

Papel de las fitasas en la alimentación porcina

Alberto Quiles.

Departamento de Producción Animal. Universidad de Murcia.
Campus de Espinardo. 30071-Murcia. quiles@um.es



Dr. en Veterinaria por la Universidad de Murcia. Profesor Titular del Departamento de Producción Animal de la Facultad de Veterinaria. Universidad de Murcia. Premio de Investigación Cristobal de la Puerta. Miembro del Consejo de Redacción de varias revistas técnicas de ganadería. Censor de trabajos científicos de varias revistas nacionales e internacionales. Miembro de varias asociaciones científicas nacionales e internacionales. Director de 7 Tesis Doctorales. Autor de 5 libros y 150 artículos científicos, de revisión y técnicos.

INTRODUCCIÓN

Las fitasas son enzimas que mejoran la digestión del fósforo en los piensos utilizados en la alimentación porcina. Por tanto, su interés radica, principalmente, en que van a permitir una mejor utilización del fósforo de la dieta. Tengamos en cuenta que el fósforo es el segundo mineral en importancia, desde el punto de vista cuantitativo, en el organismo del cerdo; localizándose sus depósitos, en un 80%, en los huesos y dientes, el resto se distribuye por todo el organismo animal, en tejidos y fluidos blandos.

Al margen de su importancia cuantitativa, el fósforo va a cumplir una serie de funciones dentro del organismo animal de vital importancia, por lo que puede ser considerado como el mineral más importante. Entre estas funciones podemos destacar las siguientes:

- Interviene en la formación y mineralización de la matriz orgánica de los huesos.
- Interviene en el crecimiento y diferenciación celular, al formar parte de los ácidos nucleicos ADN y ARN.
- Mantiene la integridad de las membranas celulares, al formar parte de los fosfolípidos.
- Como fosfato contribuye a mantener el equilibrio osmótico.
- Interviene en el metabolismo de los glúcidos, ácidos grasos, síntesis de aminoácidos y proteínas, a través del AMP, ADP y ATP.

Por todas estas funciones, sus necesidades deben ser perfectamente cubiertas por los nutricionistas, para que de esta manera el rendimiento productivo no se vea afectado.

Ahora bien, el principal problema con el que nos encontramos es que el aporte de fósforo vegetal, a través de las materias primas vegetales de los piensos, es insuficiente para cubrir estas necesidades, debido a que las dos terceras partes del fósforo vegetal (60-85%) está ligado al ácido fítico, en forma de fitatos, cuya biodisponibilidad para los cerdos es casi nula, ya que una pequeñísima cantidad de fósforo ligado al ácido fítico llega a estar biológicamente disponible. Por lo tanto, para cubrir dichas necesidades, se hace imprescindible la suplementación con una fuente extra de fósforo mineral, principalmente, en forma de fosfato bicálcico y monocálcico. Sin embargo, ello plantea un problema, al margen del coste económico de la suplementación, como es la excesiva eliminación de fósforo en las deyecciones de los cerdos, provocando un verdadero problema medio ambiental (Cromwell, 2002).

Recordemos que gran parte del fósforo introducido en el medio ambiente por el sector agrícola procede del estiércol animal. Los cerdos excretan el 90% del fósforo sobrante a través de los purines. Así, cuando se abusa del abono

o bien el estiércol es muy rico en fósforo, la planta no es capaz de extraer todo el fósforo. La filtración de este exceso de mineral, a través de la tierra, puede acelerar el crecimiento de algas en cauces de aguas y mares (eutrofización), lo cual representa una amenaza para la vida acuática, debido a la disminución del oxígeno disuelto.

Para hacer frente a este problema medio ambiental de los fosfatos se han ofrecido varias soluciones. Así, en los últimos años se han abierto nuevas líneas de investigación en Producción Vegetal para obtener materias primas con un menor contenido en fitatos. En este sentido, se ha experimentado con un maíz modificado genéticamente, que contiene un gen *Lpa 1* (low phytic acid 1) que codifica para una baja acumulación de fitato sin que ello altere el contenido normal del fósforo. Autores como, Campbell y van der Poel (1998) han conseguido reducir en un 65% el nivel de fitato en el maíz, sin que ello afecte al aporte de fósforo total del grano. De igual manera, Pierce (1999) trabajando con maíz bajo en fitatos detectó una digestibilidad verdadera del fósforo superior en un 26%. Por otra parte, Thacker y cols., (2003) utilizando variedades de cebada bajas en fitatos, comprobaron que la digestibilidad del fósforo aumentaba, sin que ello afectara a la digestibilidad de otros nutrientes.

Sin embargo, ha sido el empleo de fitasas la solución más efectiva para el problema, al tratarse de una enzima que actúa liberando el fósforo unido al ácido fítico, de manera que es absorbido, reduciéndose la excreción del mismo por parte del cerdo. Por lo tanto, tanto la utilización de materias vegetales bajas en fitatos o la inclusión fitasas en la pienso, mejoran la digestibilidad del fósforo; si bien ambas estrategias, en opinión de Thacker y cols., (2004) no tienen un efecto aditivo, por lo que no recomiendan el uso de fitasas en dietas con bajo contenido en fitatos. Contrariamente, Gourley y cols. (2002) en un experimento con cerdos de 28 kg, encontraron un efecto aditivo en la utilización de dietas con un maíz bajo en fitatos a las que se añadía 300 UF/kg, de tal manera que la incorporación de fitasas o la inclusión de una variedad de maíz bajo en fitatos reducía la excreción de fósforo en un 25%, mientras que cuando se incorporaban fitasas a la dieta con maíz bajo en fitatos se reducía en un 54%.

Solo por este efecto de aumento de la digestibilidad del fósforo, consideramos interesante abordar este artículo, pero es que además, como veremos a lo largo del mismo, las fitasas también van a jugar un papel importante en la absorción de otros nutrientes, contribuyendo a la mejora en el crecimiento de los cerdos. Pero si a ello añadimos el hecho que, gracias a la Biotecnología e Ingeniería Genética, se ha conseguido obtener una fitasa comercial a un precio muy atractivo, entenderemos por qué se trata de una enzima ampliamente utilizada en Producción Porcina, tanto desde el punto de vista productivo como desde la óptica medioambiental.

TIPOS DE FITASAS

Las fitasas pueden tener un doble origen en el organismo del cerdo. Por una parte, puede tratarse de unas fitasas de origen intrínseco o de origen extrínseco, aportadas a través de la alimentación.

La actividad endógena de la fitasa en la mucosa intestinal del cerdo es casi nula, ya que las fitasas intestinales no son efectivas en la hidrólisis de los fitatos en dietas equilibradas (Pointillart, 1994; Yi y Kornegay, 1996). Además, las fitasas de los microorganismos del intestino grueso no influyen en la utilización del fósforo, porque aun cuando tengan capacidad fitásica, el fósforo liberado no se absorbe y es excretado en su totalidad. De ahí que la capacidad de utilización del fósforo y demás nutrientes, unidos a los complejos fitatos, depende, en exclusividad, del contenido de fitasas presentes en las materias primas vegetales de la dieta o del aporte extra de fitasas microbianas añadidas al pienso. Por esta razón, vamos a referirnos, a lo largo del artículo, a dos tipos de fitasas: fitasa vegetal y fitasa microbiana.

De forma global, la fitasa (mioinositol hexafosfato fosfohidrolasa) es capaz de hidrolizar el ácido fítico (Figura 1), produciendo ortofosfato inorgánico, capaz de ser absorbido



Foto 1. La filtración de exceso de fósforo favorece la eutrofización en cauces de aguas y mares.

por la pared gastro-intestinal del cerdo, además de una serie de esteres fosfóricos del mio-inositol. Es decir, las fitasas catalizan la hidrólisis de los fosfatos monoesterificados del ácido fítico (IP6) de forma progresiva para dar lugar a inositol 5 fosfato (IP5), inositol 4 fosfato (IP4), inositol 3 fosfato (IP3), inositol 2 fosfato (IP2), inositol 1 fosfato (IP1) y mioinositol libre. La diferencia entre ambas enzimas radica en el lugar de inicio de la hidrólisis, así, la fitasa microbiana es una 3-fitasa, (EC 3.1.3.8) por comenzar la desfosforilación del mioinositol en la posición 3 y la fitasa vegetal es una 6-fitasa, por comenzarla en la posición 6. Otra diferencia es que las fitasas microbianas liberan 5 de los 6 fosfatos del ácido fítico, por lo que rara vez es posible detectar mioinositol libre (Wyss y cols., 1999); mientras que las fitasas vegetales hidrolizan completamente el ácido fítico (Wodzinski y Ullah, 1996).

Las fitasas microbianas se pueden obtener a partir de numerosas bacterias (*Aerobacter aerogenes*, *Bacillus subtilis*, *Klebsiella aerogenes* y *Pseudomonas spp.*), levaduras y hongos; siendo esta última fuente, la más importante, fundamentalmente, a partir del Género *Aspergillus*. No se han detectado sinergias en la utilización de fitasas de origen fúngico y fitasas bacterianas sobre el nivel plasmático del fósforo (Stahl y cols., 2004). Actualmente, tres de las cuatro fitasas comerciales (Natuphos, Novo phytase y Finase) se obtienen a partir del *Aspergillus ficuum*, *A. niger* o *A. oryzae*, mediante modificación genética, lo que permite una producción diez veces mayor que la cepa de campo. La cuarta (Alltech phytase) se obtiene sin modificación genética.

La fitasa microbiana tiene un pH óptimo de actuación a 2,5 y otro entre 4,5-5,7 y una temperatura óptima de 60° C (Simons y cols., 1990). Si bien, actualmente, contamos con fitasas microbianas más resistentes térmicamente. Así en el año 2000 se obtuvo a partir del *Aspergillus oryzae*, modificado genéticamente, una fitasa que era capaz de resistir temperaturas de 90° C durante 30 segundos.

La fitasa de origen vegetal fue descubierta por primera vez en el trigo.

La actividad fitásica vegetal es muy variable de unas materias primas a otras (Tabla 1), e incluso, dentro de una misma especie, puede variar dependiendo de la variedad, del grado de madurez de la semilla, de la parte del grano o de la planta en cuestión, etc. Así, las semillas secas presentan una actividad fitásica más baja que aquellas en germinación, en la cuales se aprecia una actividad máxima. Aunque no se sabe si este aumento de la actividad fitásica, como consecuencia de la germinación, es debido a una activación de la fitasa existente o a la síntesis de nueva fitasa (Gibson y Ullah, 1990).

La fitasa vegetal tiene un pH óptimo entre 5-5,5 y una temperatura óptima de actuación alrededor de los 50° C (Lantzh, 1989). Debido a esta nula actividad en condiciones de pH bajo (pH estomacal), a su rápida degradación tras el proceso térmico en la granulación del pienso y a su enorme variedad cuantitativa en el reino vegetal, la fitasa vegetal tiene poca utilidad en la alimentación del cerdo, ya que se trata de una fitasa diseñada, fundamentalmente, para liberar el fósforo fítico durante la germinación de la semilla.

La actividad fitásica de ambas enzimas es diferente respecto a la digestibilidad del fósforo. En este sentido, Eeckhout y De Paepe (1991) demostraron que con fitasas microbianas se alcanzaba un 50% de digestibilidad, mientras que con las fitasas vegetales (salvado de trigo) a penas se llegaba al 30% de digestibilidad del fósforo. A estas mismas conclusiones llegaron Han y cols., (1997) quienes alimentaron a un grupo de cerdos con una dieta a base de maíz y soja suplementada con fitasas microbianas (1000 UF/kg) y a otro con una dieta que contenía salvado de trigo (6000UF vegetales/kg), comprobando como con la primera dieta se alcanzaban valores más altos de fósforo inorgánico. Esta diferencia de efectividad de ambas enzimas puede ser debido, no solo a las características propias de cada enzima, sino también a la diferente susceptibilidad de dichas enzimas a la acción de las enzimas endógenas de los cerdos. Este aspecto ha sido comprobado in vitro, donde la estabilidad de la fitasa del trigo, en presencia de enzimas digestivas, es menor en comparación con la estabilidad de fitasa de *Aspergillus niger*. Concretamente, Phillippy (1999) determinó que tras un periodo de incubación a pH 3,5 con pepsina, la fitasa microbiana (*Aspergillus niger*) mantenía un 95% de su actividad, mientras que la fitasa vegetal

Figura 1. Estructura del ácido fítico.

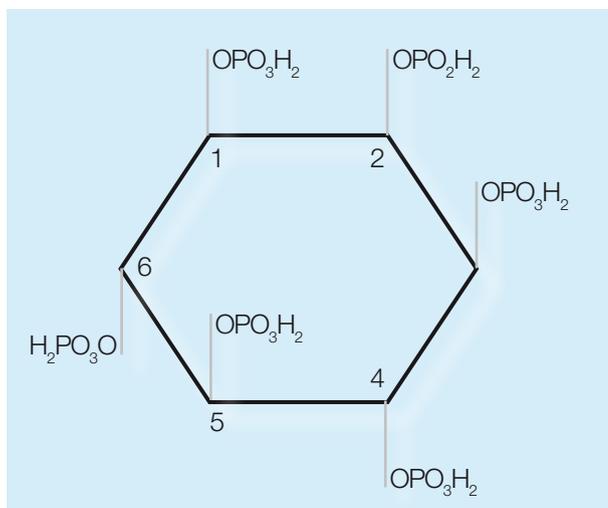


TABLA 1
CONTENIDO MEDIO EN FÓSFORO TOTAL (%), FÓSFORO FÍTICO (%),
FÓSFORO FÍTICO (COMO % DEL FÓSFORO TOTAL) Y ACTIVIDAD FITÁSICA (UF/KG)
EN MATERIAS PRIMAS VEGETALES

	P total (%)	P fítico (%)	P fítico % (P total)	Actividad fitá- sica (UF/kg)
Cereales y subproductos de cereales				
Trigo	0.33	0.23	69	1193
Maíz	0.26	0.18	72	24
Arroz	-	0.27	77	-
Arroz pulido	-	0.09	51	112
Sorgo	0.27	0.19	71	24
Centeno	0.35	0.22	61	5139
Cebada	0.34	0.23	64	582
Avena	0.33	0.22	61	63
Triticale	0.37	0.25	67	1688
Mijo	0.20	0.15	75	56
Salvado de trigo	1.18	0.95	84	2957
Salvado de arroz	1.68	1.38	80	5
Cilindro de arroz	1.71	1.10	64	122
Tercerillas	0.87	0.53	66	438
Salvado de centeno	0.96	0.73	76	4624
Salvado de avena	0.83	0.68	82	25
Gluten de maíz	0.42	0.29	69	173
Gluten de trigo	0.78	0.56	71	25
Leguminosas				
Altramuz	0.29	0.11	38	219
Garbanzo	0.31	0.17	55	130
Guisante	0.39	0.19	50	100
Haba	0.39	0.13	33	201
Harinas de oleaginosas				
Soja	0.57	0.37	65	62
Colza	1.09	0.58	53	29
Girasol	1.01	0.58	58	68
Algodón	1.34	0.84	63	36
Coco	0.43	0.24	56	37
Palma	0.51	0.29	57	34
Linaza	0.75	0.42	55	5
Sésamo	0.88	0.67	76	175
Cacahuete	0.68	0.32	47	3

(salvado de trigo) solamente el 70%. No obstante, Pointillart (1994) observó un efecto aditivo entre ambas enzimas.

Debido a esta mayor eficacia de las fitasas microbianas, Koegel y cols., (1999) propusieron la transferencia del gen fitasa del *A. niger* a los vegetales, de manera que a través de la alimentación de las materias primas se vehiculara la fitasa, sin necesidad de recurrir al aporte de fitasas microbianas.

EFFECTO DE LAS FITASAS SOBRE METABOLISMO DIGESTIVO

La principal función de las fitasas es la hidrolización del ácido fítico, produciendo ortofosfato inorgánico, aumentando la digestibilidad del fósforo. Del 40-50% de la actividad fitásica de la dieta se observa en el estómago y del 16-31% en el intestino delgado anterior (Yi y Kornegay, 1996). Pero en esta desfosforilación también se ve mejorada la digestión y absorción de otros minerales, de proteínas, aminoácidos y/o energía, ya que las fitasas van a degradar los complejos fitatos-proteína-almidón de los vegetales.

El ácido fítico cuando se une a diversos minerales y/u oligoelementos, para formar los correspondientes fitatos, provoca una reducción de la biodisponibilidad de los mismos, entre los cuales se encuentran (Ca, Mg, Fe, Zn, Cu, Mn, Mo y Co). Los cationes multivalentes van a actuar como puentes catiónicos, en los complejos ternarios de fitatos y proteínas a pH alcalino. La mayor o menor biodisponibilidad va a depender de una serie de factores tales como el pH, concentración, asociación entre el ácido fítico con las proteínas y el almidón, procesado del pienso, presencia de otros iones en el alimento, etc. De todos ellos, quizás sea el calcio el de mayor relevancia, de manera que podríamos establecer una equivalencia de 0,7-1 g de calcio por cada 500 UF/kg (Radcliffe y cols., 1995). También se aprecia el aumento de la digestibilidad de otros minerales como el magnesio, manganeso, cobre y zinc en lechones (Pallauf y cols., 1992), del cobre y zinc en cerdos en crecimiento (Adeola y cols., 1995), del hierro en lechones (Stahl y cols., 1998) y del magnesio, cobre y zinc en cerdas gestantes y lactantes (Czech y Greta, 2004). Ello implica, en opinión de Shelton y cols., (2004) que el aporte de fitasas al pienso puede reducir, en parte, el aporte de microminerales en el corrector, al liberarse alguno de estos minerales en la hidrólisis de los fitatos.

Por su parte, las proteínas unidas a los fitatos son menos susceptibles de ser atacadas por las proteasas, que las proteínas libres, lo que provoca una reducción de la digestibilidad de las mismas. El pH quizás sea el factor más importante, ya que por debajo del punto isoelectrico la proteína adquiere carga positiva (NH₃⁺), uniéndose electrostáticamente al ácido fítico que tiene carga negativa (esteres fosfóricos⁻). Esta unión fitato-proteína se podría evitar, en muchas materias primas, como por ejemplo la soja, el maíz o el girasol, mediante la incubación a pH 2-3 con fitasas. Por el contrario, a pH alcalino tanto el ácido fítico como la proteína tienen cargas negativas, por lo que se cree que en estas circunstancias la interacción de cationes como el calcio es necesaria para formar el complejo fitato-proteína. En el caso concreto de la soja, el ácido fítico está unido a ciertas mangano-proteínas y parece estar relacionado con la agregación de la aglutinina y α -conglucina. En líneas generales, el grado de unión entre las proteínas y el ácido fítico está relacionado con el tipo de proteína y, más concretamente, con su composición aminoacídica, en donde la presencia de lisina, favorece esta unión, como ocurre en el caso de la soja.

En este sentido, el efecto de la fitasa microbiana, procedente del *Aspergillus niger*, es aumentar la digestibilidad total aparente de la proteína bruta en el tubo digestivo en un 2-3% (Mroz y cols., 1994). Asimismo, esta fitasa, en un dieta alta en contenido de fósforo, mejora la digestibilidad total aparente de la energía bruta entorno al 2% (Jongbloed y cols., 1996).

En experiencias llevadas a cabo con cerdos en crecimiento (> 20 kg), la fitasa microbiana aumenta significativamente la deposición de proteína diaria, la relación proteína retenida/proteína ingerida y la relación energía retenida/energía ingerida, así como la utilización de aminoácidos en dietas de maíz y soja (Biehl y Baker, 1996; Kemme y cols., 1999). Igualmente, la fitasa microbiana mejora la digestibilidad total aparente de la proteína en cerdas en gestación y lactación en un 2,3 y 1,9%, respectivamente (Grela y Krasucki, 1997).

Sin embargo, en la literatura científica hemos encontrado trabajos que no detectan ningún efecto de la fitasa microbiana sobre la digestibilidad total aparente de la proteína en lechones, en cerdos en crecimiento o en cerdas reproductoras

Foto 2. En los piensos de porcino se recomienda una dosis de 500 UF/kg.



(Lantzsch y cols., 1995; Bruce y Sundstl, 1995; Valaja y cols., 1998; Li y cols., 1998; Traylor y cols., 2001; Liao y cols., 2004 y 2005). Estas diferencias, entre los diversos autores pueden ser debidas a las distintas dosis de fitasas o a la composición de las dietas utilizadas en las experiencias.

Al margen de la formación de complejos fitatos-proteínas hay otros factores que inciden en la absorción y utilización de las proteínas del pienso rico en fitasas como son: la inhibición de las secreciones de enzimas digestivas y la disminución de los nutrientes en la región pilórica-cecal del intestino. En efecto, la presencia de fitasas puede inhibir de forma importante enzimas como la α -amilasa, pepsina o tripsina; en este último caso, posiblemente al unirse con iones calcio. Asimismo, el ácido fítico también inhibe la conversión del tripsinógeno en tripsina, por un mecanismo similar de quelación del calcio (Szkudelski, 1997).

Por otra parte, el ácido fítico también está unido al almidón, a través de las proteínas que se encuentran unidas al mismo, reduciéndose de esta manera su digestibilidad.

En otro orden de cosas, parece ser que las fitasas reducen la digestibilidad de los ácidos grasos saturados, al verse favorecida su oxidación por los elementos traza liberados por las fitasas (Gebert y cols., 1999). Por ello se recomienda un incremento de vitamina E como antioxidante cuando se incluyan fitasas en la dieta.

FACTORES QUE INFLUYEN EN LA ACTIVIDAD DE LAS FITASAS

- 1 Procesado del pienso: en el proceso de fabricación del pienso se rompen y trituran parte de las semillas, lo que provoca un mayor contacto entre los fitatos y las fitasas, favoreciendo la hidrólisis del ácido fítico (Reddy y cols., 1982; Kasin y Edwards, 1998).
- 2 Granulación del pienso: si en el proceso de granulación no se superan los 60° C, no se va a alterar significativamente la actividad de la fitasa. Cuando la temperatura alcanza los 70° C, su actividad se ve reducida en un 15-25%. Pero cuando la temperatura de granulación supera los 80° C se provoca la desnaturalización de la enzima (Jongbloed y Kemme, 1990). En este último caso se recomienda la aplicación de las fitasas microbianas en forma líquida una vez concluida la fase de granulación (Engelen y van der Poel, 1999). El lugar idóneo para esta aplicación es tras el enfriado y cribado del grano, asegurándonos de la correcta homogenización del producto.
- 3 Almacenamiento de la fitasa microbiana: a medida que aumenta el tiempo de almacenamiento pierde actividad la enzima, si bien es verdad, que los preparados comerciales son cada vez más estables, no llegando a superar una pérdida del 10-15% en periodos de almacenamiento de 3-4 meses. Por otra parte, la temperatura ideal para el almacenamiento son los 4° C.
- 4 Presencia de calcio en la dieta: la presencia de elevadas cantidades de calcio en la dieta provoca una aparente inactividad de la fitasa, al formarse complejos calcio-fitato muy estables e insolubles; en donde el calcio compite con las fitasas por su lugar preferente de acción. En este sentido, al añadir fitasas al pienso, el aporte de fósforo mine-



Foto 3. Cuanto más tiempo permanezca el alimento en el estómago del cerdo mayor será la eficacia de las fitasas.



Foto 4. La suplementación con fósforo mineral provoca una excesiva eliminación de fósforo en las deyecciones porcinas.

ral se reduce, por lo que sería conveniente rebajar el aporte de calcio. La mayor respuesta en la adicción de fitasas (mejor utilización del fósforo) se obtiene cuando la relación Ca/Ptotal es de 1-1,1:1 (Qian y cols., 1996). Por su parte, Hanni y cols., (2003) afirmaron que cuando el contenido en fitasas de la dieta es de 300 UF/kg de pienso, la relación Ca/Ptotal no debería ser superior a 1,5:1, ya que de lo contrario se produciría un descenso en el consumo de pienso y en el crecimiento. En este caso la presencia de vitamina D3 va a ejercer una acción beneficiosa sobre la fitasa al aumentar la absorción del calcio (Lei y cols., 1994).

- 5 Actividad fitásica intrínseca de las materias primas: esta actividad es muy variable dependiendo de las especies vegetales, así lo cereales y los subproductos contienen grandes cantidades de fitasas, mientras que las harinas oleaginosas y las leguminosas contienen menos niveles (Eeckhout y de Paepe, 1994; Viveros y cols., 2000). Además el lugar de la planta o de la semilla donde se localiza el fitato es variable en función de la especie, así en el maíz se localiza en el germen; en el trigo en la aleurona; en el arroz en el pericarpio; en las leguminosas en los cotiledones y en algunas oleaginosas en el endospermo.
- 6 Presencia de ácidos orgánicos: la presencia de ácidos orgánicos como el ácido fórmico, láctico o cítrico, favorecen la acción de las fitasas al provocar un pH estomacal más favorable. Así autores como, Kemme y cols., (1999) han demostrado que la presencia de ácido láctico junto con las fitasas mejora la digestibilidad del fósforo. De igual manera, Rice y cols., (2002) comprobaron que la suplementación de las dietas con fitasas y ácido cítrico mejoraba la digestibilidad del fósforo y de la materia seca de forma sinérgica. Sin embargo, otros autores no han detectado esta acción sinérgica entre fitasas y ácidos orgánicos. Bien es verdad que de forma indirecta, la acidificación provoca un vaciamiento más lento del estómago, permitiendo una mejor actuación de las fitasas (Jongbloed y Jongbloed, 1996). Junto a ello el empleo de ácidos orgánicos provoca un efecto positivo sobre la proliferación de las células epiteliales gastrointestinales que redundan en una mayor absorción del fósforo.
- 7 Germinación del grano: la fitasa vegetal tiene muy poca actividad en las semillas que no han germinado, Por el contrario su papel es determinante en la germinación para liberar los fosfatos y el inositol en el grano.
- 8 Proceso fisiológico digestivo del cerdo: cuanto más tiempo permanezca el alimento en el estómago mayor será la eficacia de las fitasas. En este sentido, Kemme y cols., (1997) han encontrado diferencias en función del estado fisiológico del cerdo. La mayor eficacia de las fitasas se ha encontrado en las cerdas lactantes, seguido de los cerdos en crecimiento-cebo, cerdas en final de gestación, lechones y, por último, en cerdas en mitad de gestación. Estas diferencias son debidas a las condiciones del estómago, así como a los distintos tiempos de retención del alimento en el tubo digestivo.
- 9 Solubilidad de los fitatos: cuanto más soluble sea el fitato mayor actuación tendrán las fitasas (Kemme, 1998). De esta manera, se ha comprobado que el fitato del trigo es menos soluble que el del maíz a pH entre 4 y 7, y que en ambas semillas el fitato ve reducida su solubilidad a pH 3.

- 10 Tipo de alimentación: la alimentación líquida y la alimentación húmeda fermentada consiguen aumentar la eficacia de las fitasas vegetales, reduciendo la presencia de fitatos (Larsen y cols., 1999; Carlson y Poulsen, 2003).

DOSIS RECOMENDADA DE FITASAS

La digestibilidad del fósforo en función de la concentración de fitasas sigue unas ecuaciones no lineales (exponenciales o logarítmicas), pero de las cuales se puede deducir un incremento lineal del 0,016% en la digestibilidad el fósforo por unidad de fitasa (Kornegay, 1999).

Con la adición de 500 UF/kg de pienso se consigue una reducción del 33% en la excreción del fósforo, existiendo una respuesta al incremento de las dosis de fitasas pero solo hasta 1000 UF/kg, a partir de esa concentración no hay una mayor digestibilidad del fósforo.

La dosis recomendada por la mayoría de los autores es de 500 UF/kg de pienso, lo que equivale a 1 g de fósforo digestible/kg de pienso. La mayoría de los productos comerciales se encuentran en forma de polvo, gránulo o forma líquida.

CONCLUSIONES

La incorporación de fitasas al pienso mejora la digestibilidad del fósforo, disminuyendo la excreción del mismo en las heces, con lo que se consigue reducir el impacto medioambiental de los purines de los cerdos. Así mismo, se consigue mejorar la digestibilidad de otros minerales, de proteínas, aminoácidos y energía, lo que redundará en un aumento de la tasa de crecimiento de los animales. Pero para que las fitasas puedan desarrollar toda su potencialidad hemos de tener en cuenta una serie de aspectos tales como: concentración de fitasas en la dieta, actividad fitásica vegetal de la dieta, cantidad de fósforo total y fítico de la dieta, contenido de calcio y relación Ca:P de la dieta y tipo de procesamiento en la fabricación del pienso.

BIBLIOGRAFÍA

- ADEOLA, O.; LAWRENCE, B.V.; SUTTON, A.L. Y CLINE, T.R. 1995. PHYTASE-INDUCED CHANGES IN MINERAL UTILIZATION IN ZINC-SUPPLEMENTED DIETS FOR PIGS. *J. ANIM. SCI.*, 73: 3384-3391.
- BIEHL, R. R. Y BAKER, D. H. 1996. EFFICACY OF SUPPLEMENTAL 1-HYDROXYCHOLECALCIFEROL AND MICROBIAL PHYTASE FOR YOUNG PIGS FED PHOSPHORUS- OR AMINO ACID-DEFICIENT CORN-SOYBEAN MEAL DIETS. *J. ANIM. SCI.*, 74: 2960-2966.
- BRUCE, J. A. M. Y SUNDSTL, 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. *CAN. J. ANIM. SCI.*, 75: 121-127.
- CAMPBELL, G.L. Y VAN DER POEL, A.F.B. 1998. USE OF ENZYMES AND PROCESS TECHNOLOGY TO INACTIVATE ANTINUTRITIONAL FACTORS IN LEGUME SEEDS AND RAPESEED. EN. RECENT ADVANCES OF RESEARCH IN ANTINUTRITIONAL FACTORS IN LEGUME SEEDS AND RAPESEED (A.J.M. JANSMAN, G.D. HILL, J. HUISMAN, A.F.B. VAN DER POEL, EDS.), PP 377-386. EAAP PUBLICATION N° 93, WAGENNINGEN PERS, WAGENNINGEN, THE NETHERLANDS.
- CARLSON, D. Y POULSEN, H.D. 2003. PHYTATE DEGRADATION IN SOAKED AND FERMENTED LIQUID FEED EFFECT OF DIET, TIME OF SOAKING, HEAT TREATMENT, PHYTASE ACTIVITY, PH AND TEMPERATURE. *ANIM. FEED. SCI. TECHON.* 103: 141-154.
- CROMWELL, G.L. 2002. PHYTASE, WHAT IS NEW AND WHAT NEEDS TO BE DONE?. *J. ANIM. SCI.*, 80 (SUPPL 1): 54. REF. 211.
- CZECH, A. Y GRETA, E.R. 2004. BIOCHEMICAL AND HAEMATOLOGICAL BLOOD PARAMETERS OF SOWS DURING PREGNANCY AND LACTATION FED THE DIET WITH DIFFERENT SOURCE AND ACTIVITY OF PHYTASE. *ANIM. FEED SCI. AND TECHNOLOGY*, VOL. 116 (3-4): 211-223.
- EECKHOUT, W. Y DE PAAPE M. 1991. THE QUANTITATIVE EFFECTS OF AN INDUSTRIAL MICROBIAL PHYTASE AND WHEAT PHYTASE ON THE APPARENT PHOSPHORUS ABSORBABILITY OF MIXED FEED BY PIGLETS. *MED. FAC. LANDBOWWET. RIJKUNIV. GENT*, 56, 1643-1647.
- EECKHOUT, W. Y M. DE PAAPE. 1994. TOTAL PHOSPHORUS, PHYTATE-PHOSPHORUS AND PHYTASE ACTIVITY IN PLANT FEEDSTUFFS. *ANIM. FEED SCI. TECHNOL.*, 47: 19-29.
- ENGELEN, G.M.A. Y VAN DER POEL, A.F. 1999. POST PELLETING APPLICATION OF LIQUID ADDITIVES. WAGENNINGEN FEED PROCESSING CENTRE, PAÍSES BAJOS.
- GEBERT, S.; BEE, G.; PFIRTER, H.P. Y WENK, C. 1999. GROWTH PERFORMANCE AND NUTRIENT UTILISATION AS INFLUENCED IN PIGS BY MICROBIAL PHYTASE AND VITAMIN E SUPPLEMENTATION TO A DIET OF HIGH OXIDATIVE CAPACITY. *ANN. ZOOTECH.*, 48: 105-115.
- GIBSON, D.M. Y ULLAH. A.B.J. 1990. PHYTASE AND THEIR ACTIONS ON PHYTIC ACID. EN: INOSITOL METABOLISM IN PLANTS. DJ. MORRE; W.F. BROSS Y FA. LOEWUS (ED.) WILEY-LISS, NEW YORK, PP. 77-92.
- GOURLEY, G.; SAUBER, T.E.; JONES, D.B.; KENDALL, D. Y ALLE, G. 2002. EFFECT OF LOW PHYTATE CORN AND DIETARY PHYTASE ADDITION ON PIG GROWTH AND FECAL PHOSPHORUS EXCRETION IN A COMMERCIAL ENVIRONMENTAL. *J. ANIM. SCI.*, VOL. 80 (SUPPL 2): 74. REF. 174.
- GRELA, E. R. Y KRASUCKI, W. 1997. EFFICACY OF MICROBIAL PHYTASE (NATUPHOS) IN GESTATION AND LACTATION OF SOWS FED CEREAL-BASED DIETS WITHOUT OR WITH FORMIC ACID. RESEARCH REPORT TO ROYAL GIST-BROCADES NV AND BASF, INSTITUTE OF ANIMAL NUTRITION, LUBLIN, POLAND.
- HAN, Y.M.; YANG, F.; ZHOU, A.G.; MILLER, E.R.; KU, P.K.; HOGBERG, M.G. Y LEI, X.G. 1997. SUPPLEMENTAL PHYTASES OF MICROBIAL AND CEREAL SOURCES IMPROVE DIETARY PHYTASE PHOSPHORUS. UTILISATION BY PIGS FROM WEANING THROUGH FINISHING. *J. ANIM. SCI.*, 75: 1017-1025.
- HANNI, S.M.; TOKACH, M.D.; GOODBAND, R.D.; GRITZ, S.S. Y NELSEN, J.L. 2003. EFFECTS OF INCREASING CALCIUM:PHOSPHORUS RATIO IN DIETS CONTAINING PHYTASE ON GROWTH PERFORMANCE OF GROW-FINISH PIGS. *J. ANIM. SCI.*, SUPPL 1: 52. REF. 207.

- JONGBLOED, A. W. Y JONGBLOED, R. 1996. THE EFFECT OF ORGANIC ACIDS IN DIETS FOR GROWING PIGS ON ENHANCEMENT OF MICROBIAL PHYTASE EFFICACY. REPORT IVO-DLO DEPT. WP N° 96.009, LELYSTAD, PAÍSES BAJOS.
- JONGBLOED, A. W. Y KEMME, P.A. 1990. APPARENT DIGESTIBLE PHOSPHORUS IN THE FEEDING OF PIGS IN RELATION TO AVAILABILITY, EQUIPMENT AND ENVIRONMENT. 1. DIGESTIBLE PHOSPHORUS IN FEEDSTUFFS FROM PLANT AND ANIMAL ORIGIN. NETH. J. AGRIC. SCI., 38: 567-575.
- JONGBLOED, A. W.; KEMME, P.A. MROZ, Z. 1996. EFFECTIVENESS OF NATUPHOS PHYTASE IN IMPROVING THE BIOAVAILABILITIES OF PHOSPHORUS AND OTHER NUTRIENTS FOR GROWING-FINISHING PIGS. EN: M. B. COELHO AND E. T. KORNEGAY, (ED.) PHYTASE IN ANIMAL NUTRITION AND WASTE MANAGEMENT. P. 393. BASF CORPORATION, MOUNT OLIVE, NJ.
- KASIM, A. B.Y EDWARDS, H.M.. 1998. THE ANALYSIS OF INOSITOL PHOSPHATE FORMS IN FEED INGREDIENTS. J. SCI. FOOD AGRIC., 76: 1-9.
- KEMME, P. A. 1998. PHYTATE AND PHYTASES IN PIG NUTRITION. PH.D. DISS., UTRECHT UNIV., UTRECHT, THE NETHERLANDS.
- KEMME, P. A., JONGBLOED, A.W.; MROZ, Z. Y BEYNE, A.C. 1997. THE EFFICACY OS ASPERGILLUS NIGER PHYTASE IN RENDERING PHYTATE PHOSPHORUS AVAILABLE FOR ABSORPTION IN PIGS IS INFLUENCED BY PIG PHYSIOLOGICAL STATUS. J. ANIM. SCI., 75: 2129-2138.
- KEMME, P. A., JONGBLOED, A.W.; MROZ, Z. Y BEYNE, A.C. 1999. DIGESTIBILITY OF NUTRIENTS IN GROWING-FINISHING PIGS IS AFFECTED BY ASPERGILLUS NIGER PHYTASE, PHYTATE, AND LACTIC ACID LEVELS. 1. APPARENT ILEAL DIGESTIBILITY OF AMINO ACIDS. LIVEST. PROD. SCI., 58: 107-117.
- KOEGEL, R.G.; STRAUB, R.J.; AUSTIN-PHILLIPS, S.; COOK, M.E Y CRENSHAW, T.D. 1999. ALFALFA PRODUCED PHYTASE FOR SUPPLEMENTATION OF POULTRY AND SWINE RATION. EN: ASAE/CSAE-SCGR ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 9 PP. TORONTO, ONTARIO. CANADA, 18-21 JULY.
- KORNEGAY, E. T. 1999. A REVIEW OF PHOSPHORUS DIGESTION AND EXCRETION AS INFLUENCED BY MICROBIAL PHYTASE IN POULTRY. PROC. 1999 BASF TECHNICAL SYMP., ATLANTA, GA.
- LANTZSCH, H.J., 1989. EINFUERUNG UND STAND DER DISKUSSION ZUR INTESTINALEN VERFUEGBARKEIT DES PHOSPHORS BEIM SCHWEIN. IN: INDUSTRIEVERBAND AGRAR E.V., FACHAUSSCHUSS FUTTERPHOSPHATE. PAGES 53-77.
- LANTZSCH, H. J.; WJST, S. Y DROCHNER, W. 1995. THE EFFECT OF DIETARY PHYTASE ON THE EFFICACY OF MICROBIAL PHYTASE IN RATIONS FOR GROWING PIGS. J. ANIM. PHYSIOL. A. ANIM. NUTR., 73: 19-26.
- LARSEN, T.; SKOGLUND, E.; SANDBERG, A.S. Y ENGBERG, R.M. 1999. SOAKING AND PELLETING OF PIG DIETS ALTERS THE APPARENT ABSORPTION AND RETENTION OF MINERALS. CAN. J. ANIM. SCI., 79: 477-483.
- LEI, X. G.; KU, P.K.; MILLER, E.R.; YOKOYAMA, M.T. Y ULLREY, D.E. 1994. CALCIUM LEVEL AFFECTS THE EFFICACY OF SUPPLEMENTAL MICROBIAL PHYTASE IN CORN-SOYBEAN MEAL DIETS OF WEANLING PIGS. J. ANIM. SCI., 72: 139-143.
- LI, D.; CHE, X.; WANG, Y.; HONG, C. Y THACKER, P.A. 1998. EFFECT OF MICROBIAL PHYTASE, VITAMIN D3, AND CITRIC ACID ON GROWTH PERFORMANCE AND PHOSPHORUS, NITROGEN AND CALCIUM DIGESTIBILITY IN GROWING PIGS. ANIM. FEED SCI. AND TECH., 73 (1-2): 173-186.
- LIAO, S. F., SAUER, W.C.; KIES, A.K.; ZHANG, Y.C.; CERVANTES, M. Y HE, J.M.. 2004. EFFECT OF PHYTASE SUPPLEMENTATION TO DIETS FOR WEANLING PIGS ON THE DIGESTIBILITIES OF CRUDE PROTEIN, AMINO ACIDS AND ENERGY. J. ANIM. SCI., 83 :625-633.
- 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. J. ANIM SCI., 83: 2130-2136.
- 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. J. ANIM. SCI., 72: 126-132
- PALLAUF, V. J., HOLER, D.; RIMBACH, G. Y NEUSSER, H. 1992. EFFECT OF MICROBIAL PHYTASE SUPPLEMENTATION TO A MAIZE-SOY-DIET ON THE APPARENT ABSORPTION OF MG, FE, CU, MN ANSD ZN IN PIGLETS. J. ANIM. PHYSIOL. AND ANIM. NUTR. 68: 1-9.
- PHILLIPPY B.Q., 1999. SUSCEPTIBILITY OF WHEAT AND ASPERGILLUS NIGER PHYTASES TO INACTIVATION BY GASTROINTESTINAL ENZYMES. J. AGRIC. FOOD CHEM., 47: 1385-1388.
- PIERCE, L.J. 1999. NUTRITIONAL ASSESSMENT OF CONVENTIONAL AND LOW PHYTIC ACID CORN FOR PIGS AND CHICKS. PH.D. DISSERTATION, UNIVERSITY OF KENTUCKY, LEXINGTON
- POINTILLART, A 1994. PHYTATES, PHYTASE: LEUR IMPORTANCE DANS L'ALIMENTATION DES MONOGASTRIQUES. PROD. ANIM. 7: 29-39.
- QIAN, H.; KORNEGAY, E.T. Y CONNER, D.E. 1996. ADVERSE EFFECTS OF WIDE CALCIUM:PHOSPHORUS RATIOS ON SUPPLEMENTAL PHYTASE EFFICACY FOR WEANLING PIGS FED TWO DIETARY PHOSPHORUS LEVELS. J. ANIM. SCI., 74: 1288-1297.
- RADCLIFFE, J. S., KORNEGAY, E.T. Y CONNER, D.E. 1995. THE EFFECT OF PHYTASE ON CALCIUM RELEASE IN WEANLING PIGS FED CORN-SOYBEAN MEAL DIETS. J. ANIM. SCI., 73 (SUPPL 1): 173.
- REDDY, N. R.; SATHE, S.K. Y SALUNKHE, D.K.. 1982. PHYTATES IN LEGUMES AND CEREALS. EN: C. O. CHICHESTER, E. M. MRAK, AND G. F. STEWART (ED) ADVANCES IN FOOD RESEARCH. P. 1. ACADEMIC PRESS INC., NEW YORK, NY.
- RICE, J.P.; RADDIFLE, J.S. Y PLEASANT, R.S. 2002. THE EFFECT OF CITRIC ACID ALONE OR IN COMBINATION WITH MICROBIAL PHYTASE ON GASTRIC PH, AND P AND DM ILEAL AND FECAKL DIGESTIBILITIES. J. ANIM. SCI., VOL. 80 (SUPPL. 1): 38. REF. 150.
- SHELTON, J.L.; LEMIEUX, F.M.; SOUTHERN, L.L. Y BIDNER, T.D. 2004. EFFECT OF PHYTASE AND/OR REMOVING THE TRACE MINERALS FROM YHE DIET ON GROWTH PERFORMANCE AND BONE MINERAL CONTENT IN NURSERY PIGS. J. ANIM. SCI., VOL. 82 (SUPPL. 2): 74. REF. 185.
- SIMONS, P. C. M.; VERSTEEGH, H. A. J.; JONGBLOED, A. W.; KEMME, P. A.; SLUMP, P.; BOS, K. D.; WOLTERS, M. G. E.; BEUDEKER, R. F. Y VERSCHOOR, G. J. 1990. IMPROVEMENT OF PHOSPHORUS AVAILABILITY BY MICROBIAL PHYTASE IN BROILERS AND PIGS. JOURNAL OF NUTRITION, 64: 525-540.
- STAHL, C. H.; HAN, Y.M.; RONEKER, K.R.; HOUSE, W.A. Y LEI, X.G. 1998. SUPPLEMENTAL DIETARY PHYTASE IMPROVES IRON BIOAVAILANILITY TO WEANLING PIGS. J. ANIM. SCI., 76 (SUPPL. 1): 178.
- STAHL, C.H.; RONEKER, K.R.; POND, W.G. Y LEI, X.G. 2004. EFFECTS OF COMBINING THREE FUNGAL PHYTASES WITH A BACTERIAL PHYTASE ON PLASMA PHOSPHORUS STATUS OF WEANLING PIGS FED A CORN-SOY DIET. J. ANIM SCI., 82: 1725-1731.
- SZKUDELSKI, T. 1997. PHYTIC ACID ITS INFLUENCE ON ORGANISM. J. ANIM. FEED SCI., 6: 427-438.
- THACKER, P.A.; ROSSNAGEL, B.G. Y RABOY, V. 2003. PHOSPHORUS DIGESTIBILITY IN LOW-PHYTATE BARLEY FED TO FINISHING PIGS. CAN. J. ANIM. SCI., 83: 101-104.
- THACKER, P.A.; ROSSNAGEL, B.G. Y RABOY, V. 2004. EFFECT OF PHYTASE SUPPLEMENTATION ON PHOSPHORUS DIGESTIBILITY IN LOW-PHYTATE BARLEY FED TO FINISHING PIGS. ARCHIVES ON ANIMAL NUTRITION, 58 (1): 61-68.
- 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. J. ANIM. SCI., 79: 2634-2642.
- VALAJA, J., PLAAMI, S. Y SILJANDER-RASI, H. 1998. EFFECT OF MICROBIAL PHYTASE ON DIGESTIBILITY AND UTILISATION OF PHOSPHORUS AND PROTEIN IN PIGS FED WET BARLEY PROTEIN WITH FIBRE. ANIM. FEED SCI. TECHNOL., 72: 221-233.
- VIVEROS, A.; CENTENO, C.; BRENES, A.; CANALES, R. Y LOZANO, A. 2000. PHYTASE AND ACID PHOSPHATASE ACTIVITIES IN PLANT FEEDSTUFFS. J. AGRIC. FOOD CHEM., 48(9): 4009-4013.
- WODZINSKI, R.J. Y ULLAH, A.H.J. 1996. PHYTASE. ADV. APPL. MICROBIOL., 42: 263-302.
- WYSS, M.R.; BRUGGER, R.; KRONENBERG, A.; REMY, R.; FIMBEL, R.; OESTERHELT, G.; LEHMAN, M. Y VA LOON, A.P.G. 1999. BIOCHEMICAL CHARACTERIZATION OF FUNGAL PHYTASES (MYO-INOSITOL HEXAKISPHOSPHATE PHOSPHOHYDROLASES): CATALYTIC PROPERTIES. APPL. ENVIRON. MICROBIO. 65:367-373.
- YI, Z. Y KORNEGAY, E.T. 1996. SITES OF PITASE ACTIVITY IN THE GASTROINTESTINAL TRACT OF YOUNG PIGS. ANIM. FEED. SCI. TECHNOL., 61: 361-368. ❖