

MANIPULACION NUTRICIONAL DEL CERDO PARA DISMINUIR LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

M. Cervantes, W.C. Sauer, Adriana Morales, B. Araiza, S. Espinoza y J. Yáñez

Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, 2110. Baja California, México
email: miguel_cervantes@uabc.mx

RESUMEN

Las dietas para cerdos producidos de manera intensiva consisten principalmente de ingredientes tales como granos de cereales y pastas de oleaginosas) que se caracterizan por contener factores anti-nutricionales (FAN) o desequilibrio en el contenido de nutrientes.

La presencia de compuestos antinutricionales en los ingredientes típicos usados para elaborar las dietas de los animales afectan la digestibilidad y disponibilidad de los nutrientes, provocando a su vez, una excreción elevada de P y N en heces y orina. La adición de fitasas en sustitución de fósforo inorgánico, y la adición de aminoácidos libres a dietas bajas en proteína, hasta en cuatro unidades porcentuales, no afecta el comportamiento productivo de los cerdos. La adición de fitasa o el uso de ingredientes bajos en fitatos en las dietas de los animales reducen considerablemente la excreción de P. La manipulación de la dieta mediante la reducción en el contenido de proteína cruda disminuye la excreción de N en heces y orina.

En esta revisión, se analizan algunas estrategias para reducir la contaminación ambiental provocada por los sistemas tradicionales de alimentación de cerdos.

Palabras claves: cerdos, fitasa, aminoácidos, nutrición, ambiente

Título corto: Manipulación nutricional y contaminación ambiental

NUTRITIONAL MANIPULATION OF PIGS TO DECREASE ENVIRONMENTAL POLLUTION

SUMMARY

Diets for intensive pig production mainly consist of ingredients as cereal grains and legume pastes which are characterized for containing either anti-nutritional factors (FAN) or a desequilibrium in nutrient content.

The presence of FAN in ingredients which are typically used for preparing diets for animals affect digestibility and availability of nutrients, provoking in turn an increased urinary and faecal excretion of P and N. Phytase addition to diets in substitution of inorganic phosphorus and the inclusion of free amino acids to diets low in protein up to four percent units, has no effect on productive performance of pigs. Phytase addition or the use of ingredients low in phytates in diets for farm animals does considerably reduce P excretion. Dietary manipulation by reducing the crude protein content decreases N excretion in faeces and urine.

Some strategies are analysed in this review in order to reduce pollution due to traditional systems for feeding pigs.

Key words: pigs, phytase, amino acids, nutrition, environment

Short title: Nutritional manipulation and pollution

Tabla de contenido

Introducción, 14
Acido fítico: estructura y composición química, 14
Fitatas, 15
Fitatas de origen vegetal, 15
Fitatas de origen microbiano, 15
Efecto de fitatas en la disponibilidad de nutrientes en la dieta, 15
Fósforo, 15
Calcio, 16
Proteína y aminoácidos, 16
Factores que influyen en la eficacia nutricional de las fitatas, 17
Características fisiológicas, 17
Relación calcio:fósforo, 17
Vitamina D, 17
Cultivos bajos en fitatos para cerdos, 18
Dietas con excesos de aminoácidos, 19
Dietas bajas en proteína adicionadas con aminoácidos libres, 19
Conclusiones, 20
Referencias, 21

INTRODUCCIÓN

Las dietas para cerdos producidos de manera intensiva consisten principalmente en granos de cereales y pastas de oleaginosas, que se caracterizan por contener factores anti-nutricionales (FAN) o un desequilibrio en el contenido de nutrientes. En los cereales se encuentran cantidades importantes de ácido fítico que captura de manera directa al fósforo haciéndole indisponible para el animal; de manera indirecta también atrapa moléculas de otros minerales tales como Ca, Cu, Zn y Mg, así como proteínas, reduciendo su digestibilidad. Además, los cereales contienen arabino-xilanos que atrapan proteínas e impiden su total digestión.

En general, la reducción en la disponibilidad de algunos nutrientes provocada por estos compuestos, obliga a su adición complementaria en la dieta, lo cual resulta en una excreción excesiva de compuestos nitrogenados y del mismo fósforo en las heces, provocando condiciones de contaminación de suelos y aguas aledañas a los centros de producción porcina.

Asimismo, los cereales, trigo, sorgo, maíz, y las pastas de oleaginosas, contienen proporciones desequilibradas de aminoácidos (AA) con respecto a los niveles requeridos por los animales. Las dietas se formulan para cubrir el requerimiento de lisina, primer aminoácido limitante en todos los cereales. En consecuencia, el contenido del resto de los AA en esas dietas es excesivo y, en casos como leucina, el contenido puede ser hasta cuatro veces superior al valor requerido. De esta manera, las dietas típicas para cerdos proveen cantidades excesivas de varios minerales y AA que son excretadas y se convierten en fuentes de contaminación ambiental. En esta revisión, se analizan algunas estrategias para reducir la contaminación ambiental provocada por los sistemas tradicionales de alimentación de cerdos.

ACIDO FÍTICO: ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN QUÍMICA

El ácido fítico (ácido hexafosfórico de mioinositol, $C_6H_{12}O_{24}P_6$), químicamente se refiere a 1,2,3,4,5,6 hexafosfato di-hidrógeno de mioinositol (Vincent 1992), y es un factor antinutricional

que se encuentra en materiales vegetales como las semillas que se utilizan para la alimentación animal y el consumo humano (Kies 2005). El P fítico constituye una buena parte del P total de los granos de cereales y semillas de oleaginosas, representa aproximadamente de 60 a 80% del P total. En la tabla 1 se presenta el porcentaje de P fítico y P total de los ingredientes comúnmente utilizados en la alimentación de cerdos (Liao et al 2002).

Tabla 1. Contenido de fósforo en ingredientes para cerdos

Ingredientes	P, %	
	P total, %	Fítico, % del total de P
Granos de cereales		
Cebada	0.22	61.2
Maíz	0.24	70.9
Sorgo	0.23	70.8
Trigo	0.26	67.5
Subproductos de cereales		
Cascarilla de arroz	1.07	74.3
Cascarilla de trigo	0.81	71.9
Oleaginosas		
Pasta de soya	0.37	56.7
Pasta de canola	0.63	58.2
Harinolina	0.82	73.3
Pasta de girasol	0.69	63.0

Fuente de los datos: Liao et al (2002)

La concentración de P fítico depende principalmente de la parte de la planta de donde procede, ya que se acumula en su mayoría en las semillas. La molécula del ácido fítico posee un alto contenido de P (28.2%) y sus 6 radicales fosfóricos muestran una fuerte capacidad para quelatar varios cationes. Una molécula de ácido fítico puede quelatar de 3 a 6 moles de calcio formando fitatos insolubles a pH intestinal (Pointillart 1999; Yi y Kornegay 1996). Esta misma capacidad hace que el ácido fítico forme también una amplia variedad de sales insolubles con cationes divalentes y trivalentes a pH neutro:

Zn, Cu, Co, Mn, Fe y Mg, impidiendo que estos minerales puedan ser absorbidos a nivel intestinal (Cheryan 1980; Kies 2005).

El ácido fítico es un componente esencial de los granos de cereales y de leguminosas; representa una reserva de fósforo y otros minerales y carbohidratos que son utilizados por las semillas durante el proceso de germinación. Al momento de la germinación el ácido fítico es hidrolizado por una enzima, la fosfatasa ácida llamada fitasa, para liberar el ortofosfato y el inositol que se encuentran en los granos (Pointillart 1991).

El contenido de fitasa en los diferentes cereales (intrínseca) es variable, lo cual está asociado con la disponibilidad del P en cada cereal; en el trigo la fitasa intrínseca es mas abundante que en el maíz y el sorgo, lo que resulta en un valor relativamente alto de disponibilidad de P (circa de 50%), comparado con 14 a 20% en los dos primeros (Cromwell 1992) (tabla 2). Asimismo, es importante destacar que los animales no producen la enzima fitasa.

Tabla 2. Disponibilidad de fósforo en ingredientes para cerdos

Ingredientes	Disponibilidad, %
Granos de cereales	
Cebada	30
Maíz	14
Sorgo	20
Trigo	49
Subproductos de cereales	
Cascarilla de arroz	25
Cascarilla de trigo	29
Oleaginosas	
Pasta de soya	31
Pasta de canola	21
Harinolina	1
Pasta de girasol	3

Fuente de los datos: Cromwell (1992)

FITASAS

Las fitasas son un conjunto diferenciado de enzimas que se clasifican en fosfatasas alcalinas, fosfatasas ácidas de alto y bajo peso molecular y complejo fosfatasas-proteína (Vincent et al 1992). Estas enzimas difieren en sus pH óptimos, requerimientos de iones metálicos, especificidad por los sustratos y, posiblemente, por sus mecanismos de acción. Las fitasas catalizan la hidrólisis de los fosfatos monoesterificados del ácido fítico dando lugar de forma progresiva a la formación de inositol-5 fosfato, inositol-4 fosfato, inositol-3 fosfato, inositol-2 fosfato e inositol-1 fosfato. En general, las fitasas fúngicas y bacterianas liberan cinco de los seis fosfatos y sólo raras veces es posible encontrar liberado inositol-1 fosfato y mioinositol libre (Wyss et al 1999).

Fitasas de origen vegetal

Las fitasas de origen vegetal se conocen desde hace mucho tiempo, pertenecen al tipo 6-fitasa y se caracterizan por hidrolizar al ácido fítico comenzando por el grupo ortofosfato situado en la posición 6 de la molécula, dando lugar como primer producto intermediario al D-mioinositol 1,2,3,4,5 pentafofosfato, más una molécula de ortofosfato. Estas fitasas hidrolizan completamente al ácido fítico. El pH óptimo de las

fitasas vegetales oscila entre 5.0 y 5.6; medios muy ácidos o alcalinos las inactivan de forma irreversible. Su temperatura óptima se encuentra entre 45 a 60°C (Wodzinski y Ullah 1996). Las fitasas vegetales suelen ser menos efectivas que las fúngicas. Esta menor efectividad se le ha atribuido al estrecho rango de pH y al mayor grado de inactivación de las fitasas vegetales en el estómago. No obstante, se ha observado un efecto aditivo entre ambas fitasas, y una óptima incorporación de ingredientes vegetales con alta actividad fitásica puede incluso eliminar por completo la adición de fosfatos inorgánicos en el cerdo (Kornegay 1996; Kornegay y Qian 1996).

Fitasas de origen microbiano

Se encuentran en numerosas bacterias, levaduras. Fitasas bacterianas se han detectado en microorganismos de los géneros *Aerobacter aerogenes*, *Bacillus subtilis*, *Klebsiella aerogenes* y *Pseudomonas sp.*, pero sólo la producida por el *Bacillus subtilis* es de carácter extracelular. Algunos de los inconvenientes de las fitasas bacterianas son su bajo rendimiento productivo y su pH neutro-alcalino lo cual limita su utilización como aditivo en la alimentación animal. Las fitasas de la flora microbiana del intestino grueso, aunque tienen actividad hidrolítica sobre los fitatos, no ejercen ningún efecto benéfico para el animal porque el fósforo liberado no se absorbe y es totalmente excretado (Forsberg et al 2003).

Las fitasas también son producidas por hongos del género *Aspergillus*. Estos hongos producen enzimas extracelulares del tipo 3-fitasa con capacidad hidrolítica del mioinositol hexafofosfato (IP6) sobre el grupo ortofosfato situado en posición 3 de la molécula, dando lugar a D-mioinositol 1,2,4,5, 6-pentafofosfato y una molécula de ortofosfato. Estas fitasas no hidrolizan por completo el IP6, siendo incapaces de degradar el éster monofosfórico (IP1). De todos los organismos estudiados, plantas, bacterias y hongos, el *Aspergillus niger* es el que produce la fitasa extracelular más activa. Este hongo produce dos fitasas, A y B, y una fosfatasa ácida de pH 6.0. La fitasa tipo A actúa dentro de un rango de pH de 2.5-5.0 y a una temperatura óptima de 58°C. La fitasa de tipo B posee un pH óptimo de 2.5 y una temperatura óptima de 63°C (Wodzinski y Ullah 1996). En la actualidad hay, al menos, cuatro fitasas comerciales disponibles, tres de ellas obtenidas por fermentación de un *Aspergillus* genéticamente modificado (*Natuphos*, *Novo phytase* y *Finase*), y otra por extracción del medio de cultivo de un *Aspergillus* que no ha sido modificado genéticamente (*Alltech phytase*).

La utilización de las fitasas en la industria de los alimentos para animales se ha visto favorecida por la mejora constante en la utilización de ingredientes como minerales, aminoácidos y otros aditivos y por la generación de nuevas tecnologías que han permitido la obtención de la enzima a escala industrial, esto ha permitido una disminución en el costo de producción de la enzima.

EFFECTO DE FITASAS EN LA DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES EN LA DIETA

Fósforo

Kornegay y Qian (1996) informaron que a partir de 52 experimentos con cerdos, éstos mostraron una respuesta no lineal a la adición de fitasa sobre la digestibilidad del fósforo, siendo la magnitud de la respuesta por unidad de fitasa mucho

más acentuada con niveles bajos de esta enzima. De esto se deduce que la adición de 500 unidades de fitasa/kg de alimento (500 FTU/kg) produce una reducción de 33.2% en la excreción de P, permitiendo disminuir el nivel de éste en la dieta en 0.1 unidades porcentuales. La adición de 1 000 FTU/kg de alimento, produce una mejora en la digestibilidad de P de hasta 28%, lo que equivale aproximadamente a 1 g de P digestible por kg de alimento. Las especificaciones para la utilización de la enzima fitasa en dietas comerciales para cerdos recomiendan 500 FTU/kg de alimento con una equivalencia de 0.8 g de P digestible/kg de alimento.

Calcio

La acción hidrolítica de la fitasa sobre los fitatos en el estómago del cerdo, no sólo aumenta la digestibilidad del fósforo; además, indirectamente eleva la del calcio. Kornegay y Qian (1996), estimaron una equivalencia de 0.73 g de Ca liberado cuando a la dieta se le adicionan 500 FTU/kg de alimento. Sin embargo, se ha demostrado que el exceso de Ca en la dieta no solo precipita de manera progresiva a la fitasa para formar compuestos insolubles con Ca, también reduce la susceptibilidad del fitato para la hidrólisis enzimática, por la competencia por los sitios activos de la fitasa (Liao et al 2002).

Por ello es importante tener el cuidado de mantener la proporción adecuada en la dieta de Ca-P.

Proteína y aminoácidos

En estudios in vitro se ha demostrado que las fitasas tienen la capacidad de formar quelatos con AA libres, especialmente lisina. La incubación de lisina en HCl con salvado de arroz (rico en fitatos), muestra que un 20% de esta lisina queda ligada al fitato. La adición de fitasa al medio de incubación liberó el 50% de la lisina quelatada (Traylor 2001). En estudios in vivo, se ha observado que la adición de fitasa mejora la digestibilidad aparente de la proteína y los aminoácidos. Jongbloed et al (2000), en una revisión de la literatura que abarca 17 experimentos, señalaron que el empleo de fitasa produce 0.85% en la digestibilidad total aparente de la proteína.

Kornegay y Quian (1996) estimaron que, reduciendo 1.0% la proteína bruta (Nx6.25) en la dieta y con un valor de excreción (heces y orina) de N del 40% del consumido, la excreción de éste disminuyó 7.1% cuando se adicionaron 500 FTU/kg de alimento. Liao et al (2005a) en los resultados que se presentan en la tabla 3, encontraron que la adición de fitasa en dietas trigo-pasta de soya-pasta de canola, para cerdos recién destetados, mejoró consistentemente la digestibilidad ileal aparente (DIA) de arginina, histidina, fenilalanina, treonina y valina, y hubo una tendencia a incrementarse la digestibilidad ileal aparente de la proteína bruta, así como de la leucina y la lisina, cuando las dietas adicionadas con 500 y 1 000 FTU/kg de alimento se compararon con la dieta testigo. Sin embargo, el efecto no fue evidente cuando las dietas adicionadas con este tipo de fitasa, fueron comparadas entre sí.

Tabla 3. Adición de fitasa y digestibilidad ileal aparente de proteína bruta y aminoácidos en dietas trigo-pasta de soya-pasta de canola en cerdos recién destetados (n = 6)

	Adición de fitasa,			EE ±	Contrastes	
	FTU/kg dieta				C1	C2
	0	500	1000			
Digestibilidad, %						
Proteína bruta	76.0	76.2	76.8	1.38	0.660	0.646
AA esenciales						
Arginina	86.4	86.8	86.6	0.86	0.730	0.893
Histidina	83.6	83.2	83.5	1.31	0.858	0.836
Isoleucina	79.3	80.5	80.6	1.34	0.334	0.922
Leucina	78.8	76.1	78.8	2.22	0.847	0.415
Lisina	75.8	75.5	76.4	1.68	0.898	0.645
Fenilalanina	82.1	83.1	83.5	1.22	0.354	0.763
Treonina	73.1	73.1	73.3	1.12	0.981	0.915
Valina	75.7	76.5	76.7	1.56	0.512	0.887
AA no esenciales						
Alanina	76.4	77.1	77.5	1.57	0.477	0.755
Acido aspártico	76.8	77.6	77.5	1.46	0.523	0.941
Acido glutámico	86.6	84.0	84.2	1.27	0.643	0.896
Glicina	73.1	72.5	73.0	1.12	0.780	0.713
Serina	77.0	77.4	77.7	1.31	0.628	0.843
Tirosina	82.0	82.9	83.6	1.27	0.349	0.656

C1 = dieta basal y dieta adicionada con fitasa

C2 = 500 y 1 000 FTU/kg dieta

Fuente de los datos: Liao et al (2005a)^a

FACTORES QUE INFLUYEN EN LA EFICACIA NUTRICIONAL DE LAS FITASAS

Características fisiológicas

Las diferencias anatómicas y fisiológicas de los cerdos con respecto a las aves influyen también en la hidrólisis y absorción del fósforo fítico, así como en la actividad de las fitasas. El mayor tiempo de permanencia del alimento en el estómago en el caso del cerdo y el bajo pH permiten una mejor eficiencia de la fitasa, por lo tanto, una mayor digestibilidad del fósforo fítico. Se ha comprobado que 40 a 50% de la actividad de las fitasas que se adicionan a dietas para cerdos se observa en el estómago, mientras que en duodeno sólo se encuentra de 16 a 30% (Yi y Kornegay 1996).

Relación calcio:fósforo (Ca:P)

La respuesta a un nivel dado de fitasa exógena puede ser afectada por la cantidad de Ca y/o la relación Ca:P, el nivel de fósforo y el nivel de fitatos en la dieta. Una alta relación Ca:fitato en la dieta puede dar lugar a la formación de complejos Ca-fitatos muy insolubles en el medio intestinal.

Se cree que un exceso de calcio puede reducir la actividad enzimática al competir con las fitasas por su lugar de acción (Liao et al 2002).

En estudios con cerdos, se ha observado que se tiene una mayor respuesta a la adición de fitasas en la dieta por la mejor digestión del P fítico, cuando la relación Ca total:P total se mantiene entre 1:1 y 1.1:1; niveles más altos de calcio reducen la absorción de fósforo y la digestión de los fitatos por la fitasa (Yi et al 1996). Por otra parte, Traylor et al (2001) encontraron que la digestibilidad ileal aparente de proteína bruta y AA, en dietas experimentales para cerdos (tabla 4), presentó una mejora, pero no evidente, entre las dietas uno y dos. Sin embargo dicho incremento no se mantuvo en las dietas donde se adicionaron los niveles más altos de fitasa (dietas tres y cuatro). La digestibilidad ileal aparente de P respondió en forma evidente a los diferentes niveles de fitasa adicionada, resultando un incremento cuadrático, donde el mejor incremento se obtuvo en la dieta dos.

Tabla 4. Digestibilidad ileal aparente de proteína cruda, aminoácidos, Ca y P, en dietas para cerdos en crecimiento (n = 14)

Fitasa, unidades/kg	Fuente de proteína							EE ±
	PS 0	PS 500	PS 1000	PS 1500	PS 0	PSC 0	CAS 0	
AA esenciales, %								
Arginina	93.2	93.7	93.1	93.1	92.8	92.3	81.6	0.53
Histidina	89.4	89.8	86.6	88.9	88.2	87.8	90.9	0.51
Isoleucina	87.9	88.8	87.6	87.9	88.0	87.4	90.3	0.49
Leucina	86.4	87.6	86.1	86.6	86.9	86.1	90.0	0.55
Lisina	89.9	90.7	88.8	88.7	89.6	88.8	92.4	0.59
Metionina	90.2	90.6	89.0	89.4	89.4	87.6	95.2	0.45
Fenilalanina	82.5	83.4	80.9	82.2	82.4	82.0	79.1	0.83
Treonina	80.5	81.3	78.7	79.8	81.8	79.2	76.0	0.91
Triptófano	89.3	90.9	87.7	88.9	89.7	89.1	85.8	0.76
Valina	85.8	86.6	85.1	85.5	86.5	85.3	89.7	0.60
AA no esenciales, %								
Alanita	84.0	84.6	82.4	83.4	84.8	83.2	75.3	0.95
Acido aspártico	87.4	88.1	86.4	87.1	86.9	83.5	84.4	0.63
Cistina	82.2	82.7	79.0	80.7	82.4	78.7	23.0	2.19
Acido glutámico	91.5	92.1	90.5	91.3	90.8	89.0	93.3	0.54
Glicina	77.5	79.4	75.7	76.7	81.1	76.3	11.9	3.70
Prolina	83.8	84.9	82.7	84.1	84.9	82.1	70.4	1.72
Serina	86.0	87.0	85.3	86.0	85.8	84.6	85.1	0.59
Tirosina	85.6	86.8	84.8	85.7	86.5	86.0	86.8	0.62
Proteína cruda, %	82.5	83.4	80.9	82.2	82.4	82.0	79.0	0.83
Minerales, %								
Ca	63.5	67.5	68.9	69.2	57.7	57.2	30.2	3.09
P	49.8	64.3	66.9	69.8	53.8	54.8	74.7	1.66

PS, PSC y CAS expresan pasta de soya, pasta de soya concentrada y caseína en ese orden

Fuente de los datos: Traylor et al (2001)

Vitamina D

La vitamina D mejora la digestibilidad del fósforo en dietas bajas y altas en fosfatos, existiendo una dosis-respuesta lineal de cero a 3 000 UI de vitamina D₃/kg de alimento. Como la vitamina D no altera la actividad de la fitasa en la mucosa

intestinal de los cerdos, es probable que actúe indirectamente aumentando la absorción de Ca. Esto limita la formación de fosfato de calcio (insoluble), disminuyendo así la cantidad de fósforo no disponible en duodeno (Pointillart 1994).

En conclusión, la adición de fitasa en las dietas para cerdos tiene un efecto positivo muy importante en la digestibilidad y disponibilidad de P y Ca. Sin embargo, aunque teóricamente podría esperarse un efecto semejante en la digestibilidad ileal de aminoácidos, los resultados son inconsistentes y la magnitud de la respuesta es muy pequeña.

CULTIVOS BAJOS EN FITATOS PARA CERDOS

En la última década se han desarrollado varios cultivos bajos en fitatos. De acuerdo con Raboy y Gervasio (1996), se desarrollaron dos cultivos mutantes de maíz que contenían 33 y 66% menos ácido fítico que los granos normales. Estas variedades cultivadas son semejantes a las normales, pero las semillas contienen marcadamente menos fitatos en el germen, con poco efecto en la concentración total de P. También se han desarrollado cebadas mutantes con bajo contenido de ácido fítico (Garzón et al 1998; Rabio et al 2001). En estos genotipos, la acumulación de ácido fítico se bloquea con una mutación simple, resultando en un incremento correspondiente en el contenido de P orgánico libre en el grano. Este cambio permite un incremento en la cantidad de P en la cebada que puede ser utilizado por los cerdos, resultando, a su vez, en una reducción en la excreción de P.

Más recientemente se desarrollaron variedades de soya que contienen porcentajes bajos de P ligado al ácido fítico. La combinación de varios genes para reducir la síntesis de enzimas necesarias para la síntesis de los oligosacáridos estaquiosa, rafinosa y galactinol, redujo el contenido de ácido fítico (Sebastian et al 2000). El contenido de sacarosa se incrementó a expensas de la síntesis de esos oligosacáridos.

La composición química, específicamente el contenido de proteína bruta, lisina, treonina, metionina y Ca es semejante entre variedades de maíz normales y bajos en fitatos, y entre pasta de soya normal y baja en fitatos (Cromwell 2003). Los porcentajes de P son también similares en esos cultivares. El maíz bajo en fitatos contienen hasta un 50% menos de P ligado a fitatos y hasta tres veces más de P libre, comparado con maíces normales. El contenido de fitatos y P libre en la pasta de soya baja en fitatos fue también hasta un 50% menos y hasta 2.5 veces mayor, respectivamente, que en cultivares normales (tabla 5).

Tabla 5. Composición (%) de maíz normal y bajo en fitatos, y de pasta de soya normal y baja en fitatos y en oligosacáridos

	Maíz		Pasta de soya	
	Fitato normal	Fitato bajo	Fitato normal	Fitato bajo
Proteína cruda	8.50	8.50	53.6	55.3
Lisina	0.23	0.24	3.03	3.18
Metionina	0.15	0.15	0.80	0.83
Calcio	0.01	0.01	0.35	0.36
Fósforo				
Total	0.25	0.28	0.70	0.77
En fitato	0.20	0.10	0.48	0.22
Inorgánico	0.05	0.18	0.22	0.55
Carbohidratos				
Sacarosa	-	-	7.22	12.32
Rafinosa	-	-	0.91	0.55
Estaquiosa	-	-	5.20	0.53

Fuente de los datos: Cromwell (2003)

Existen numerosas evidencias recientes, las cuales muestran mayor disponibilidad biológica de P en maíces bajos en fitatos, en comparación con maíces normales. Cromwell et al (1998), cuando usaron el método de referencia y la resistencia del hueso a la fractura, encontraron que la disponibilidad biológica del P en maíces bajos en fitatos y normales era 77 y 22%, respectivamente. De acuerdo con esos procedimientos, la disponibilidad biológica de P en pastas de soya bajas en fitatos y normales fue 50 y 23%, respectivamente (Cromwell et al 2000). Por otra parte, usando el método de referencia y el contenido de cenizas en huesos de la pata de pollos como indicador, Li et al (2001a,b) encontró que la disponibilidad biológica de P en cebadas bajas en fitatos y normales fue 49 y 28%, respectivamente. Igualmente, en estudios realizados con dietas completas muestran incrementos en la digestibilidad aparente de P y una disminución en la excreción en heces cuando las dietas ofrecidas a los animales contienen maíz y pasta de soya baja en fitatos (Pierce 1999; Spencer et al 2000; Sands et al 2001). Los resultados de Spencer et al (2000) se presentan en la tabla 6. La digestibilidad y retención de P fueron mayores y la excreción total menores en cerdos alimentados con dietas maíz-pasta de soya bajas en fitatos que cerdos alimentados con ingredientes normales. Además, la excreción de P en heces se redujo en 28%.

Tabla 6. Balance de fósforo de cerdos alimentados con dietas de maíz bajo en fitatos y normal

	Tipo de maíz			
	Fitato bajo		Normal	
Adición	0.20	0	0.20	0
P total	0.53	0.38	0.55	0.32
Balance, g/5 días				
Consumo	21.00	15.20	21.92	12.64
En heces	9.49	7.85	11.84	10.61
En orina	3.67	0.41	1.37	0.45
P excretado	13.17	8.25	13.21	11.06
N:P de excreta	2.43	4.08	2.92	3.41
Digestibilidad, %	54.80	48.34	45.99	16.07
Retención, %	37.30	45.71	39.75	12.53

Fuente de los datos: Spencer et al (2000)

Otros estudios se han realizado con dietas elaboradas con cebada y pasta de soya bajas en fitatos (Veum et al 2002; Htoo et al 2006). Los resultados de los estudios de Htoo et al (2006) se presenta la tabla 7.

Tabla 7. Balance de P de cerdos alimentados con dietas de cebada normal y baja en fitatos

	Tipo de cebada			
	Normal		Baja en fitatos	
Nx6.25, %	18	15	18	15
P total	0.47	0.45	0.38	0.35
Balance, g/5 días				
Consumo	4.91	4.66	3.97	3.70
En heces	2.19	2.02	1.36	1.16
En orina	9.3	10.3	7.3	6.2
P excretado	2.20	2.03	1.36	1.16
Digestibilidad, %	55.2	56.6	65.7	68.8
Retención, %	55.0	56.4	65.5	68.6
P retenido, g/d	2.71	2.63	2.60	2.53
N:P de excreta	5.77	4.50	9.25	7.40

Fuente de los datos: Htoo et al (2006)

La sustitución de cebada normal por baja en fitatos incrementó la digestibilidad y retención, pero redujo la excreción de P en heces. La excreción de P se redujo en 38% para la dieta con 18% de proteína y 43% para la dieta con 15% de proteína. La excreción de N también se midió en este estudio. En la tabla 8 están los datos de Sands et al (2001).

Tabla 8. Balance de P de cerdos alimentados con dietas de maíz normal y bajas en fitatos y pasta de soya, con o sin fitasa exógena

	Tipo de maíz			
	Bajo en fitatos		Normal	
Fitasa, FTU/kg	0	600	0	600
P total, %	0.39	0.35	0.38	0.38
Balance, g/día				
Consumo	2.19	1.98	2.15	2.12
En heces	1.02	0.84	1.32	0.95
En orina	0.25	0.15	0.24	0.21
Digestibilidad, %	53.49	58.19	38.65	55.10
Excreción, g/día	1.27	0.99	1.56	1.16
Retención, g/día	0.92	1.00	0.60	0.96

Fuente de los datos: Sands et al (2001)

En el experimento de Sands et al (2001), la disminución en el contenido de proteína bruta, de 18 a 15%, redujo en 29% la excreción de N en las dietas con cebada normal, y en 32% en las dietas con cebada baja en fitatos. Dependiendo del grado de reducción en el contenido de fitato de los cereales que componen la dieta de los cerdos y del nivel de inclusión de pasta de soya, aún existe oportunidad para incrementar la digestibilidad de P y disminuir la excreción de P con la adición de fitasa en la dieta. La adición de fitasa a dietas de maíz bajo en fitatos/pasta de soya redujo un 22% adicional la cantidad de P excretado. En dietas maíz-pasta de soya la excreción de P se redujo en 26%.

Adicionalmente se puede reducir la excreción de P cuando se utilizan fuentes de proteína bajas en fitatos. Cerdos alimentados con dietas elaboradas con maíz y pasta de soya bajas en fitatos pero sin la adición de P inorgánico (tabla 9) crecieron tan rápida y eficientemente como los animales alimentados con dietas que se formularon para contener maíz normal y pasta de soya adicionadas con suficiente P inorgánico para cubrir sus requerimientos (Cromwell et al 2000).

Tabla 9. Comportamiento de cerdos alimentados con dietas maíz-pasta de soya normales o bajas en fitatos, con cantidades variables de P inorgánico suplementario

	Tipo de maíz					
	Normal y pasta de soya normal			Bajo en fitatos y pasta de soya baja en fitato		
P adicionado	0.20	0.10	0.00	0.20	0.10	0.00
P total	0.56	0.46	0.36	0.59	0.49	0.39
P disponible	0.27	0.17	0.07	0.44	0.34	0.24
Rasgos de comportamiento						
Ganancia diaria, kg	0.80	0.76	0.63	0.81	0.80	0.79
Consumo/ganancia	2.22	2.30	2.62	2.24	2.16	2.19
Características del hueso						
Fuerza en fémur, kg	292	219	157	313	306	292
Cenizas, %	57	54	52	57	57	56
Excreción fecal de fósforo						
En heces, g/día	7.0	6.2	5.3	5.1	4.0	3.3
Reducción en excreción fecal, % ¹				27	43	53

¹ Reducción en excreción de P comparado con cerdos alimentados con dietas con maíz a y pasta de soya normales, con 0.56% P total

Fuente de los datos: Cromwell et al (2000)

La discusión acerca del uso de cultivos bajos en fitatos debe considerar también sus aspectos agronómicos. Por ejemplo, los cultivos bajos en fitatos regularmente tienen bajas tasas de germinación y las semillas pesan de 4 a 23% menos que los normales (Raboy et al 2000). Por otra parte, resultados (datos no publicados) de Rosnagel en Canadá (Crop Development Centre, Universidad de Saskatchewan, Saskatoon) muestran que una reducción de 50 a 75% en el contenido de fitato en cebada tiene muy poco efecto en las características agronómicas.

formulan para cubrir el 100% del requerimiento de lisina. Sin embargo, debido al reducido número de ingredientes y al desequilibrio existente entre la composición de AA de esos ingredientes y los niveles requeridos por los animales, el aporte de los demás AA en la dieta con respecto a su requerimiento, especialmente fenilalanina y leucina, es en ocasiones cercano al 400%. Estos excedentes se eliminan en las excretas de los animales, contribuyendo de manera considerablemente alta con la contaminación de aguas y suelos circundantes a los sitios de producción.

DIETAS CON EXCESOS DE AMINOÁCIDOS

Las dietas simples elaboradas con cereales y pasta de soya se

DIETAS BAJAS EN PROTEÍNA ADICIONADAS CON AMINOÁCIDOS LIBRES

La adición de aminoácidos sintéticos, en dietas bajas en proteína para cerdos en crecimiento, mejora el balance entre los aminoácidos contenidos en la dieta, y como consecuencia, reduce la contaminación ambiental al disminuir la excreción de nitrógeno en las heces y orina (Cromwell 1996). La reducción moderada en el contenido de proteína bruta (hasta cuatro unidades porcentuales) de dietas a base de sorgo (*Sorghum vulgare*)/pasta de soja (*Glycine soja*), acompañada con la inclusión de lisina y treonina sintéticas, no afecta el comportamiento productivo de los cerdos (Hansen et al 1993). Sin embargo, una reducción mayor (cinco o más unidades porcentuales), provoca una disminución en la ganancia de peso y en la eficiencia alimentaria de los cerdos, aún cuando estas dietas sean complementadas de manera apropiada para que todos los aminoácidos cubran los requerimientos del cerdo. Dietas a base de trigo, en lugar de sorgo o maíz, con niveles sub-óptimos de proteína bruta, no se han evaluado.

Publicaciones recientes muestran que el nivel de proteína bruta en la dieta afecta la digestibilidad aparente de aminoácidos en cerdos (Cervantes et al 1997). Estos informes sugieren que el deficiente comportamiento de los cerdos alimentados con dietas sorgo/pasta de soja, bajas en proteína y adicionadas con aminoácidos sintéticos, puede atribuirse parcialmente a la baja digestibilidad de los aminoácidos contenidos en esas dietas. El uso de carbohidrasas en dietas con trigo para cerdos, para mejorar la digestibilidad de los aminoácidos, está bien documentado (Campbell y Bedford 1992; Bedford 2000). Sin embargo, la información disponible relacionada con el efecto de la adición de proteasas a dietas con trigo es nula. En un estudio previo (Cervantes et al 2000), la adición de una proteasa a dietas sorgo/pasta de soja, bajas en proteína, no resultó en efectos de importancia. Estos experimentos se realizaron para evaluar el efecto de adicionar una proteasa fúngica a dietas elaboradas con trigo, en la digestibilidad ileal aparente de AA, y en la respuesta productiva de cerdos en crecimiento.

Por otra parte, la excreción de N y amoníaco por los animales puede reducirse mediante la manipulación de los ingredientes de la dieta. La manipulación puede hacerse de dos formas principalmente; una se basa en el uso de fuentes de proteínas altamente digestibles y AA disponibles, y la otra consiste en reducir el contenido de proteína en la dieta. De éstas, la reducción en el contenido de proteína es la más práctica, aplicable y conveniente.

Existen dos situaciones actuales que favorecen la manipulación para lograr la reducción en el contenido de proteína en la dieta; la primera es el hecho de que las dietas típicas y convencionales se formulan con base en proteína cruda para cubrir el requerimiento del primer AA limitante, lisina; y la segunda se relaciona con la disponibilidad en el mercado de los primeros tres AA limitantes en dietas para cerdos (lisina, treonina y metionina) en forma química libre. Entonces, la manera más práctica y común de manipulación consiste en reducir el porcentaje de proteína en la dieta y adicionar en forma libre las cantidades de cada uno de los tres AA que se convierten en deficientes por esa reducción.

Como ya se apuntó, se han realizado numerosos estudios para evaluar el comportamiento productivo de cerdos en crecimiento-finalización alimentados con dietas bajas en

proteína y adicionadas con lisina, treonina y metionina. La reducción moderada en el contenido de proteína bruta, consistente en hasta cuatro unidades porcentuales, de dietas a base de sorgo/pasta de soja, acompañada con la inclusión de lisina y treonina sintéticas, no afecta el comportamiento productivo de los cerdos (Hansen et al 1993). En contraste reducción de 5% o más, determina una disminución en la ganancia de peso y en la eficiencia alimentaria de los cerdos, aún cuando estas dietas sean complementadas de manera apropiada para que todos los aminoácidos cubran los requerimientos del cerdo (Philippe et al 1992; Cervantes et al 1995).

Cerdos alimentados con dietas de trigo, en lugar de sorgo o maíz, con niveles sub-óptimos de proteína bruta, y complementadas con AA en forma libre, se comportan tan bien o mejor que cuando reciben dietas de trigo/pasta de soja con altos niveles de proteína bruta. En algunos casos (Pichardo et al 2003), se han obtenido resultados semejantes cuando los cerdos se alimentan con dietas de trigo/pasta de soja altas en proteína o dietas elaboradas solo con trigo adicionado con lisina y treonina. Independientemente del tipo de grano, se pueden alimentar animales con dietas bajas en proteína cruda sin afectar su comportamiento productivo.

La reducción en el contenido de proteína combinado con la adición de AA libres reduce el consumo excesivo de N y, en consecuencia, provoca una reducción de importancia en la excreción de N. Cromwell et al (1993) encontraron que la reducción en dos unidades porcentuales del contenido de proteína de la dieta, con la adición de lisina libre, disminuyó de 17 a 22% la excreción de N. La disminución en la excreción de N se hace más grande cuando se incrementa en cuatro unidades porcentuales la reducción en el contenido de proteína de la dieta, pero adicionando de manera apropiada los AA deficientes.

Carter et al (1996), publicaron reducciones en la excreción de N de aproximadamente 35% en cerdos alimentados con dietas maíz/pasta de soja, bajas en proteína y adicionadas con lisina, metionina, treonina y triptofano. Sutton et al (1996), encontraron una reducción de 28% en la excreción de N en cerdos alimentados con dietas bajas en proteína y adicionadas con AA. Adicionalmente, la excreción de N urinario se reduce en 50% con la reducción en el contenido de proteína bruta en la dieta (Carter et al 1996; Sutton et al 1999). Kerr y Easter (1995) sugieren que por cada unidad porcentual que se reduzca el contenido de proteína en la dieta adicionada con AA, la excreción total de N se puede disminuir hasta en 8%. Shriver et al (2003) encontraron una disminución de hasta 10% por cada unidad porcentual menos en el contenido de proteína cruda de la dieta.

CONCLUSIONES

La presencia de compuestos anti-nutricionales en los ingredientes típicos usados para elaborar las dietas de los animales afectan la digestibilidad y disponibilidad de los nutrientes, provocando a su vez, una excreción elevada de P y N en heces y orina. La adición de fitasas en sustitución de fósforo inorgánico, y la adición de aminoácidos libres a dietas bajas en proteína, hasta en cuatro unidades porcentuales, no afecta el comportamiento productivo de los cerdos. La adición de fitasa o el uso de ingredientes bajos en fitatos en las dietas de los animales reducen considerablemente la excreción de P.

La manipulación de la dieta mediante la reducción en el contenido de proteína cruda disminuye la excreción de N en heces y orina.

REFERENCIAS

- Bedford, M.R. 2000. Exogenous enzymes in monogastric nutrition - their current value and future benefits. *Animal Feed Science and Technology*, 86:1-13
- Campbell, G.L. y Bedford, M.R.. 1992. Enzyme applications for monogastric feeds; a review. *Canadian Journal of Animal Science*, 72:449-466
- Carter, S.D., Cromwell, G.L., Lindemann, M.D., Turner, L.W. y Bridges, T.C. 1996. Reducing N and P excretion by dietary manipulation in growing and finishing pigs. *Journal of Animal Science*, 74 (Suppl. 1):59
- Cervantes, R.M., Cromwell, G.L. y Stahly, T.S. 1995. Synthetic amino acid supplementation in the low protein grain sorghum-soybean meal diet for pigs. *Cuban Journal of Agriculture Science*, 29:197-203
- Cervantes, R.M., Cromwell, G.L. y Knabe, D. 1997. Digestibilidad ileal de aminoácidos en dietas bajas en proteína, complementadas con aminoácidos en cerdos en crecimiento. *Agrociencia*, 31:149-155
- Cervantes, R.M., González, J., Cuca, M. y Torrentera, N. 2000. Effect of dietary protein level and the addition of a fungal protease on the performance of growing pigs. *Proceedings of the Western Section. American Society Animal Science*, 51: 233-235
- Cheryan M., 1980. Phytic acid interactions in food systems. *CRC. Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 13:297-302
- Cromwel, G.L. 2003. Update on phytase utilization in swine. *Proceedings of the Roche Pre-Conference Symposium, Easter Canadian Nutrition Conference. Quebec City*, pp
- Cromwel G.L., Stahlp, T.S., Coffey, R.D., Monegue, H.J. y Randolph, J.H. 1993. Efficacy of phytase in improving the bioavailability of phosphorus in soybean meal and corn-soybean meal diets for pig. *Journal of Animal Science*, 71:1831-1840
- Cromwell, G.L., Pierce, J.L., Sauber, T.E., Rice, D.W., Ertl, D.S. y Raboy, V. 1998. Bioavailability of phosphorus in low-phytic acid corn for growing pigs. *Journal of Animal Science*, 76(supplement 2):54
- Cromwell, G.L., Traylor, S.L., Lindemann, M.D., Sauber, T.B. y Rice, D.W. 2000. Bioavailability of phosphorus in low-oligosaccharide, low-phytate soybean meal for pigs. *Journal of Animal Science*, 78(supplement 2):71
- Cromwell, G.L., Lindemann, M.D., Parker, G.R., Laurent, K.M., Coffey, R.D., Monegue, H.J. y Randolph, J.R. 1996. Low protein, amino acid supplemented diets for growing-finishing pigs. *Journal of Animal Science*, 74 (supplement 1):174
- Forsberg C.W., Phillips, J.P., Golovan, S.P., Fan, M.Z., Meidinger, R.G., Ajakaiye, A., Hilborn, D. y Hacker, R.R. 2003. the pig physiology, performance, and contribution to nutrient management advances in a regulated environment: The leading edge of change in the pork industry. *Journal of Animal Science*, 81(supplement 2):E68-E77
- Hansen, J.A., Knabe, D.B. y Burgoon, K.G. 1993. Amino acid supplementation of low-protein sorghum-SBM diets for 20- to 50-kilogram swine. *Journal of Animal Science*, 71:442-451
- Htoo, J.K., Sauer, W.C., Zhang, Y., Cervantes, M., Liao, S.F. y Araiza, B.A. 2006. 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
- Jongbloed, A.W., Kenmme, P.A., Mroz, Z. y van Diepen, H.T.M. 2000. Efficacy, use and application of microbial phytase in pig production: a review. In: *Biotechnology in the Feed Industry. Proceedings of the Alltech's 16th Annual Symposium (T.P. Lyons y K.A. Jacques, editores). Nottingham University Press. Nottingham*, p 111-129
- Kerr, B.J., y Easter, R.A. 1995. Effect of feeding reduced protein, amino acid-supplemented diets on nitrogen and energy balance in grower pigs. *Journal of Animal Science*, 73:3000-3008
- Kies Arie, K., 2005. Phytase studies in pigs and poultry. Effect on protein digestion and energy utilization. Tesis DrSci. Institute of Animal Sciences, Wageningen University. Wageningen, pp
- Kornegay, E.T. y Qian, H. 1996. Replacement of inorganic phosphorus by microbial phytase for young pigs fed on a maize-soybean-meal diet. *British Journal of Nutrition*, 76:563-578
- Kornegay, E.T. 1996. Phytase in poultry and swine phosphorus management. *BASF Pre-Conference Symposium, Easter Nutrition Conference. Halifax*, p 71-113
- Larson, S.R., Young, K.A., Cook, A. Blake, T.K. y Raboy, V. 1998. Linkage mapping of two mutations that reduce phytic acid content of barley grain. *Theoretical and Applied Genetics*, 97:141-146
- Li, Y.C., Ledoux, D.R., Veum, T.L., Raboy, V. y Zyla, K. 2001a. Low-phytic acid barley improves performance, bone mineralization, and phosphorus retention in turkey poults. *Journal of Applied Poultry Research*, 10:178-185
- Li, Y., Ledoux, D.R., Veum, T.L., Raboy, V., Zyla, K. y Wikiera, A. 2001b. Bioavailability of phosphorus in low-phytic acid barley. *Journal of Applied Poultry Research*, 10:86-91
- Liao, S.F., Sauer, W.C., Kies, A.K., Zhang, Y.C., Cervantes, M. y He, J.M. 2005a. Effect of phytase supplementation to diets for weanling pigs on the digestibilities of crude protein, amino acids, and energy. *Journal of Animal Science*, 83:625-633
- Liao S.F., Sauer, W.C. y Kies, A.K. 2002. Supplementation of microbial phytase to swine diets: effect on utilization of nutrients. *Food Science and Product Technology*, p 199-227

- Lott, J.N.A., Ockenden, I., Raboy, V. y Batten, G.D. 2000. Phytic acid and phosphorus in crop seeds and fruits: a global estimate. *Seed Science, Res.* 10:11–33
- NRC. 1998. *Nutrient Requirements of Swine*. National Research Council (NRC). National Academy Press. Washington, District of Columbia, pp 189
- Pichardo, A., Cervantes, M., Cuca, M., Figueroa, J.L., Araiza, A.B., Torrentera, N. y Cervantes, M. 2003. Limiting amino acids in wheat for growing-finishing pigs. *Interciencia* 28:287-291
- Pierce, J.L. 1999. Nutritional assessment of conventional and low phytic acid corn for pigs and chicks. Tesis DrSci. University of Kentucky. Lexington, pp
- Pointillart, A., 1991. Enhancement of phosphorus utilization in growing pigs fed phytate-rich diets by using rye bran. *Journal of Animal Science*, 69:1109-1115
- Pointillart, A., 1994. Phytates, phytase: leur importance dans l'alimentation des monogastriques. *Production Animales*, 7:29-39
- Raboy, V. y Gerbasi, P. 1996. Genetics of myo-inositol phosphate synthesis and accumulation. In: *Subcellular Biochemistry: Myo-inositol Phosphate, Phospho-inositidies, and Signal Transduction*. Plenum Press, New York, 26:257-258
- Raboy, V., Gerbasi, P.F., Young, K.A., Stoneberg, S.D., Pickett, S.G., Bauman, A.T., Murthy, P.P.N., Sheridan, W.F. y Ertl, D.S. 2000. Origin and seed phenotype of maize low phytic acid1-1 and low phytic acid 2-1. *Plant Physiology*, 124:355–368
- Raboy, V., Yound, K.A., Dorsch, J.A. y Cook, A. 2001. Genetics and breeding of seed phosphorus and phytic acid. *Journal of Plant Physiology*, 158:489–497
- Sands, J.S., Ragland, D., Baxter, C., Joern, B.C., Sauber, T.E. y Adeola, O. 2001. Phosphorus bioavailability, growth performance, and nutrient balance in pigs fed high available phosphorus corn and phytase. *Journal of Animal Science*, 79: 2134-2142
- Sebastian, S.A., Kerr, P.S., Pearlstein, R.W. y Hitz, W.D. 2000. Soybean germplasm with novel genes for improved digestibility. In: *Soybean in Animal Nutrition* (J.K. Drackley, editor). Federation of Animal Science Societies. Savoy, p 56-74
- Shriver, J.A., Carter, S.D., Sutton, A.L., Richert, B.T., Senne, B.W. y Pettey, L.A. 2003. Effects of adding fiber sources to reduced-crude protein, amino acid-supplemented diets on nitrogen excretion, growth performance, and carcass traits of finishing pigs. *Journal of Animal Science*, 81:492-502
- Spencer, J.D., Allee, G.L. y Sauber, T.B. 2000. Phosphorus bioavailability and digestibility of normal and genetically modified low-phytate corn for pigs. *Journal of Animal Science*, 78:675-681
- Sutton, A.L., Kephardt, K.B., Patterson, J.A., Mumma, R., Kelly, D.T., Bogus, E., Jones, D.D. y Heber, A. 1996. Manipulating swine diets to reduce ammonia and odor emissions. In: *Proceedings of the 1st International Conference on Air Pollution from Agricultural Operations*. Kansas City, p 445-452
- Sutton, A.L., Kephardt, K.B., Verstegen, M.W.A., Canh, T.T. y Hobbs, P.J. 1999. Potential for reduction of odorous compounds in swine manure through diet modification. *Journal of Animal Science*, 77:430–439
- Traylor S.L., Cromwell, G.L., Lindemann, M.D. y Knabe, D.A. 2001. Effects of level of supplemental phytase on ileal digestibility of amino acids, calcium, and phosphorus in dehulled soybean meal for growing pigs. *Journal of Animal Science*, 79:2634–2642
- Veum, T.L., Ledoux, D.R., Bollinger, D.W., Raboy, V. y Cook, A. 2002. Low-phytic acid barley improves calcium and phosphorus utilization and growth performance in growing pigs. *Journal of Animal Science*, 80:2663-2670
- Vincent, J.B., Crowder, M.W. y Averill, B.A. 1992. Hydrolysis of phosphate monoesters: a biological problem with multiple chemical solutions. *Trends in Biochemistry Science*, 17:105-110
- Wodzinski, R.J., y Ullah, A.H. 1996. Phytase. *Advances in Applied Microbiology*, 42:263-302
- Wyss, M., Brugger, R., Kronenberg, A., Remy, R., Fimbel, R., Oesterhelt, G., Lehman, M. y van Loon, A.P.G.M. 1999. Biochemical characterization of fungal phytases (myo-inositol hexakisphosphate phosphohydrolases): catalytic properties. *Applied Environmental Microbiology*, 65:367-373
- Yi, Z., Kornegay, E.T., Ravindran, V., Lindemann, M.D. y Wilson, J.H. 1996. Effectiveness of Natuphos phytase in improving the bioavailabilities of phosphorus and other nutrients in soybean meal-based semipurified diets for young pigs. *Journal of Animal Science*, 74:1601–1611
- Yi, Z. y Kornegay, E.T. 1996. Sites of phytase activity in the gastrointestinal tract of young pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 61:361-368