa fitases, xilanases, hemicelulases, pectinases i β – glucanases.

Es van utilitzar 12 truges amb $123,2 \pm 8,33$ kg de pes viu a línici allotjades en gàbies de digestibilitat durant 8 tandes de digestibilitat de 2 setmanes de duració cada una: 10 dies d'adaptació als pinsos experimentals i 4 dies de recollida d'excrements. Els animals es van pesar individualment a la seua arribada i el pes es va tornar a registrar l'últim dia de cada període de digestibilitat.

El consum de pinso es va controlar durant tot l'estudi. A partir de les mostres de pinso, es va analitzar la MS, cendres, proteïna bruta (PB), extracte eteri, fibra bruta, midó, fibra neutre detergent (FND) , fibra àcid detergent (FAD), lignina, fibra dietaria total (FDT), fibra dietaria soluble i la proteïna lligada a fibra. A partir de les mostres d'excrements individuals recotlides durant el balanç de digestibilitat, es va analitzar la MS, PB i EB. A partir del pool d'excrements per tractament, es van realitzar les mateixes determinacions que per als pinsos. Les dades es van analitzar per mitjà d'una anàlisi de varianza que va incloure el pinso (font de fibra), la presència d'enzims, l'animal i el període de digestibilitat com a efectes principals, així com la interacció font de fibra x presència d'enzims. No es van trobar diferències estadístiques entre els tractaments amb i sense l'addició dels enzims ni per a la interacció tipus de pinso x addició d'enzim, encara que sí que hi va haver diferències numèriques. La major diferència amb l'addició d'enzims es va observar en les fraccions de fibres on el coeficient de la digestibilitat de la fibra va augmentar 1,45, 2,66 i 0,73 punts percentuals per a la FND, FAD i FDT, respectivament. En el cas del pinso basant-se en torta de palma i colza, la FND es va augmentar 2,7 punts percentuals, la FAD es va augmentar 7,4 punts porcentuals i la FDT 4,4 punts percentuals. És per això que encara que l'addició d'enzims no va millorar de forma significativa la digestibilitat de les fraccions fibroses ni d'altres nutrients, la seua inclusió en els pinsos amb elevats continguts en torta de palma podrien millorar de forma rellevant l'aprofitament de la seua fibra.

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUCCIÓN | 9 |
| 1.1. La alimentación porcina y el uso de enzimas en el contexto actual | 9 |
| 1.2. Necesidades nutritivas en cerdas y el papel de la fibra | 9 |
| 1.3. Uso de enzimas | 13 |
| 1.3.1. Xilanasas | 14 |
| 1.3.2. Hemicelulasas | 15 |
| 1.3.3. β – glucanasas | 16 |
| 1.3.4. Pectinasas | 17 |
| 2. OBJETIVO | 18 |
| 3. MATERIALES Y METODOS | 18 |
| 3.1. Ubicación e instalaciones | 18 |
| 3.2. Animales y diseño experimental | 18 |
| 3.3. Medidas | 23 |
| 3.3.1. Control productivo | 23 |
| 3.3.2. Digestibilidad aparente | 23 |
| 3.3.3. Cálculos y análisis químico | 24 |
| 3.4. Cálculo y análisis estadístico | 25 |
| 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 26 |
| 5. CONCLUSIONES | 30 |
| 6. BIBLIOGRAFÍA | 30 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | Contenido | Pág. |
|----------------|---|-------------|
| Tabla 1 | Necesidades en cerdas reproductoras en situaciones estándar. Normas generales (FEDNA, 2013) | 11 |
| Tabla 2 | Carbohidrasas alimentarias, sustrato y materia primas que contiene estos sustratos (Ravindran, 2011) | 13 |
| Tabla 3 | Actividades realizadas durante cada uno de los periodos de digestibilidad | 19 |
| Tabla 4 | Ingredientes de las dietas experimentales en porcentaje (%) sobre sustancia fresca | 21 |
| Tabla 5 | Composición química de los piensos (porcentaje, % en base a materia seca) | 22 |
| Tabla 6 | Peso de los animales al inicio de cada periodo de digestibilidad (día de comienzo de la adaptación) y consumo medio diario (CMD) | 26 |
| Tabla 7 | Efecto de la adición de enzimas sobre los coeficientes de digestibilidad aparente (%) de MS, PB, EB de los piensos en cerdas reproductoras | 28 |
| Tabla 8 | Efecto de la adición de enzimas sobre los coeficientes de digestibilidad aparente (%) de las fracciones fibrosas, extracto etéreo y almidón de los piensos en cerdas reproductoras. | 28 |
| Tabla 9 | Contrastes y estimas entre piensos con y sin enzima | 29 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | Contenido | Pág. |
|-----------------|--|-------------|
| Figura 1 | Categorías de carbohidratos de la dieta sobre la base de los métodos analíticos actuales y su relación con los tipos de fibra (NRC, 2012) | 12 |
| Figura 2 | Sala de digestibilidad y detalle de las jaulas del complejo de cebo porcino del Centro de Investigación y Tecnología Animal (CITA-Segorbe) durante la fase experimental. | 19 |

Lista de abreviaturas

| | |
|------|---|
| AL | Almidón |
| AOAC | Asociación de químicos analíticos oficiales |
| CDA | Coefficiente de digestibilidad aparente |
| Cel | Celulosa |
| Cen | Cenizas |
| CMD | Consumo medio diario |
| EB | Energía bruta |
| EE | Extracto etéreo |
| EM | Energía metabólica |
| EN | Energía neta |
| FAD | Fibra ácido detergente |
| FB | Fibra bruta |
| FND | Fibra neutro detergente |
| FDI | Fibra dietaria insoluble |
| FDS | Fibra dietaria soluble |
| FDT | Fibra dietaria total |
| FS | Fibra soluble |
| GMD | Ganancia media diaria |
| Hemi | Hemicelulosa |
| IC | Índice de conversión |
| LAD | Lignina ácido detergente |
| MS | Materia seca |
| NADP | Nicotinamida adenina dinucleótido fosfato |
| PB | Proteína bruta |

1. INTRODUCCIÓN

1.1. La alimentación porcina y el uso de enzimas en el contexto actual

La alimentación representa el mayor coste de producción en el sector porcino, alcanzando más del 70% de dichos costes. Desde 2006, los precios de los ingredientes para piensos han sido muy volátiles. En la última década, estos costes se han elevado debido al incremento en los precios de la energía y la proteína (DiPietre, 2013). El incremento en determinados periodos del precio del petróleo, la utilización de cereales para la producción de bioetanol, o la prohibición europea de utilizar harinas de carne en la alimentación de los animales determinan tensiones al alza de los precios de los ingredientes (Pérez, 2010).

En respuesta a este aumento de precios de los ingredientes de los piensos, cada vez cobra mayor relevancia la inclusión de subproductos agroindustriales en la dieta animal. Estos subproductos poseen grandes cantidades de fibras en su composición, siendo estas partes indigestibles para el organismo animal.

La suplementación con aditivos como las enzimas exógenas mejoran el aprovechamiento de la fibra mejorando su digestibilidad. Se estima que para el 2019, el valor del mercado de enzimas para la producción animal alcanzará aproximadamente 1139 millones de euros con una tasa de crecimiento de 7,6% para el periodo 2014-2019 (Brufau, 2014). Entre estos aditivos se encuentran las carbohidrasas que son enzimas exógenas cuya función es mejorar el proceso de digestión de las nutrientes fibrosas en el tracto digestivo del animal y por consiguiente una mejor condición de salud del animal.

1.2. Necesidades nutritivas en cerdas y el papel de la fibra

Las necesidades energéticas en cerdas gestantes son de 2875 Kcal/Kg de energía metabólica (EM) y 2130 Kcal/kg de energía neta (EN); siendo éstas menores que las necesidades energéticas en cerdas en lactación, 2980 Kcal/Kg EM y 2250 Kcal/Kg EN (tabla 1) (FEDNA, 2013). Además, en cerdas lactantes estas necesidades varían según la cantidad de crías y la cantidad de leche (Mateos y Piquer, 1994).

La necesidad proteica en las cerdas en gestación es de 13,7 – 15,8 %; valores relativamente menores en cuanto a las cerdas en lactación 16,4 – 17,5% (tabla 1) (FEDNA, 2013).

Las necesidades en fibra bruta (FB) para cerdas gestantes son de 6 - 10%, mientras en cerdas lactantes las necesidades en FB son de 4,6 - 7,2 (tabla 1) (FEDNA, 2013). En las necesidades de almidón no hay mucha diferencia, pero las lactantes tienen mayor necesidad a diferencia de las gestantes por un punto porcentual (tabla 1).

La fibra está conformada por una fracción del contenido y pared celular de los carbohidratos vegetales que vienen a ser indigestibles para el tracto digestivo de los animales, formada por celulosa, hemicelulosa y lignina. Sin embargo, la fibra posee una parte soluble dentro de ellos esta las pectinas, β -glucanos, polisacáridos que son extraídos por el agua (figura 1) (Mateos et al., 2006).

Los sistemas digestivos de las especies animales no están capacitados para aprovechar las diferentes fracciones de la fibra, debido a que no poseen las enzimas endógenas necesarias para aprovechar estas fracciones fibrosas (Bedford, 2000).

En cuanto a las cerdas, éstas no poseen el sistema digestivo con capacidad de usar las partes fibrosas de los alimentos, por no poseer enzimas endógenas para la utilización de las fibras, siendo eliminadas en las heces, ocasionando gastos económicos en la alimentación de éstas. Sin embargo, es recomendable el uso de dietas altas en fibras en cerdas gestantes días antes del parto con la finalidad de prevenir el estreñimiento, estimular la salud intestinal (Ramaekers, 2013), incrementar la sensación de saciedad y evitar estereotipias (Baucells, 2012). Adicionar la fibra reduce la ingestión de energía evitando el incremento de peso de los animales ocasionando problemas durante el parto, mejora la consistencia de las heces y el tránsito por el colon además de mejorar los rendimientos productivos (Baucells, 2012).

Además, la fibra promueve un funcionamiento normal del tracto digestivo lo que influye en el paso de la ingesta y por lo tanto evita que se origine desórdenes intestinales (Morgado et al., 2009). En consecuencia, con la adición de fibra, se obtienen efectos positivos sobre el estatus sanitario y la productividad en lechones en sus primeros días (Mateos et al., 2006).

No obstante, en grandes cantidades, la fibra puede tener efectos negativos sobre la palatabilidad y el consumo voluntario, digestibilidad de los piensos, además de reducir la productividad (Mateos et al., 2006). En cerdas reproductoras no tiene efectos sobre la condición corporal y el desempeño reproductivo (Philippe et al., 2015). En este sentido, la fibra puede considerarse como un factor anti nutricional ya que dependerá de la cantidad que se suministre a los animales para tener resultados positivos o negativos en la parte de salud y productividad (Mateos et al., 2006).

Tabla 1. Necesidades en cerdas reproductoras en situaciones estándar. Normas generales.

| Nutriente | Unidad | Gestación estándar | Lactación estándar |
|---------------------------------|---------|--------------------|--------------------|
| Energía metabólica | kcal/kg | 2,875 | 2,980 |
| Energía neta | kcal/kg | 2,130 | 2,250 |
| Extracto etéreo, mínimo | % | 3,1 | 5,4 |
| Fibra bruta, mínimo – máximo | % | 6,0 - 10,0 | 4,6 - 7,2 |
| Fibra neutro detergente, mínimo | % | 18 | 15 |
| Almidón, mínimo. | % | 33 | 34 |
| Proteína bruta, mínimo – máximo | % | 13,7-15,8 | 16,4 – 17,5 |

Fuente: FEDNA (2013)

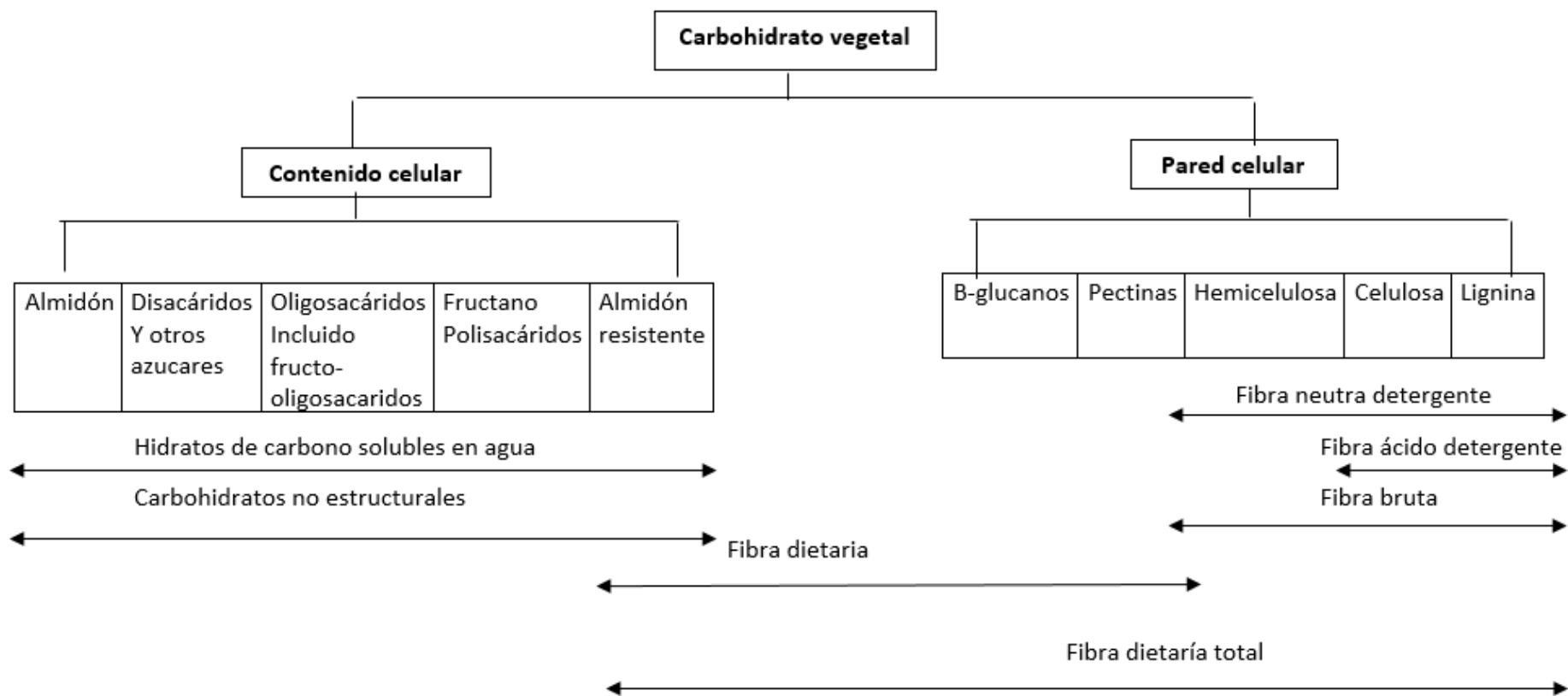


Figura 1: Categorías de carbohidratos de la dieta sobre la base de los métodos analíticos actuales y su relación con los tipos de fibra (NRC, 2012)

1.3. Uso de enzimas

Las enzimas pueden ser de origen bacteriano, vegetal, animal y/o sintéticas actuando como catalizadores facilitando la digestión de algunos nutrientes que algunas especies animales no son capaces de digerir como es el caso de las partes fibrosas de los piensos en porcinos.

En la actualidad una de las enzimas que se emplean en mayor grado en alimentación animal son las carbohidrasas. Las carbohidrasas más utilizadas en porcino son las que se describen en la tabla 2 con su respectivo sustrato y materia prima, estos sustratos son parte de los ingredientes que componen el pienso de los animales. Las carbohidrasas actúan generalmente sobre cereales ricos en fibra.

Tabla 2: Carbohidrasas alimentarias, sustrato y materia primas que contiene estos sustratos.

| Enzima | Sustrato | Materia prima |
|---------------------|----------------|---------------------------------------|
| Xilanasas | Arabinoxilanos | Trigo, centeno, cebada, fibra vegetal |
| Hemicelulasas | Hemicelulosa | Maíz, arroz, sorgo, trigo. |
| Pectinasas | Pectinas | Maíz, cebada, avena. |
| β -glucanasas | Beta glucanos | Cebada, avena y centeno |

Fuente: Ravindran (2011)

La utilización de cada uno de estas enzimas en la alimentación animal, tiene como finalidad incrementar la eficiencia en la utilización de los nutrientes que proporciona cada alimento. Con el uso de estas enzimas se pretende conseguir un mayor rendimiento al costo de alimentación, mejorando el valor nutritivo de las materias primas que se utilizan en la preparación de los piensos y reducir la contaminación ambiental de algunos nutrientes que en cantidades mayores son dañinos para el medio ambiente.

En la literatura hay numerosos ejemplos que indican que la suplementación con carbohidrasas en porcino puede tener ventajas en el aprovechamiento de los nutrientes. Agyekuma et al. (2016) obtuvieron una mejora de la digestibilidad de la materia seca (MS), energía bruta (EB), almidón (AL), fibra neutro detergente (FND) con la adición de un cóctel multienzimático compuesto por carbohidrasas en cerdos en crecimiento.

De igual manera, en cerdos en crecimiento, la adición de carbohidrasas mejoró la digestibilidad de la energía y aminoácidos esenciales (Kiarie, 2010). En cerdas lactantes, la adición de un complejo de carbohidrasas incrementó la digestibilidad de la MS y del nitrógeno (De Souza et al., 2007).

A continuación, se detallan las características de las enzimas que se recogen en la tabla 2 utilizadas como ingredientes en los piensos del presente trabajo y su interés e implicaciones en el ganado porcino.

1.3.1. Xilanasas:

En los monogástricos el xilano viene a ser una fuente dietética que está limitada por la falta de enzimas intestinales para degradar este material en azúcares simples. Por lo tanto, el aprovechamiento de este polisacárido en estos animales puede mejorarse con la introducción de xilanasas (Ali et al., 1995).

Las xilanasas son enzimas que se pueden complementar en las dietas de los cerdos con el fin de mejorar la digestibilidad de fibra ácido detergente (FAD), MS, FND (Adami et al., 2015) y AL (Li et al., 2010). Todos estos efectos en cerdos en crecimiento, tuvo como resultados el incremento de la utilización de los nutrientes (Ndou et al., 2015), mejorando las tasas de conversión alimenticia por lo tanto el incrementó o ganancia diaria de peso medio corporal (Lipinnski et al., 2013). En cerdas reproductoras la inclusión de xilanasas tuvo, efectos positivos sobre la digestibilidad en proteína (De Souza et al., 2007). Sin embargo, en cerdos en crecimiento, las xilanasas tuvieron efectos en la disminución de la viscosidad de la digesta yeyunal (Adami et al., 2015), aumentó la digestibilidad aparente de algunos aminoácidos esenciales (Li et al., 2010). En lechones destetados, la xilanasas tuvo

efectos sobre la reducción de la concentración de nitrógeno en el plasma sanguíneo (Yin et al., 2001).

En cuanto a la reducción en la contaminación ambiental, la adición de xilanasas tiene efectos sobre la reducción de las emisiones de olor de estiércol de los cerdos (O'Shea et al., 2014).

Las xilanasas generalmente se utiliza en mezcla con otras carbohidrasas. En lechones destetados, al suplementar una mezcla de xilanasas y β -glucanasas aumentaron la digestibilidad del AL y la digestión de la proteína (Kim et al., 2005). En una mezcla de xilanasas, proteasa y amilasa mejoró la digestibilidad de componentes de la dieta (Li et al., 2010). En dietas de cebada para cerdos en engorde, una mezcla de carbohidrasas (xilanasas, β -glucanasas) disminuyó la población de enterobacterias (Smith et al., 2010), además de tener valores positivos sobre la salud del animal, como disminuir la incidencia de diarreas en cerdos recién destetados (Tapingkae et al., 2008).

Sin embargo, no siempre se encuentra valores positivos con la adición de xilanasas. Otros estudios indican que, en cerdos en crecimiento, la xilanasas no mejoró la digestibilidad de nitrógeno y FND (Agyekumet et al., 2015), como no tuvo efectos sobre la morfología intestinal (Adami et al., 2015). Esto puede deberse a muchos factores, tales como los niveles de enzimas que se le añade en la dieta (Ndou et al., 2015), el proceso de fermentación en el intestino delgado (Yin et al., 2001), origen de la enzima (microbiano) y el sustrato de la dieta (Ndou et al., 2015). A la vez pueden existir múltiples factores que pueden interferir en el proceso digestivo, y un factor condicional puede ser el animal (estado fisiológico y edad), ya que cada organismo es diferente en cuanto a la respuesta a un mismo sustrato.

1.3.2. Hemicelulasas

La hemicelulosa viene a ser uno de las estructuras de la pared celular que posee las plantas, teniendo como característica de indigestible en el sistema digestivo de los seres vivos.

Las hemicelulasas, como función principal tiene la hidrólisis parcial de los materiales lignocelulósicos, descascarado de los granos de cereales, la hidrólisis de las β -

glucanos, disminución de la viscosidad intestinal, mejorando la calidad nutricional de los piensos (Bhat, 2000).

En cerdos de acabado, se suplementó un complejo enzimático de carbohidrasas, de la cual fue parte la hemicelulasas, donde se obtuvo valores positivos aumentando la digestibilidad ileal aparente de la MS, incremento de la digestibilidad ileal aparente de los aminoácidos esenciales como metionina, cisteína, treonina, serina, y tirosina, incrementando el valor nutritivo de los alimentos (Ayoade et al., 2012).

En un experimento de digestibilidad in vitro con guisantes y ensilado de trigo donde se adhirió enzimas: hemicelulasas, celulasas y pectinasas, enriquecidos con inóculos de bacterias lácticas, disminuyó el contenido de FAD y FND, obteniendo como conclusión que la adhesión de estas enzimas mejora la digestibilidad de las fracciones fibrosas (Weinberg et al., 1995).

1.3.3. β - glucanasas

Las β -glucanos se encuentran en la pared celular de los vegetales. Se utilizan las β -glucanasas enzimas que tiene como finalidad de incrementar la digestibilidad de algunos polímeros que son parte de la estructura de los ingredientes de los piensos. Generalmente esta enzima es utilizada en una asociación con otras carbohidrasas con la finalidad de incrementar la eficacia en la alimentación animal. Las β -glucanasas siempre está presente en la mayoría de las pre mezclas de aditivos (Dehghani et al., 2012).

La asociación de β - glucanasas y xilanasas mejoran la utilización de la energía en cerdos en crecimiento aumentando la digestibilidad de los co-productos, cereales y granos mixtos (Kiarie et al., 2012). En lechones destetados, la adición de las β -glucanasas en los piensos mejora el aprovechamiento de algunos nutrientes como FND, MS, proteína bruta(PB), AL (Kim et al., 2005). En una asociación con fitasas, la suplementación con β - glucanasas aumentó el coeficiente de digestibilidad ileal de la energía, dando menores pérdidas endógenas (Kiarie et al., 2010). Estos resultados reflejan la actividad positiva que tienen estos aditivos para mejorar la eficacia del aprovechamiento de los nutrientes que se suministra al cerdo.

1.3.4. Pectinasas

La pectina es un carbohidrato vegetal complejo que forma parte de pared celular, además de ser parte de la célula en los espacios intercelulares. En contacto con los líquidos la pectina tiene la capacidad de absorber agua y formar gel en contacto con el sistema digestivo de los animales dificultando la digestión de los nutrientes.

Para incrementar la digestibilidad de las pectinas se utiliza las pectinasas, enzimas que tienen como sustrato la pectina que poseen los ingredientes que conforman los piensos de los animales. La adición de las pectinasas en la dieta en cerdos es beneficiosa, pero generalmente tiene una acción en combinación con otras carbohidrasas como las xilanasas o β -glucanasas, obteniendo buenos resultados en la digestión de los nutrientes.

En cerdos en crecimiento, se suministró dietas que contenían un complejo multienzimático formado en parte por pectinasas, y se observó un aumento de la energía metabolizable, energía digestible en 108 y 146 kcal/kg, respectivamente (Soria et al., 2009). De igual manera con cerdos en crecimiento se mejoró la digestibilidad de la energía a nivel del íleon de granos secos de destilería, sin embargo, la respuesta en crecimiento no fue consistente (Ávalos et al., 2011).

La adición de carbohidrasas mediante complejos multienzimático en lechones y cerdos en crecimiento ha sido ampliamente estudiada. Sin embargo, su potencial efecto en dietas ricas en fibra en cerdas reproductoras ha sido estudiado en menor medida.

2. OBJETIVO

El objetivo del presente trabajo fue evaluar los efectos de la incorporación de carbohidrasas, sobre el coeficiente de digestibilidad aparente de la MS, energía, proteína y de las fracciones fibrosas en dietas de cerdas reproductoras.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación 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.

En el estudio se empleó una sala del complejo de cebo de porcino (sala 3) del CITA, donde se realizaron los estudios de digestibilidad correspondientes. 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.

Los análisis químicos posteriores se realizaron en el Laboratorio de Alimentación Animal del Departamento de Ciencia Animal de la Universitat Politècnica de Valencia (UPV).

3.2. Animales y diseño experimental

Se utilizaron 12 cerdas de $123,2 \pm 8,33$ kg de peso vivo procedentes de una granja comercial de la Cooperativa Ganadera de Caspe. La prueba se realizó mediante un diseño en cuadrado latino completamente balanceado. Se utilizaron 12 corrales de digestibilidad ($1 \times 1,2$ m²) (Figura 2) y las 12 cerdas durante 8 períodos de digestibilidad. Cada periodo de digestibilidad tuvo una duración de 2 semanas: 1 semana de adaptación, 4 días de recogida de heces y 2 días de cambio de tratamiento (tabla 3). 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 estuvieron los 8 tratamientos, así como 4 adicionales.

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.

Tabla 3: Actividades realizadas durante cada uno de los periodos de digestibilidad.

| DIAS | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
|---------|---------------|---|----------------------|---|---|---|---|---|---|----------------|----|----|----|----|
| PERIODO | CAMBIO PIENSO | | ADAPTACIÓN AL PIENSO | | | | | | | DIGESTIBILIDAD | | | | |

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. El agua se aportó *ad libitum* durante todo el periodo experimental.



Figura 2: Sala de digestibilidad y detalle de las jaulas del complejo de cebo porcino del Centro de Investigación y Tecnología Animal (CITA- Segorbe) durante la fase experimental.

Se formularon 8 piensos experimentales iso-energéticos e iso-proteicos, partiendo como base de la fórmula para cerdas gestantes y vacías actual de la Cooperativa Caspe. Dichos piensos se formularon con el objeto del que el único factor de variación la inclusión o no de enzimas que puedan mejorar su utilización, en un diseño factorial 4x2 (4 tipos de fibra e inclusión o no de enzimas).

Como enzimas, se empleó un complejo multienzimático que incluía xilanasas, hemicelulasas, pectinasas y β - glucanasas. Así, las raciones experimentales serían las siguientes:

- Pienso 1: Base de maíz con girasol y soja sin enzimas.
- Pienso 2: Base de maíz con girasol y soja con enzimas.
- Pienso 3: Base de maíz con palmiste y colza sin enzimas.
- Pienso 4: Base de maíz con palmiste y colza con enzimas.
- Pienso 5: Base de cebada con girasol y soja sin enzimas.
- Pienso 6: Base de cebada con girasol y soja con enzimas.
- Pienso 7: Base de trigo y cilindro de arroz con girasol y germen de maíz sin enzimas.
- Pienso 8: Base de trigo y cilindro de arroz con girasol y germen de maíz con enzimas.

La tabla 4 recoge los ingredientes de las dietas experimentales y la tabla 5 recoge la composición química de los piensos.

Tabla 4: Ingredientes de las dietas experimentales en porcentaje (%) sobre sustancia fresca

| Ingredientes | Piensos | | | |
|--|---------|-------|-------|-------|
| | 1 y 2 | 3 y 4 | 5 y 6 | 7 y 8 |
| Ingredientes | | | | |
| Maíz | 73,6 | 59,4 | 0 | 0 |
| Cebada | 0 | 0 | 75,6 | 0 |
| Trigo | 0 | 0 | 0 | 58,8 |
| Palmiste expeller | 0 | 25,0 | 0 | 0 |
| Salvado de arroz | 0 | 0 | 0 | 22,6 |
| Harina de girasol 28% PB | 20,0 | 0 | 14,4 | 12,2 |
| Colza 34% PB | 0 | 10,0 | 0 | 0 |
| Harina de soja 47% PB | 4,28 | 2,93 | 4,49 | 0 |
| 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 |
| Fosfato monocálcico | 0,16 | 0 | 0,01 | 0 |
| Triptófano | 0 | 0,02 | 0 | 0 |
| Corrector vitamínico-mineral* | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,30 |
| Monómeros 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 |
| Glucanos | 0,34 | 0,61 | 2,36 | 0,45 |
| Arabinosilanos | 4,89 | 4,74 | 7,414 | 6,35 |
| Enzimas (kg/t de pienso) en las versiones 2, 4, 6 y 8 | | | | |
| Ronozyme VP (DSM Products) | 0,5 | 0,5 | 0,4 | 0,4 |
| Ronozyme WX (DSM Products) | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |

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

Tabla 5: Composición química de los piensos (porcentaje, % en base a materia seca).

| | Pienso 1 | Pienso 2 | Pienso 3 | Pienso 4 | Pienso 5 | Pienso 6 | Pienso 7 | Pienso 8 |
|-------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Calculada | | | | | | | | |
| 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 (FND) | 16,7 | | 25,2 | | 19,1 | | 17,7 | |
| Fibra ácido detergente (FAD) | 8,53 | | 13,7 | | 8,88 | | 9,33 | |
| Lignina | 1,56 | | 1,46 | | 1,67 | | 2,34 | |
| Fibra soluble (FND) | 0 | | 0 | | 4,50 | | 2,16 | |
| Fibra soluble (FAD) | 7,99 | | 11,1 | | 14,7 | | 10,5 | |
| Fibras totales | 16,49 | | 24,86 | | 23,60 | | 19,82 | |
| Polisacáridos no amiláceos | 18,62 | | 26,76 | | 25,40 | | 22,30 | |
| Analizada | | | | | | | | |
| Materia seca | 88,7 | 88,6 | 89,0 | 89,4 | 90,0 | 89,9 | 89,0 | 88,9 |
| Energía bruta (kcal/kg) | 4018 | 3952 | 4117 | 4117 | 4161 | 4153 | 4057 | 4030 |
| Cenizas | 3,51 | 4,14 | 3,83 | 3,89 | 4,19 | 4,32 | 4,53 | 4,54 |
| Proteína bruta | 14,3 | 14,3 | 13,9 | 13,8 | 14,8 | 14,7 | 14,2 | 14,4 |
| Extracto etéreo | 3,59 | 3,53 | 5,68 | 5,62 | 5,96 | 6,09 | 5,59 | 5,36 |
| Almidón | 45,9 | 46,5 | 36,9 | 37,6 | 37,2 | 37,2 | 41,7 | 43,2 |
| Fibra bruta | 5,74 | 5,59 | 6,55 | 6,42 | 6,83 | 7,19 | 5,70 | 5,54 |
| FND | 16,9 | 17,2 | 23,4 | 23,1 | 20,6 | 19,6 | 21,3 | 20,4 |
| FAD | 7,40 | 7,06 | 11,07 | 11,53 | 7,26 | 7,00 | 6,50 | 6,67 |
| Lignina | 1,28 | 1,45 | 2,13 | 2,50 | 1,25 | 1,20 | 1,38 | 1,47 |
| Fibra dietaría total | 16,0 | 16,2 | 23,4 | 23,4 | 21,5 | 20,8 | 17,4 | 16,2 |
| Proteína ligada a FND | 15,2 | 15,6 | 21,3 | 21,5 | 20,1 | 21,2 | 15,5 | 15,4 |
| Fibra soluble | 0,77 | 0,58 | 2,06 | 1,90 | 1,40 | 0 | 1,87 | 0,81 |

3.3. Medidas

3.3.1. Control productivo

Los animales se pesaron a su llegada y el último día de recogida de cada periodo de digestibilidad. El consumo de pienso se registró durante todo el estudio (ecuación 1). Con esta información se calculó las variables de rendimiento medidas como: Ganancia media diaria de peso (GMD) y el consumo medio diario de pienso (CMD).

Ecuación 1:
$$\text{Pienso consumido} = \text{Pienso ofertado} - \text{Pienso rechazado}$$

3.3.2. Digestibilidad aparente

Las heces producidas por cada animal durante los 4 días de recogida se recogieron y se pesaron cada 24 h. Después se mantuvieron en refrigeración (4°C) hasta el final del periodo de recogida.

Al final del periodo de recogida (4 días) se realizó un pool de heces por animal y se guardó una muestra representativa de aproximadamente 1 kg de heces por animal en congelación (-20°C) hasta su posterior análisis. El consumo de pienso durante el balance de digestibilidad se determinó diariamente mediante el peso del pienso rechazado, siguiendo la ecuación 1.

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 MS in situ.

3.3.3. Cálculos y análisis químico

El análisis químico se realizó con las muestras de heces y pienso. El análisis químico para MS, EB, PB en las heces, se realizó en cada una de las muestras por animal por cada periodo. Mientras que el análisis químico de las heces para extracto etéreo (EE), AL, FB, FND, lignina ácido detergente (LAD), FAD, fibra dietaria total (FDT), fibra soluble (FS), fueron analizadas en un pool realizado de las heces por tratamiento. Para el pienso se realizó una única determinación.

Análisis inmediato: materia seca, cenizas, proteína bruta, extracto etéreo, fibra bruta y almidón.

Los análisis de MS (934.01), cenizas(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).

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).

a) Fracciones fibrosas: fibra neutro detergente, fibra ácido detergente, fibra dietaria total, fibra dietaria soluble y fibra dietaria insoluble.

Las fracciones fibrosas (FND, FAD) 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.

b) 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 FND.

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 2:

Ecuación 2:

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

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) que incluyó el pienso (fuente 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. Además, se aplicaron contrastes ortogonales para realizar comparaciones de interés, como la inclusión de enzima. El nivel de significación estadística se estableció en 5%, y un alfa de 0,05.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los animales llegaron con un peso medio de $123,2 \pm 8,33$ kg y terminaron la prueba con $185,6 \pm 8,27$ kg de peso vivo. Tanto el peso vivo como el consumo medio diario de las cerdas, aumentó de forma lineal ($P < 0.001$) a lo largo del período experimental como se muestran en la tabla 6.

Tabla 6. Peso de los animales al inicio de cada periodo de digestibilidad (día de comienzo de la adaptación) y consumo medio diario (CMD).

| | | 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 | 0,70 | 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. MS: Materia seca. Medias que no comparten superíndice en la misma fila son diferentes a nivel $P < 0.05$.

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 (tipo de pienso). Con respecto a la digestibilidad aparente de los nutrientes estudiados los coeficientes de digestibilidad de la MS, EE, PB (tabla 7) FND, FAD, FDT y AL (tabla 8) fueron significativamente diferentes ($P < 0.05$) entre los diferentes tipos de pienso. Sin embargo, no se encontraron diferencias estadísticas ($P < 0.05$) entre los tratamientos con y sin la adición de las enzimas (tabla 7 y 8). De igual manera, no se obtuvieron diferencias significativas para la interacción del tipo de pienso x adición de enzima (tabla 8), aunque sí existieron diferencias numéricas. En este sentido, el aumento del coeficiente de digestibilidad con la adición de enzimas con respecto a los piensos sin enzimas fue especialmente importante para las fracciones de fibras, especialmente de FND y FAD. El coeficiente de la digestibilidad de la fibra aumentó 1,45; 2,66 y 0,73 puntos porcentuales para la FND, FAD y FDT con la adición de enzimas, respectivamente. Los mejores resultados se obtuvieron entre los piensos 3 y 4 (base palmiste y colza). En este pienso, la FND aumentó 2,7 puntos porcentuales, la FAD aumentó en 7,4 puntos porcentuales y la FDT 4,4 puntos porcentuales. Por lo tanto, la adición de carbohidrasas en los piensos con elevados contenido en palmiste (*circa* 25% sobre materia fresca) podría mejorar de forma relevante el aprovechamiento de la fibra.

El principal objetivo que se persigue a la hora de añadir carbohidrasas en los piensos es mejorar el proceso de digestión de los nutrientes en el organismo animal y, por consiguiente, la productividad, condición corporal y salud del animal. En el presente trabajo, la inclusión de diferentes complejos multienzimáticos a base de carbohidrasas en los piensos de cerdas no tuvo efectos significativos en la digestibilidad de los diferentes nutrientes estudiados ni en la digestibilidad de la energía. En cerdos en crecimiento, Agyekum et al. (2015) encontraron diferencias significativas en la digestibilidad de la MS y del AL de los granos secos de destilería con la adición de carbohidrasas, donde obtuvieron un mayor coeficiente de digestibilidad para MS y AL en los piensos, además de no encontrar diferencias significativas para FND y nitrógeno. Los factores que puedan haber influido podrían ser la adición de otras enzimas como proteasa, amilasa, y la diferencia de edad de los animales a diferencia del presente trabajo.

Es difícil hacer comparaciones ya que incluso en un mismo estudio, la mayoría de las veces se obtienen diferencias para algunos nutrientes y no para todos. Por ejemplo en lechones destetados se obtuvo mejora en la digestibilidad en energía digestible, ocurriendo lo contrario con el PB, MS, AL (Kim et al., 2005); la diferencia entre trabajos viene a ser: la edad, inclusión del trigo en los ingredientes y el tamaño de partícula.

Según reportado por Soria et al. (2009), la adición del complejo enzimático (pectinasas, β -glucanasas y hemicelulasas) en la dieta de cerdos en crecimiento, mejoró la digestibilidad de la energía y algunos minerales (Ca y P).

En cuanto a la interacción del pienso y las enzimas no se encontró diferencias significativas para ningún nutriente. Sin embargo en cerdos en destete alimentados con trigo se encontraron diferencias significativas para energía digestible, pero para otros nutrientes no hubo diferencias significativas (Kim et al., 2005). Es importante mencionar que la información relativa a la digestibilidad de los piensos con la adición de carbohidrasas en cerdas es muy limitada en la bibliografía. La mayoría de estudios en este sentido se focalizan en lechones, principalmente, pero también en cerdos de cebo.

Tabla 7. Efecto de la adición de enzimas sobre los coeficientes de digestibilidad aparente (%) de materia seca (MS), proteína bruta (PB), energía bruta (EB) de los piensos en cerdas reproductoras a partir de las heces individuales.

| | Pienso | | | | | | | | EEM | Sin | Con | EEM | P- valor | | |
|-----------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|----------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | | Enzima | | | P | E | P X E |
| MS | 84,71 | 85,21 | 83,57 | 83,84 | 80,23 | 80,70 | 82,57 | 82,36 | 0,516 | 82,77 | 83,03 | 0,248 | <,0001 | 0,454 | 0,870 |
| PB | 85,26 | 86,13 | 79,81 | 80,73 | 82,77 | 82,63 | 83,62 | 84,16 | 0,642 | 82,87 | 83,41 | 0,308 | <,0001 | 0,209 | 0,806 |
| EB | 84,36 | 84,78 | 83,34 | 83,73 | 80,10 | 80,55 | 82,40 | 82,13 | 0,537 | 82,55 | 82,80 | 0,258 | <,0001 | 0,488 | 0,871 |

EEM: error estar de la media, P: pienso (n=12), E: enzima (n=48).

Pienso 1: Base de maíz con girasol y soja sin enzimas, Pienso 2: Base de maíz con girasol y soja con enzimas, Pienso 3: Base de maíz con palmiste y colza sin enzimas, Pienso 4: Base de maíz con palmiste y colza con enzimas, Pienso 5: Base de cebada con girasol y soja sin enzimas, Pienso 6: Base de cebada con girasol y soja con enzimas, Pienso 7: Base de trigo y cilindro de arroz con girasol y germen de maíz sin enzimas, Pienso 8: Base de trigo y cilindro de arroz con girasol y germen de maíz con enzimas.

Tabla 8. Efecto de la adición de enzimas sobre los coeficientes de digestibilidad aparente (%) del extracto etéreo(EE), fibra neutro detergente(FND), fibra ácido detergente(FAD), fibra dietaria total(FDT), almidón(AL) de los piensos en cerdas reproductoras a partir de un pool de heces por tratamiento.

| | Pienso | | | | | | | | Sin | Con | EEM | P - valor | |
|------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-----------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | Enzima | | | P | E |
| EE | 83,29 | 84,55 | 87,92 | 88,63 | 83,50 | 84,41 | 81,36 | 81,99 | 84,24 | 84,58 | 0,691 | 0,036 | 0,754 |
| FND | 38,29 | 47,75 | 61,58 | 64,30 | 50,25 | 45,36 | 52,57 | 58,19 | 51,18 | 52,63 | 1,334 | 0,013 | 0,500 |
| FAD | 18,64 | 21,88 | 45,35 | 52,70 | 24,10 | 19,04 | 16,73 | 30,30 | 27,26 | 29,92 | 1,345 | 0,003 | 0,257 |
| FDT | 34,26 | 39,90 | 57,32 | 61,76 | 52,07 | 49,22 | 43,61 | 46,29 | 47,93 | 48,66 | 1,996 | 0,052 | 0,814 |
| AL | 99,91 | 99,95 | 99,95 | 99,95 | 99,89 | 99,89 | 99,92 | 99,95 | 99,92 | 99,93 | 0,005 | 0,022 | 0,153 |

EEM: error estar de la media, P: pienso (n=2), E: enzima (n=4).

Pienso 1: Base de maíz con girasol y soja sin enzimas, Pienso 2: Base de maíz con girasol y soja con enzimas, Pienso 3: Base de maíz con palmiste y colza sin enzimas, Pienso 4: Base de maíz con palmiste y colza con enzimas, Pienso 5: Base de cebada con girasol y soja sin enzimas, Pienso 6: Base de cebada con girasol y soja con enzimas, Pienso 7: Base de trigo y cilindro de arroz con girasol y germen de maíz sin enzimas, Pienso 8: Base de trigo y cilindro de arroz con girasol y germen de maíz con enzimas.

Contrastes y estimas entre piensos y enzimas

Según los contrastes, aunque en ningún caso la adición de enzimas en las dietas fue estadísticamente significativas ($P < 0,05$) (tabla 9), la inclusión de enzimas mejoró los coeficientes de digestibilidad, MS: 0,26 unidades, EB: 0,25 unidades, PB: 0,55 unidades (tabla 9), resultados que pueden resultar no significativas estadísticamente, pero si relevante en cuanto a la digestión de los nutrientes.

Tabla 9. Contrastes y estimas entre piensos con y sin enzima

| | Con Enzima – Sin Enzima | | |
|----------------|-------------------------|-------|---------|
| | Estimas | Error | P-valor |
| Materia seca | 0,26 | 0,346 | 0,454 |
| Energía bruta | 0,25 | 0,360 | 0,488 |
| Proteína bruta | 0,55 | 0,430 | 0,209 |

5. CONCLUSIONES

- La adición de carbohidrasas no mejoró de forma significativa la digestibilidad de la MS, energía, proteína ni de las fracciones fibrosas evaluadas en los piensos de cerdas reproductoras.
- La adición de carbohidrasas en los piensos con elevado contenido en palmiste (*circa* 25% sobre sustancia fresca) podría mejorar de forma relevante el aprovechamiento de su fibra.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Adami P. A, Inkyung P, Peter F, Elke V. H, Sung W. K., 2015. Effect of dietary supplementation of xylanase on apparent ileal digestibility of nutrients, viscosity of digesta, and intestinal morphology of growing pigs fed corn and soybean meal based diet. *Advancing Research Evolving Science. Animal Nutrition* 1:19 - 23
- Agyekuma A.K, Regassaa A, Kiariea E, Nyachotia C.M, 2016. Nutrient digestibility, digesta volatile fatty acids, and intestinal bacterial profile in growing pigs fed a distillersdried grains with solubles containing diet supplemented with a multi-enzyme cocktail. *Animal Feed Science and Technology* 212:70–80.
- Ali S, Hall J, Soole K. L, Fontes C.M.G.A, Hazlewood G.P, Hirst B.H, Gilbert H.J., 1995 Targeted expression of microbial cellulases in transgenic animals. *Carbohydrate Bioengineering* 10:279-293.
- Ayoade D. I, Kiarie E, Woyengo T. A, Slominski B. A, Nyachoti C. M., 2012. Effect of a carbohydrase mixture on ileal amino acid digestibility in extruded full-fat soybeans fed to finishing pigs. *Journal Animal Science* 90:3842–3847.
- AOAC, Association of Official Analytical Chemists., 2000. Official methods of analysis. Gaithersburg (MD): AOAC.
- Ávalos C. M. A, Gómez R. S, Angeles M. L., Braña V. D., Mariscal L.G., Cuarón I. J. A., 2011. Fitasa y enzimas fibrolíticas en dietas para cerdos con diferentes sustratos Fitasa y enzimas fibrolíticas en dietas para cerdos con diferentes sustratos. *Revista Mexicana Ciencia Pecuaria*, 2(2):117-135.
- Batey, I.L., 1982. Starch analysis using thermostable alpha-amylases. *Starch/Stärke* 34: 125–128.
- Baucells A. F., 2012. La fibra en la nutrición de las cerdas. *3tres3*. https://www.3tres3.com/alimentacion_cerda/la-fibra-en-la-nutricion-de-las-cerdas_30642/. Accedido el 10 de Setiembre, 2016.
- Bedford M. R. 2000. Exogenous enzymes in monogastric nutrition - their current value and future benefits. *Animal Feed Science and Technology* 86:1-13
- Bhat M.K, 2000 Cellulases and related enzymes in biotechnology. *Biotechnology Advances* 18: 355–383.
- Brufau J, 2014. Introducción al uso de enzimas en la alimentación animal un proceso de innovación. IRTA. Enzimas en la alimentación animal- *Nutrínews*.
- Dehghani M.R, Weisbjerg M.R, velplund T.H, Kristensen N.B., 2012. Effect of enzyme addition to forage at ensiling on silage chemical composition and NDF degradation characteristics. *Livestock Science* 50:51–58.

- De Souza A.L.P, Lindemann M.D, Cromwell G.L, 2007. Supplementation of dietary enzymes has varying effects on apparent protein and amino acid digestibility in reproducing sows. *Livestock Science* 109:122-124.
- DiPietre D., 2013. Entender la dinámica del mercado de precios de los ingredientes para piensos. 3tres3. <https://www.3tres3.com/situacion-mercado-porcino/entender-la-dinamica-del-mercado-de-los-ingredientes-para-piensos-32737/>. Accedido el 10 de Setiembre del 2016.
- FEDNA. 2013. Necesidades nutricionales para ganado porcino normas FEDNA (2ª edición), C. de Blas, J. Gasa y G.G. Mateos UP Madrid y UA Barcelona. NANTA, S.A. Trouw Nutrition España, S.A.
- Kiarie E, Owusu-Asiedu A, Peron A, Simmins P.H, Nyachoti C.M, 2012. Efficacy of xylanase and B-glucanase blend in mixed grains and grain co- products-based diets for fattening pig. *Livestock Science* 148:129-133.
- Kiarie E, Owusu-Asiedu A, Simmins P.H, Nyachoti C.M., 2010. Influence of phytase and carbohydrase enzymes on apparent ileal nutrient and standardized ileal amino acid digestibility in growing pigs fed wheat and barley-based diets. *Livestock Science* 134:85–87.
- Kim J.C, Mullan B.P, Pluske J.R., 2005. A comparison of waxy versus non-waxy wheats in diets for weaner pigs: effects of particle size, enzyme supplementation, and collection day on total tract apparent digestibility and pig performance. *Animal Feed Science and Technology* 120 (2005) 51–65.
- Li Y, Fang Z, Dai J, Partridge G, Ru Y, Peng J, 2010. Corn extrusion and enzyme addition improves digestibility of corn/soy based diets by pigs: In vitro and in vivo studies. *Animal Feed Science and Technology*. *Animal Feed Science and Technology* 158:146–154.
- Lipinnski K, Skorko- S. H, Purwin C, Antoszkiewicz Z, Werpachowski M, 2013. Effect of xylanase supplementation to cereal-based diets on apparent fecal digestibility and growth performance of pigs. *Journal Animal Science*, Vol. 13, No. 2:303–311.
- Mateos G.G. y Piquer J. 1994. Programas de alimentación en porcino: reproductoras. X Congreso de especialización FEDNA.
- Mateos, G.G, Lázaro R. Gonzalez Alvarado, Jiménez E, Vicente B., 2006. Efecto de la fibra dietética en piensos de iniciación para pollitos y lechones. Memoria XXII Curso de especialización FEDNA. Barcelona.
- Morgado E, Galzerano L., 2009. Fibra na nutrição de animais com fermentação no intestino grosso. *Revista electrónica de Veterinaria*. REDVET, Vol.10, Nº7, Julio/2009.
- Ndou S.P, Kiarie E, Agyekum A.K, Heo J.M, Romero L.F, Arent S, Lorentsen R, Nyachoti C.M, 2015. Comparative efficacy of xylanases on growth performance and digestibility in growing pigs fed wheat and wheat bran-or corn and corn DDGS-based diets supplemented with phytase. *Animal Feed Science and Technology* 209:230–239.
- National Research Council, 2012 Committee on Nutrient Requirements of Swine; Board on Agriculture and Natural Resources; Division on Earth and Life Studies-Undécima Edición 2012.
- O’Shea C.J, Mc Alpine P.O, Solan P, Curran T, Varley P.F, Walsh A.M, Doherty J.V.O, 2014. The effect of protease and xylanase enzymes on growth performance, nutrient digestibility, and manure odour in grower–finisher pigs. *Animal Feed Science and Technology* 189:88–97.

- Pérez H. J. F, 2010., Estimación del coste de la proteína en los piensos actuales para porcino, 3tres3 https://www.3tres3.com/nutricion/estimacion-del-coste-de-la-proteina-en-los-piensos-para-porcino_2936/. Accedido el 10 Setiembre de 2016.
- Philippe, F.X, Martine L, Wavreille J, Nicks B, Cabaraux J.F., 2015. Effects of a high-fibre diet on ammonia and greenhouse gas emissions from gestating sows and fattening pigs. *Atmospheric Environment*, 109:197-204.
- Ramaekers P, 2013. Efecto de la alta ingesta de fibra en las cerdas en el parto sobre la supervivencia de los lechones. 3tres3. https://www.3tres3.com/alimentacion_cerda/efecto-de-la-alta-ingesta-de-fibra-en-las-cerdas-en-el-parto-sobre_32430/. Accedido el 10 Setiembre de 2016.
- Ravindran, V. 2011. Aditivos en alimentación animal: presente y futuro. *Avances en tecnología porcina, XXVI Curso de especialización FEDNA 8(81)*, 47-58.
- Smith A.G, Reilly P, Sweeney T, Pierce K.M, Gahan D.A, Callan J.J, O'Doherty J.V., 2010. The effect of cereal type and exogenous enzyme supplementation on intestinal microbiota and nutrient digestibility in finisher pigs. *Livestock Science* 133:148–150.
- Soria F. A. I, Mariscal L. G, Gómez R. S, Cuarón I. J. A., 2009. Efecto de la adición de enzimas fibrolíticas y una fitasa para cerdos en crecimiento sobre la digestibilidad de nutrientes, *Técnica Pecuaria en México* 47:1-14.
- Tapingkae W, Yachai M, Visessanguan W, Pongtanya P, Pongpiachan P., 2008. Influence of crude xylanase from *Aspergillus niger* FAS128 on the in vitro digestibility and production performance of piglets. *Animal Feed Science and Technology* 140:125–138.
- 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.
- Weinberg Z.G, Ashbell G, Hen Yaira, Azrieli A, 1995. The effect of cellulase and hemicellulase plus pectinase on the aerobic stability and fibre analysis of peas and wheat silages. *Animal Feed Science and Technology* 55:287-293.
- Yin Y-L, Baidoo S.K, Schulze H, Simmin P.H, 2001. Effects of supplementing diets containing hullless barley varieties having different levels of non-starch polysaccharides with β -glucanase and xylanase on the physiological status of the gastrointestinal tract and nutrient digestibility of weaned pigs. *Livestock Production Science* 71:97–107.