

DIGESTIBILIDAD ILEAL Y RECTAL DE NUTRIENTES Y BALANCE DE N EN CERDOS ALIMENTADOS CON NIVELES VARIABLES DE FITASA EXÓGENA EN LA DIETA

Natasha Tolón, Consuelo Díaz, H. Domínguez y J. Ly

Instituto de Investigaciones Porcinas. Gaveta Postal No. 1, Punta Brava. La Habana, Cuba
email: JLy@iip.co.cu**RESUMEN**

Se hicieron dos experimentos para estudiar índices de digestibilidad ileal y rectal en cerdos en crecimiento alimentados con una dieta de harinas de maíz y soya (67.6 y 29.1) en la que se incluyó una fitasa exógena (0, 500 y 1 000 U/kg dieta). En ambos experimentos se usó un cuadrado latino 3 x 3 con cerdos ileorrectostomizados o intactos con un peso promedio de 31.3 y 28.8 kg respectivamente. El consumo fue 0.10 kg MS por $W^{0.75}$ por día en dos raciones iguales a las 9:00 am y 3:00 pm.

Se encontró que no hubo efecto significativo ($P>0.05$) de tratamiento en la digestibilidad ileal ni rectal de MS y materia orgánica aunque los valores de los tratamientos con fitasa parecieron siempre más altos que con la dieta control. Tampoco el balance de N reveló influencia alguna por incluir fitasa exógena en la comida. La fracción de N que desapareció en el intestino grueso de los cerdos fue menor en los animales alimentados con fitasa. La digestibilidad ileal de P fue significativamente ($P<0.05$) mayor en las dietas con fitasa con respecto a la dieta control. Lo mismo ocurrió con la digestibilidad rectal pero el efecto fue más pronunciado ($P<0.001$). No hubo influencia del nivel de fitasa en la digestibilidad del P.

Se sugiere que en cerdos alimentados con dietas de maíz y soya en la que se adicione fitasa exógena de origen microbiano, en condiciones como las descritas en este trabajo experimental, no existe una mejora evidente en los índices digestivos de los cerdos excepto en la digestibilidad del P. Es posible que sea necesario estudiar otros factores que puedan intervenir con fuerza en el aprovechamiento digestivo de dietas con fitasa exógena, de manera que la dieta pueda ser manipulada con beneficio zootécnico. Se hace necesario complementar los estudios de fisiología nutricional con pruebas de comportamiento en condiciones cubanas de porcicultura tropical.

Palabras claves: cerdos, fitasa, nutrientes, digestibilidad, íleon, recto

Título corto: Fitasa exógena y digestibilidad de nutrientes en cerdos

ILEAL AND RECTAL DIGESTIBILITY OF NUTRIENTS AND N BALANCE IN PIGS FED GRADED LEVELS OF AN EXOGENOUS PHYTASE IN THE DIET**SUMMARY**

Two experiments were conducted to study ileal and rectal digestibility indices in growing pigs fed on a diet of maize meal and soybean meal (67.6 and 29.1) in which an exogenous phytase of microbial origin (0, 500 and 1 000 U/kg diet) was included. Both experiments were designed as a 3 x 3 Latin square arrangement using either three ileorrectostomized or six intact pigs weighing on average 31.3 and 28.8 kg initial liveweight. Feed intake level was 0.10 kg DM per $W^{0.75}$ per day given to the animals in two aequal meals at 9:00 am and 3:00 pm.

It was encountered that there was not significant ($P>0.05$) effect of treatment in ileal and rectal DM and organic matter digestibility, although values corresponding to treatments with phytase appeared to be always higher than that of the control diet. N balance did not reveal any influence if the exogenous phytase was included in feed. The fraction of N disappearing in the large intestine decreased in pigs fed diets containing the exogenous phytase. Ileal digestibility of P was significantly ($P<0.05$) higher in diets with phytase as compared to the control diet. This same occurred for rectal digestibility, the effect being more pronounced ($P<0.001$). No effect of phytase level was found on P digestibility.

It is suggested that pig fed diets based on maize meal and soybean meal including exogenous phytase of microbial origin in conditions similar to that described in this experimental work, there is not evident improvement in digestive indices of pigs except for P digestibility. It is possible that it should be necessary to study several factors strongly influencing digestive processes in such a way that diet could be manipulated with husbandry benefit. It is necessary to complement nutritional physiology studies with performance trials in Cuban conditions of tropical pig production.

Key words: pigs, phytase, nutrients, digestibility, ileum, rectum

Short title: Exogenous phytase and nutrient digestibility in pigs

INTRODUCCION

Se reconoce que la absorción del P tiene lugar en la primera mitad del intestino delgado (Moore y Tyler 1955; Harrison y Harrison 1961; Kowarski y Schachter 1969) pero una cierta cantidad, no despreciable, puede ser absorbida a lo largo de todo el intestino (Den Hartog et al 1986; Jongbloed et al 1992). Así, la interdependencia entre el entorno gastrointestinal y el comportamiento de las fitasas en el cerdo también ha sido abordada en distintas oportunidades (Mroz et al 1992, 1994; Bruce y Sundstøl 1995; Kemme et al 1998; Tolón et al 2007; Akinmure y Adeola 2009).

En comparación con evaluaciones de la fisiología nutricional en cerdos alimentados con fitasas exógenas, es considerable el volumen de trabajos informados sobre el uso de fitasas exógenas en la alimentación porcina, tanto desde el ángulo de revisiones del tema bajo distintas filosofías (Pointillart 1994; Lei y Stahl 2000; Johansen y Poulsen 2003; Wolf y Pallau 2003; Jondreville y Dourmad 2005; Selle et al 2009), como desde el punto de vista de nuevos hallazgos y descripciones sobre el status del fósforo y el papel que puede desempeñar en la alimentación y nutrición del cerdo y de su impacto en el medio ambiente (ver por ejemplo, Fan et al 2005; Liao et al 2005, 2006, 2007; Dilger y Adeola 2006; Nitrayová et al 2006; Patras et al 2006; Pomar et al 2006; Simoes Nunes et al 2006; Htoo et al 2007; Emiola et al 2009; Jendza y Adeola 2009).

En condiciones particulares de porcicultura en Cuba, en los últimos años se ha renovado el interés por la cría intensiva de cerdos con dietas típicas de maíz y soya, lo que implica el uso de fuentes alimentarias ricas en fósforo fítico y pobres en fitasas endógenas. Por otra parte, no existen antecedentes cubanos relativos al aprovechamiento digestivo en cerdos, con el uso de fitasas. El objetivo de la presente investigación fue determinar la influencia de una fitasa exógena en la digestibilidad ileal y rectal de nutrientes en cerdos alimentados dietas con bajo contenido de fósforo disponible y de fitasa endógena.

MATERIALES Y METODOS

Se hicieron dos experimentos con cerdos en crecimiento, y en los dos se utilizó una dieta formulada fundamentalmente con harina de maíz y harina de soya, suplementada con fosfato monocálcico, a la que se añadió o no fitasa exógena de origen microbiano. Las características de la fitasa utilizada ya fueron descritas por Tolón et al (2007), mientras que la fórmula de la dieta básica empleada se muestra en la tabla 1.

Se evaluaron tres tratamientos, uno control sin fitasa exógena, y otros dos en los que esta enzima se adicionó en la proporción de 500 y 1 000 U/kg de alimento. El contenido de nutriente de las tres dietas usadas aparece en la tabla 2.

Experimento 1

Se utilizó un cuadrado latino 3 x 3 con tres animales machos castrados e ileorrectostomizados de 31.2 kg de peso vivo inicial, que fueron utilizados en paralelo a un experimento complementario (Tolón et al 2007). Las condiciones de cirugía, manejo de los cerdos y muestreo fueron descritas anteriormente por Tolón et al (2007). En resumen, cada

período experimental consistió en cinco días de adaptación a la dieta y dos días de muestreo continuo de digesta ileal. El nivel de consumo fue de 0.08 kg MS/kg^{0.75} y el alimento se brindó a los animales en dos raciones diarias iguales, a las 9:00 am y a las 3:00 pm. El agua para beber estuvo siempre disponible.

Tabla 1. Características de la dieta comercial (base seca)

Ingredientes, %	Por ciento
Harina de maíz	67.75
Harina de soya	29.12
DL-metionina	0.03
CaCO ₃	1.10
CaPO ₄ .2H ₂ O	1.00
NaCl	0.50
Vitaminas y minerales ¹	0.50
Análisis, %²	
Fibra cruda	3.50
Nx6.25	18.00
Ca	0.80
P total	0.55

¹ Acorde con el NRC (1998)

² Calculado

Experimento 2

En el experimento 2 se usó un doble cuadrado latino 3x3 con seis cerdos machos castrados intactos. Los detalles del manejo de los animales así como la recogida de las heces fue descrito anteriormente (Tolón et al 2007). El consumo fue igual que en el experimento 1, ascendente a 0.08 kg MS por W^{0.75} por día en dos raciones iguales a las 9:00 am y 3:00 pm. Durante los cinco días también se colectó cuantitativamente toda la orina emitida por los animales, y se cuidó de que el recipiente contuviera suficiente solución de H₂SO₄ 10 N para mantener el pH urinario por debajo de 3.

Tabla 2. Análisis de las dietas experimentales (% en base seca)

	Fitasa, U x 10 ² /kg		
	-	5	10
Materia seca	90.60	91.60	90.72
Cenizas	7.23	6.94	7.91
Materia orgánica	92.77	93.06	92.09
N	2.85	2.88	2.85
Ca	0.80	0.80	0.80
P total	0.70	0.60	0.65

Análisis químico

El contenido de MS, ceniza, N y fibra cruda en el alimento se determinó de acuerdo con las técnicas recomendadas por AOAC (2000). En cenizas disueltas en HCl, se determinó la concentración de Ca mediante espectrofotometría de absorción atómica mientras que el P total se midió por colorimetría a 400 nm en un espectrofotómetro visible (AOAC 1975) después de desarrollar un color amarillo por la técnica de molibdometavanadato. El contenido urinario de N se

determinó por el procedimiento Kjeldahl descrito en otro lugar (AOAC 2000).

Biometría

Los cálculos para la determinación de la digestibilidad por el método directo (Crampton y Harris 1969) se efectuaron siguiendo el método clásico descrito por Schneider y Flatt (1975).

Las medias fueron contrastadas por medio de un análisis de varianza (Montgomery 1984) y en los casos necesarios fueron separadas mediante la d^ocima de rango múltiple de Duncan (Steel et al 1997). Se usó indistintamente el paquete estadístico de Harvey (1990) o de minitab 12 para Windows (Ryan et al 1985) con vistas al procesamiento de los datos.

RESULTADOS Y DISCUSION

Experimento 1

En la tabla 3 se listan los datos de digestibilidad ileal en los cerdos. No hubo efecto significativo (P>0.05) de tratamiento por adicionar fitasa exógena al alimento, aún cuando la dieta control sin fitasa mostró valores ligeramente inferiores en la digestibilidad de la MS, la materia orgánica y las cenizas. En cuanto a la digestibilidad ileal del N, las dietas con fitasa determinaron un aumento ligero, pero insignificante (P>0.05) en este índice. En este sentido, estos resultados tienden a apoyar la hipótesis de que no existe una influencia positiva importante de la fitasa en en la digestibilidad ileal del N (Lei y Stahl 2000), aunque en este campo no se ha alcanzado una definición plausible.

Tabla 3. Digestibilidad ileal en cerdos que ingerían niveles variables de fitasa en la dieta (experimento 1)

	Fitasa, U x 10 ² /kg			EE ±
	-	5	10	
n	3	3	3	-
Digestibilidad, %				
MS	70.3	71.2	71.1	4.5
MO ¹	73.6	73.9	73.7	8.4
N	76.9	78.4	78.5	2.7
Cenizas	36.0	36.8	37.7	4.2
Fósforo	26.2 ^a	39.1 ^b	39.7 ^b	5.0*

¹ Expresa materia orgánica (100 – cenizas)

* P<0.05

^{ab} Medias sin letra en común en la misma fila difieren significativamente (P<0.05) entre sí

La digestibilidad ileal del fósforo estuvo influida significativamente (P<0.05) por la inclusión de fitasa en la dieta. Por otra parte, no hubo efecto significativo (P>0.05) del nivel de fitasa en el alimento para este índice. La digestibilidad ileal de los minerales en cerdos en crecimiento ha sido examinada en distintas oportunidades desde uno de los primeros estudios concienzudos sobre este a veces insipiente tema (Partridge 1978), y se sabe que la mayor parte del P desaparece antes de la válvula ileocecal. Sobre este particular, existe coincidencia unánime acerca del efecto positivo de la fitasa exógena en cuanto a la digestibilidad ileal del P (ver entre los informes contemporáneos, Fan et al 2005;

Dilger y Adeola 2006; Patras et al 2006; Liao et al 2007). Los resultados de este experimento no son una excepción.

Experimento 2

El resultado de la prueba de digestibilidad que se hizo con los animales intactos se muestra en la tabla 4. Tanto la digestibilidad de la MS, como de la materia orgánica o la ceniza no mostraron influencia significativa alguna (P>0.05) por el hecho de incluir fitasa en la dieta.

Tabla 4. Digestibilidad rectal en cerdos alimentados con niveles variables de fitasa en la dieta (experimento 2)

	Fitasa, U x 10 ² /kg			EE ±
	-	5	10	
n	6	6	6	-
Digestibilidad, %				
MS	87.2	87.2	87.6	1.5
MO ¹	89.9	90.2	90.3	1.3
Cenizas	52.5	49.6	52.9	5.5
Fósforo	27.4 ^a	46.0 ^b	45.2 ^b	1.8***

¹ Expresa materia orgánica (100 – cenizas)

*** P<0.001

^{ab} Medias sin letra en común en la misma fila difieren significativamente (P<0.05) entre sí

Se ha hecho sumamente evidente encontrar un efecto positivo de las fitasas exógenas en la digestibilidad del P, en distintos experimentos hechos con cerdos alimentados con diversos tipos de dietas (ver por ejemplo, Pointillart 1994; Lei y Stahl 2000; Jondreville y Dourmad 2005; Lyberg et al 2008; Sands et al 2009). En consonancia con ello, en este estudio se observó que la digestibilidad rectal del P mejoró significativamente (P<0.001) en los cerdos alimentdos con dietas de fitasa exógena. No hubo efecto del nivel de fitasa en la digestibilidad rectal.

No se halló efecto significativo de tratamiento alguno (P>0.05) ni para la digestibilidad ni para la retención del N en los cerdos alimentados con los niveles de la fitasa exógena que se utilizó en el presente experimento (tabla 5).

Tabla 5. Balance de N¹ en cerdos que ingerían niveles variables de fitasa en la dieta (experimento 2)

	Fitasa, U x 10 ² /kg			EE ±
	-	5	10	
n	6	6	6	-
Ingestión	41.79	40.92	40.67	4.26
Excreción				
En excretas	4.55	4.55	4.37	0.72
En orina	7.13	5.94	6.66	1.92
Salida total	11.68	10.50	11.03	2.06
Digestión	37.23	36.36	36.28	4.14
Digestibilidad, %	88.9	88.9	89.3	1.9
Retención				
En g/día	30.11	30.42	29.64	3.84
% del consumo	71.7	74.2	72.9	4.3
% de digestión	80.7	83.4	81.7	4.4

¹ Balance expresado en g/día

Los resultados de este experimento indicaron un valor alto tanto para la digestibilidad rectal como la retención nitrogenada. Sobre este particular, existen serias discrepancias en cuanto a la posibilidad de mejorar el balance de N cuando los cerdos se alimentan con dietas en las que se incluye la fitasa. Entre los informes que indicaron un beneficio determinado por la fitasa exógena en la economía del N en cerdos se encuentran varios como los de Ketaren et al (1993), Mroz et al (1994) y Sands et al (2001), en lo referente al aprovechamiento digestivo del N. Sin embargo, otros (Bruce y Sundstøl 1995; O'Quinn et al 1997; Sands 2002, 2009; Walz y Pallauf 2003; Zobac et al 2004; Patras et al 2006) no han hallado ningún efecto positivo cuando incluyeron fitasa exógena en la dieta de los cerdos.

Por otra parte, tanto Valaja et al (1998) como Walz y Pallauf (2003), Johnston et al (2004) y Patras et al (2006) no hallaron ningún efecto positivo en la retención de N, en contraste con los datos de otros investigadores (Ketaren et al 1993; Mroz et al 1994; Sands et al 2001).

Se ha sugerido generalmente que los fitatos se unen a las proteínas y a los aminoácidos (Nelson et al 1969), haciendo así más difícil la absorción intestinal de los compuestos del N, aunque no existen en realidad una evidencia experimental al respecto, y hasta el momento, este concepto es más bien hipotético (Selle et al 2000). En este sentido, en línea con lo sugerido por Lei y Stahl (2000), si hay una mejoría en la retención del N cuando se suplementa fitasa a la comida del ganado porcino, ésta es relativamente pequeña y considerablemente variable. Los resultados de la presente investigación apoyan la hipótesis de Lei y Stahl (2000).

Se tomaron los datos de los experimentos 1 y 2 para calcular la desaparición de nutrientes en el intestino grueso de los cerdos. La información aparece en la tabla 6.

Tabla 6. Desaparición de nutrientes en el intestino grueso de cerdos alimentados con niveles variables de fitasa en la dieta¹

	Fitasa, U x 10 ² /kg		
	-	5	10
Desaparición, % de la digestión rectal			
Materia seca	19.4	18.4	18.8
Materia orgánica	16.3	18.1	18.4
Cenizas	31.4	25.8	28.7
Fósforo	4.3	14.9	12.2
N	13.5	10.5	10.8

¹ Calculado a partir de los experimentos 1 y 2

En estos datos se pudo apreciar que un poco más de la MS y la materia orgánica que fue digerido en todo el tracto gastrointestinal, lo hizo en el intestino grueso, mientras lo contrario. Shi y Noblet (1993) informaron que la contribución del intestino grueso a la digestión de la materia orgánica estuvo entre 13 y 32% cuando los cerdos ingerían dietas con un contenido de FDN entre 9.7 y 26.0%, mientras que Wilfart et al (2007) hallaron que esta contribución fue de 25.4% para una dieta con un bajo nivel, 13.3% de fibra dietética insoluble. Estas cifras se corresponden bien con niveles probablemente superiores a los de la presente evaluación, donde la fibra cruda fue de 3.5% y por lo tanto, debiera esperarse una contribución menos del ciego y el colon a la digestión de la

materia orgánica en el canal alimentario de los animales. En este sentido, aquí el intestino grueso contribuyó con 18.1-18.4% y 16.3% al total de materia orgánica digerida, según el alimento contuviera o no fitasa exógena.

La contribución del intestino grueso a la desaparición de la ceniza en todo el tracto gastrointestinal fue más marcada que la de la MS y la materia orgánica. En este caso, la fitasa hizo que esta contribución fuera menor, entre 25.8 y 28.7%, en contraste con la dieta control, 31.4%. En lo referente al P, los cálculos revelaron que en el intestino grueso tuvo lugar un aumento importante en la desaparición, entre 12.2 y 14.9% del total de este elemento mineral desaparecido en todo el tracto. Cuando no se usó fitasa, no hubo contribución importante del intestino grueso a la digestibilidad rectal del P.

Desde el punto de vista del aprovechamiento del N, se encontró que menos del N desaparecido en el tracto gastrointestinal, lo hizo en el intestino grueso de los cerdos alimentados con la fitasa exógena. Este resultado pudiera tener cierta importancia, puesto que el N que desaparece en el ciego y el colon de los animales no es aprovechado por el cerdo (Zebrowska et al 1978), y debe ser retornado al medio por la vía urinaria en forma de urea, lo cual es un procedimiento metabólico costoso desde el punto de vista del gasto de ATP. Por otra parte, una relativamente mayor desaparición de materia orgánica en ciego y colon, pudiera considerarse beneficiosa en este caso, si se considera que existió una mayor actividad fermentativa en esa parte del canal alimentario de los cerdos, y éstos recibieron un mayor aporte del producto de la fermentación para beneficiar sus requerimientos energéticos (ver Ly 1995).

Según lo hallado en esta investigación se sugiere que en cerdos alimentados con dietas de maíz y soya en la que se adicione fitasa exógena de origen microbiano, en condiciones como las descritas en este trabajo experimental, no existe una mejora evidente en los índices digestivos de los cerdos. Es posible que sea necesario estudiar otros factores que puedan intervenir con fuerza de manera que la dieta pueda ser manipulada con beneficio zootécnico. Se hace necesario complementar los estudios de fisiología nutricional con pruebas de comportamiento en condiciones cubanas de porcicultura tropical.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su gratitud al Sr. J. Cabrera por su cuidadoso trabajo en la tenencia y manejo de los animales a los señores Nidia Vítores y R. Herrera por los análisis de N y minerales respectivamente. Igualmente, los autores agradecen a la Dra. Marisol Muñiz por el suministro del material experimental, así como a la firma mexicana Zimetrics por las facilidades dadas. También se agradecen todas sus sugerencias.

REFERENCIAS

AOAC. 1975. Official Methods of Analysis (12th edition). Association of Official Analytical Chemists (W. Horwitz y D.L. Park, editores). Washington, Distrito de Columbia, pp 1 094

Akinmusire, A.S. y Adeola, O. 2009. True digestibility of phosphorus in canola and soybean meals for growing pigs:

influence of microbial phytase. *Journal of Animal Science*, 87:977-983

AOAC. 2000. *Official Methods of Analysis* (17th edition). Association of Official Analytical Chemists Gaithersburg, Arlington, pp 1094

Bruce, J.A.M. y Sundstøl, F. 1995. The effect of microbial phytase in diets for pigs on apparent ileal and faecal digestibility, pH and flow of digesta measurements in growing pigs fed a high-fibre diet. *Canadian Journal of Animal Science*, 75:121-127

Crampton, E.W. y Harris, L.E. 1969. *Applied Animal Nutrition. The Use of Feedstuffs in Formulation of Livestock Rations*. W.H. Freeman. San Francisco, pp 753

Den Hartog, L.A., Huisman, J., Bou, H. y Schayk, G.H.I. 1985. The effect of various carbohydrates sources on the digestibility of minerals in the small and large intestine of pigs. In: *Digestive Physiology in the Pig* (A. Just, H. Jorgensen y J.A. Fernández, editores). National Institute of Animal Science. Tjele, 580:203-206

Dilger, R.N. y Adeola, O. 2006. Estimation of true phosphorus digestibility and endogenous phosphorus loss in growing pigs fed conventional and low-phytate soybean meals. *Journal of Animal Science*, 84:627-634

Domínguez, H., Díaz, C. y Reyes, J.L. 2000. Anastomosis ileorrectal término-terminal con colectomía en cerdos. *Revista Computadorizada de Producción Porcina*, 7(3):54-62

Emiola, A., Akinremi, O., Slominski, B. y Nyachoi, C.M. 2009. Nutrient utilization and manure P excretion in growing pigs fed corn-barley-soybean based diets supplemented with microbial phytase. *Animal Science Journal*, 80:19-26

Fan, M.Z., Li, T.J., Yin, Y.L., Fang, R.J., Tang, Z.Y., Hou, Z.P., Huang, R.L., Deng, Z.Y., Zhong, H.Y., Zhang, R.G., Wang, B. y Schulze, H. 2005. Effect of phytase supplementation with two levels of phosphorus diets on ileal and faecal digestibilities of nutrients and phosphorus, calcium, nitrogen and energy balances in growing pigs. *Animal Science*, 81:67-75

Harrison, H.E. y Harrison, H.C. 1961. Intestinal transport of phosphate: action of vitamin D, calcium and potassium. *American Journal of Physiology*, 201:1007-1012

Harvey, W.R. 1990. *User's guide for LSMLMW mixed model least square and maximum likelihood computer program* (PC-2 version). Ohio State University Press. Columbus, pp 91

Htoo, J.K., Sauer, W.C., Zhang, Y., Cervantes, M., Liao, S.F., Araiza, B.A., Morales, A. y Torrentera, N. 2007. The effect of feeding low-phytate barley-soybean meal diets differing in protein content to growing pigs on the excretion of phosphorus and nitrogen. *Journal of Animal Science*, 85:700-705

Jendza, J.A. y Adeola, O. 2009. Water-soluble phosphorus excretion in pigs fed diets supplemented with microbial phytase. *Animal Science Journal*, 80:296-304

Johansen, K. y Poulsen, H.D. 2003. Substitution of inorganic phosphorus in pig diets by microbial phytase supplementation – a review. *Pig News and Information*, 24:N77-N82

Johnston, S.L., Williams, S.B., Southern, L.L., Bidner, T.D., Bunting, L.D., Matthews, J.O. y Olcott, B.M. 2004. Effect of phytase addition and dietary calcium and phosphorus levels on plasma metabolites and ileal and total-tract nutrient digestibility in pigs. *Journal of Animal Science*, 82:705-714

Jondreville, C. y Dourmad, J.Y. 2005. Le phosphore dans la nutrition des porcs. *INRA Productions Animales*, 18:183-192

Jongbloed, A.W., Kemme, P.A., Mroz, Z. y Van Diepe, H.T.M. 2000. Efficacy, use and application of microbial phytase in pig production: a review. In: *Biotechnology in the Feed Industry* (T.O. Lyons y K.A. Jacques, editores). Nottingham University Press. Nottingham, p 111-129

Jongbloed, A.W., Mroz, A. y Kemme, P.A. 1992. The effect of supplementary *Aspergillus niger* phytase in diets for pigs on concentration and apparent digestibility of dry matter, total phosphorus and phytic acid in different sections of the alimentary tract. *Journal of Animal Science*, 70:1159-1168

Kemme, P.A., Jongbloed, A.W., Mroz, Z. y Beynen, A.C. 1998. Diurnal variation in degradation of phytic acid by plant phytase in the pig stomach. *Livestock Production Science*, 54:33-44

Ketaren, P.P., Batterham, E.S., Dettman, E.F., y Farrell, D.J. 1993. Effect of phytase supplementation on the digestibility and availability of phosphorus in soya-bean meal for grower pigs. *British Journal of Nutrition*, 70:289-311

Kowarski, S. y Schachter, D. 1969. Effects of vitamin D on phosphate transport and incorporation into mineral constituents of rat intestinal mucosa. *Journal of Biological Chemistry*, 244:211-217

Lei, X.G. y Stahl, C.H. 2000. Nutritional benefits of phytase and dietary determinants of its efficacy. *Journal of Applied Animal Research*, 17:97-112

Liao, S.F., Kies, A.K., Sauer, W.C., Zhang, Y.C., Cervantes, M. y He, J.M. 2005. Effect of phytase supplementation to a low- and a high-phytate diet for growing pigs on the digestibilities of crude protein, amino acids, and energy. *Journal of Animal Science*, 83:625-633

Liao, S.F., Sauer, W.C., Kies, A.K., Cervantes, M., Hoo, J.K. y He, J.M. 2006. Effect of phytase supplementation to diets for weanling pigs on the utilization of phosphorus and calcium. *Interciencia*, 31:262-267

Liao, S.F., Sauer, W.C., Htoo, J.K., Cervantes, M., Kies, A., Araiza, A. y Morales A. 2007. Effect of phytase supplementation to a high- and a low-phytate diet for growing pigs on the utilization of phosphorus and calcium. *Interciencia*, 32:195-201

Ly, J. 1995. *Fisiología Digestiva del Cerdo*. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, pp 136

Lyberg, K., Andersson, H.K., Sands, J.S. y Lindberg, J.E. 2008. Influence of phytase and xylanase supplementation of a wheat based diet on digestibility and performance in growing pigs. *Acta Agriculturae Scandinavica. Section A, Animal Science*, 58:146-151

- Moore, H.J. y Tyler, C. 1955. Studies on the intestinal absorption and excretion of calcium and phosphorus in the pig. 1. A critical study of the Bergeim technique for investigating the intestinal absorption and excretion of calcium and phosphorus. *British Journal of Nutrition*, 9:63-80
- Mroz, Z., Jongbloed, A.W. y Kemme, P.A. 1992. Circadian variation in the flow rate and composition of ileal digesta in pigs in relation to supplementary microbial phytase and feeding regime. In: 43rd Annual Meeting of the European Association of Animal Production (EAAP). Madrid, p 229
- Mroz, Z., Jongbloed, A.W. y Kemme, P.A. 1994. Apparent digestibility and retention of nutrients bound to phytate complexes as influenced by microbial phytase and feeding regimen in pigs. *Journal of Animal Science*, 72:126-132
- Nelson, T.S., Ferrara, L.W. y Storer, N.I. 1969. Phytate phosphorus content of feed ingredients derived from plants. *Poultry Science*, 47:1372
- Nitrayová, S., Patras, P., Sommer, A. y Heger, J. 2006. Effect of microbial phytase on apparent ileal amino acid digestibility of phosphorus-adequated diets in growing pigs. *Archive of Animal Nutrition*, 52:15-27
- NRC. 1998. Nutrient Requirements of Domestic Animals. Nutrient Requirement of Swine. National Research Council. National Academy Press (tenth revised edition). Washington, Distrito de Columbia, pp 189
- O'Quinn, P.R. Knabe, D.A. y Gregg, E.J. 1997. Efficacy of Natuphos in sorghum-based diets of finishing swine. *Journal of Animal Science*, 75:1299-1307
- Partridge, I.G. 1978. Studies on digestion and absorption in the intestines of growing pigs. 3. Net movements of mineral nutrients in the digestive tract. *British Journal of Nutrition*, 39:527-537
- Patras, P., Nitrayová, S., Sommer, A. y Heger, J. 2006. Effect of microbial phytase on apparent digestibility and retention of phosphorus and nitrogen in growing pigs. *Czech Journal of Animal Science*, 51:437-443
- Pointillart, A. 1994. Phytates, phytases: leur importance dans l'alimentation des monogastriques. *INRA Productions Animales*, 7:29-39
- Pomar, C., Jondreville, C., Dourmad, J.Y. y Bernier, J. 2006. Influence du niveau de phosphore des aliments sur les performances zootechniques et la rétention corporelle de calcium, phosphore, potassium, sodium, magnésium, fer et zinc chez le porc de 20 à 100 kg de poids vif. *Journées de la Recherche Porcine en France*, 38:209-218
- Ryan, B.F., Joiner, B.L. y Ryan, Jr. T.A. 1985, Minitab (2nd edition). Hilliday Litograph
- Sands, J.S. 2002. Nutritional strategies to reduce the environmental impact of phosphorus and nitrogen excretion by pigs and poultry. PhD Thesis. Purdue University. West Lafayette, pp
- Sands, J.S., Ragland, D., Baxter, C., Joern, B.C. Sauber, T.E. y Adeola, O. 2001. Phosphorus availability, growth performance, and nutrient balance in pigs fed high available phosphorus corn and phytase. *Journal of Animal Science*, 79:2134-2142
- Sands, J.S., Ragland, D., Dilger, R.N. y Adeola, O. 2009. Response of pigs to *Aspergillus niger* phytase supplementation of low-protein or high-phytin diets. *Journal of Animal Science*, 87:2581-2589
- Schneider, B.H. y Flatt, W.P. 1975. The evaluation of feeds through digestibility experiments. The University of Georgia Press. Athens, pp 423
- Selle, P.H., Cowieson, A.J. y Ravindran, V. 2009. Consequences of calcium interaction with phytate and phytase for poultry and pigs. *Livestock Science*, 124:126-141
- Selle, P.H., Ravindran V. Caldwell, R.A. y Bryden, W.L. 2000. Phytate and phytase: consequences for protein utilization. *Nutrition Research Reviews* 13:255-278
- Shi, X.S. y Noblet, J. 1993. Contribution of the hindgut to digestion of diets in growing pigs and adult sows: effect of diet composition. *Livestock Production Science*, 34:237-252
- Simoès Nunes, C., Guggenbuhl, P. y Piñón, A. 2006. Effets comparatifs de trois phytases sur la digestibilité du phosphore et du calcium chez le porc en croissance. *Journées de la Recherche Porcine en France*, 38:1-4
- Steel, R.G.D., Torrie, J.H. y Dickey, M. 1997. Principles and Procedures of Statistics. A Biometrical Approach. MacGraw-Hill Book Company in Company (third edition). New York, pp 666
- Tolón, N., Domínguez, H. y Ly, J. 2007. Flujo de digesta ileal y rectal en cerdos alimentados con niveles variables de fitasa exógena en la dieta. *Revista Computadorizada de Producción Porcina*, 14:59-64
- Valaja, J., Plaami, S. y Sijander-Rasi, H. 1998. Effect of microbial phytase on digestibility and utilization of phosphorus and protein in pigs fed wet barley protein with fibre. *Animal Feed Science and Technology*, 72:221-233
- Wilfart, A., Montague, L., Simmins, P.H., Van Milgen, J. y Noblet, J. 2007. Sites of nutrient digestion in growing pigs: effect of dietary fiber. *Journal of Animal Science*, 85:476-483
- Wolf, P.O. y Pallauf, J. 2003. The effect of the combination of microbial phytase and amino acid supplementation of diets for finishing pigs on P and N excretion and carcass quality. *Archives of Animal Nutrition*, 57:413-428
- Zobac, P., Kumprecht, I., Suchy, P., Straková, E. Broz, J. y Heger, J. 2004. Influence of L-lactic acid on the efficacy of microbial phytase in broiler chickens. *Czech Journal of Animal Science*, 49:436-443
- Zebrowska, T., Buraczewska, L. y Horaczynskik H. 1978. Apparent digestibility of nitrogen and amino acids and utilization of protein given orally or introduced into the large intestine of pigs. *Roczniki Nauk Rolniczych*, B99:99-105