

Digestibilidad aparente de nutrientes en cerdos alimentados con dietas compuestas por diferentes niveles de fitasas obtenidas de *Aspergillus oryzae*. Contaminación ambiental de los residuos orgánicos derivados

*Apparent digestibility of nutrients in pigs fed diets composed of different levels of phytase derived from *Aspergillus oryzae*. Environmental pollution arising from organic waste*

Pattacini¹, S.H., Scoles¹, G.E., y Braun², R.O.
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Facultad de Agronomía
Universidad Nacional de La Pampa. Argentina

Resumen

El ácido fítico presente en los alimentos elaborados con proteínas vegetales se presenta como un factor antinutricional para los animales monogástricos al formar complejos con proteínas y una variedad de iones metálicos causando una disminución en la disponibilidad de estos nutrientes. El objetivo de la presente experiencia fue determinar si el agregado de monofosfato dicálcico (Ca_2PO_4) y fitasa de origen fúngico (*Aspergillus oryzae*) en dietas destinadas a la alimentación de cerdos en terminación reducen la excreción de P y Ca inorgánico a través de las heces luego de ser digeridas, generando así efluentes menos contaminantes al ambiente. Sobre tres tratamientos compuestos por dietas con diferentes niveles de fitasa y monofosfato dicálcico y un testigo sin estos compuestos, se midieron en cerdos experimentales la digestibilidad aparente y se calcularon los coeficientes de digestibilidad aparente de la proteína bruta, energía bruta, fibra bruta, materia grasa, cenizas brutas, calcio y fósforo. De acuerdo a los resultados de la experiencia, los aditivos fitasas pueden ser utilizados como alternativa junto a fuentes solubles de Ca y P a las dietas porque mejoran la digestibilidad aparente de la materia seca, Ca, P y cenizas brutas totales. La mayor digestibilidad de estos minerales y de los minerales totales, provocan menor contaminación en los residuos sólidos orgánicos proporcionando mejoras para el uso de los mismos como abonos. Asimismo las lagunas aeróbicas de efluentes mantendrán una mejor relación DQO:DBO₅ por tratarse de residuos con muy bajo contenido en fibra bruta y poca proporción de materia orgánica resultado de la elevada digestibilidad aparente de la materia seca.

Palabras clave: ácido fítico, fitasas fúngicas, alimentación cerdos, residuos.

Recibido: agosto de 2011

Aceptado: abril de 2012

1. Docentes investigadores de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UNLPam. Ruta 35 Km 334 (6300) Santa Rosa - La Pampa, Argentina. Maestrandos en Enseñanza de las Ciencias Naturales (UNCo).

2. Docente investigador de la Facultad de Agronomía de la UNLPam. Ruta 35 Km 334 (6300) Santa Rosa - La Pampa, Argentina. MSc en Docencia Universitaria (UB); MSc en Salud y Producción Porcina (UNRC); Dr., en Ciencias Agropecuarias (UNC). braun@agro.unlpam.edu.ar

Summary

The phytic acid present in foods made with vegetable protein is considered as an antinutritional factor for monogastric animals because form complexes with proteins and a variety of metal ions causing a decrease in the availability of these nutrients. The objective of this experiment was to determine whether the addition of dicalcium monophosphate (Ca_2PO_4) and fungal phytase (*Aspergillus oryzae*) in diets used in feeding finishing pigs reducing the excretion of inorganic P and Ca in the feces after to be digested, thus generating less pollution effluent. About three treatments consisting of diet with different levels of phytase and dicalcium monophosphate and a control without these compounds were measured in experimental pigs the apparent digestibility and were calculated apparent digestibility coefficients of crude protein, crude energy, crude fiber, fat matter, crude ash, calcium and phosphorus. According to the results of the experiment, phytase additives can be used alternatively with soluble sources of Ca and P diets because they improve the apparent digestibility of dry matter, Ca, P and total crude ash. The highest digestibility of these minerals and mineral totals cause less pollution in the organic solid waste to provide improvements for their use as fertilizers. Aerobic lagoons effluent, also keep a better OQD: O5BD waste because is very low crude fiber content and low organic content result of the high apparent digestibility of dry matter.

Key words: phytic acid, fungal phytases, feeding pigs, waste.

Introducción

Un importante factor en la industria de alimentos para animales lo constituyen las fuentes proteicas vegetales que contienen ácido fítico y sus sales, por ser la principal forma de almacenamiento de fósforo (P) en cereales y leguminosas. En los animales monogástricos la presencia de enzimas fitasas degradantes de las formas en que se presenta el ácido fítico es nula o mínima en sus tractos gastrointestinales, lo que provoca que la baja biodisponibilidad del P presente en ingredientes de origen vegetal sea un problema a nivel de este tipo de alimentación (Cromwell y Coffey, 1991; Tomshy et al., 2000). El ácido fítico presente en los alimentos elaborados con proteínas vegetales se exhibe como un factor antinutricional para los animales monogástricos al formar complejos con proteínas y una variedad de iones metálicos causando una disminución en la disponibilidad de estos nutrientes (Reddy et al., 1982; Wodzinski y Ullah, 1996). Debido a estos problemas hay mucho interés en la degradación enzimática de las formas en que se presenta el ácido fítico en los alimentos de origen vegetal (Wyss et al., 1999). Por ello, el uso y la aplicación de la enzima fitasa se ha generalizado en la

industria elaboradora de alimentos de aves y cerdos como una estrategia para mejorar la biodisponibilidad de fosfato.

El peligro de contaminación ambiental es importante en el mundo y también en América Latina que produce el 47% de los porcinos en el continente, el resto lo hace USA y Canadá. La inclusión de menores cantidades de fósforo en las dietas es una de las maneras de reducir la excreción de fósforo en heces. Este fósforo excretado es el que contribuye a la mayor contaminación ambiental especialmente del suelo. Con la adición de fitasas microbianas y/o fúngicas a las dietas para mejorar el aprovechamiento del fósforo se puede reducir el desperdicio de fosfato y evitar estos sobrantes nocivos para la salud.

Las fitasas microbianas se pueden obtener a partir de numerosas bacterias como *Aerobacter aerogenes*, *Bacillus subtilis*, *Klebsiella aerogenes* y *Pseudomonas spp.* También en levaduras y hongos, siendo la fuente fúngica más importante la del género *Aspergillus*. No se han detectado sinergias en la utilización de fitasas de origen fúngico y bacterianas sobre el nivel plasmático de fósforo (Stahl et al., 2004). La fitasa microbiana tiene un rango óptimo de pH de actuación entre 2,5

y 5,7 y una temperatura recomendable de 60°C (Simons et al., 1992). Si bien actualmente se cuenta con fitasas microbianas más resistentes térmicamente en el año 2000 se obtuvo a partir de *Aspergillus oryzae* modificado genéticamente, una fitasa capaz de resistir temperaturas de 90°C durante 30 segundos (Ferreira, 2003). La fitasa obtenida del hongo *Aspergillus oryzae* con cubierta termoestable (CT) es una fitasa que aumenta tanto la disponibilidad del fósforo fítico y otros nutrientes ligados a los fitatos en los alimentos de porcinos y aves, como también minerales como calcio, magnesio y minerales traza siendo muy estable al calor. Las mejoras en la persistencia al calor se atribuyen a la mayor estabilidad intrínseca de la molécula de fitasa en combinación con la nueva generación de la tecnología de formulación con CT. Esta incomparable composición de tecnologías permite la protección de la proteína fitasa a las temperaturas de procesamiento del alimento hasta 95°C (Ferreira, 2003).

La mejor manera de evaluar la eficiencia de una fitasa es por medio de pruebas que tengan en cuenta la liberación de P inorgánico *in vivo* y parámetros productivos. Con base en estos criterios se puede definir y cuantificar las unidades de fitasas necesarias para cada formulación de alimentos para los distintos estados fisiológicos de las diferentes especies de importancia económica-zootécnica (Fuller, 1989). Debido a la gran variación intrínseca entre las fitasas, no existe una metodología estándar internacional para expresar las cantidades de fitasas (Selle y Ravindran, 2006). La actividad mínima se puede determinar mediante unidades FYT /Kg, que es la cantidad de enzima que cataliza la liberación de 1 µMol de P inorgánico por minuto, a partir de 5 mM de fitato de sodio a pH 5.5 tamponado a 37°C.

Con la adición de 500 UF (unidades de fitasa)/kg de alimento se consigue una reducción del 33% en la excreción del fósforo, existiendo una respuesta al incremento de las dosis de fitasas pero sólo hasta 1000 UF/kg, a partir de esa concentración no hay una

mayor digestibilidad de fósforo. La dosis recomendada por la mayoría de los autores es de 500 UF/kg de alimento, lo que equivale a 1 g de fósforo digestible/kg de alimento. La mayoría de los productos comerciales se encuentran en forma de polvo, gránulo o forma líquida (Vanbelle, et al., 1990).

Se han evaluado pollos y cerdos *in vivo* para determinar la eficacia relativa de la fitasa de origen vegetal y microbiana encontrándose que la fitasa de los cereales es 40% menos efectiva que la fitasa microbiana (Frapin y Nys, 1995).

Este potencial más elevado de la fitasa microbiana para liberar fósforo disponible para pollo de engorde también fue confirmado por Oloofs et al. (1998). Recientes estudios de estos autores han demostrado que al agregar la enzima fitasa a las dietas de aves y cerdos se puede aumentar la cantidad de fósforo disponible al animal, lo cual debe permitir a los productores poder reducir de 0,1 a 0,12 % la cantidad de fósforo inorgánico dietario. De esta manera se reduce la cantidad de fósforo en el estiércol y por consiguiente la contaminación ambiental.

El objetivo de la presente experiencia fue determinar si el agregado de monofosfato dicálcico (Ca_2PO_4) y fitasa de origen fúngico (*Aspergillus oryzae*), en dietas destinadas a la alimentación de cerdos en terminación, reducen la excreción de P y Ca inorgánico a través de las heces luego de ser digeridas, generando así efluentes menos contaminantes al ambiente.

Materiales y Métodos

La experimentación se llevó a cabo en una granja porcina del centro este de la provincia de La Pampa, Argentina (Latitud 36° 46' Sur; Longitud 64° 16' Oeste; Altitud 210 m sobre el nivel del mar).

Los cerdos experimentales estuvieron constituidos por machos castrados F2 provenientes de un cruzamiento de hembras híbridas F1 (Yorkshire x Landrace) por macho terminal Duroc Yersey de valor genético

comprobado. Se seleccionaron de camadas de igual edad cronológica cuya obtención fue programada por servicios mediante inseminación artificial en cerdas híbridas primerizas pertenecientes a un rodeo de manejo reproductivo estacionado. Cumplieron con una lactancia de 32 días en confinamiento. Se les suministró alimentación adicional en lactancia mediante iniciadores comerciales de alta calidad. Posteriormente fueron recriados en pistas de cemento con 75% de la superficie techada, provistas de comederos tolva y patio con bebedero tipo niple. Cuando los cerdos arribaron a 30 kg de peso vivo luego de un período de socialización de 30 días con sus compañeros de tratamiento comenzaron a consumir las raciones de crecimiento hasta alcanzar 60 kg de peso vivo. De allí a 105 kg de peso vivo se les suministró dietas de terminación.

Finalizado este período se ordenaron en cuatro grupos de cinco cerdos cada uno de peso vivo y edad cronológica afín que se dispusieron en pistas de recría-terminación de piso de cemento y 75% de la superficie techada, también provistas de comederos tolva y patio con bebederos tipo niple, lugar donde culminaron el crecimiento y la terminación con una superficie de alojamiento por cerdo de 1,968 m², hasta el momento de iniciarse el experimento. Las unidades experimentales fueron 20 cerdos que se ordenaron en un diseño completamente aleatorizado. A cada cerdo se le asignó al azar un tratamiento y fueron señalados en las orejas por el sistema australiano de identificación, constituyendo así cuatro tratamientos (dietas) totalizando cinco unidades experimentales (repeticiones) por tratamiento alojadas individualmente. El experimento se realizó durante las dos últimas semanas (14 días), donde los cerdos se ubicaron en jaulas individuales a los efectos de llevar adelante el ensayo de digestibilidad *in vivo*. Se adaptaron al sitio durante 8 días y el resto de los 6 días siguientes se utilizaron para recoger las heces y realizar los análisis posteriores. Durante los días de ensayo se le suministró a cada cerdo experimental 3,5 kg de ración diaria y cada 24 hs previo a la nueva

reposición de alimento se pesaba el sobrenadante existente en los comederos en caso de encontrarse alimento residual. Las heces se recogían también cada 24 hs, y luego de pesadas se realizaba el lavado completo del piso de las jaulas. Luego de pesadas, se tomaba una muestra de las heces y se las acondicionaba en bolsas plásticas identificadas por animal y por día. Posteriormente se congelaban hasta el momento del análisis. Se recogieron también muestras representativas de los alimentos suministrados a los animales para la evaluación de la composición química y bromatológica de las dietas.

Los tratamientos y el testigo estuvieron caracterizados por: Tratamiento 1= dieta testigo (D1) balanceada peleteada, con harina de carne y ceniza de hueso como fuentes de fósforo y calcio en la formulación. Tratamiento 2= dieta (D2) balanceada peleteada, con 0,15 g de fitasas y 4 g de monofosfato dicálcico (Ca₂PO₄) por kg de alimento formulado. Tratamiento 3= dieta (D3) balanceada peleteada, con 0,10 g de fitasas y 5 g de monofosfato dicálcico (Ca₂PO₄) por kg de alimento formulado. Tratamiento 4= dieta (D4) balanceada peleteada, con 0,05 g de fitasas y 6 g de monofosfato dicálcico (Ca₂PO₄) por kg de alimento. Los T2, 3 y 4 se formularon sin agregado de harina de carne y ceniza de hueso. Las dietas fueron formuladas a partir de las necesidades nutritivas de los cerdos en las categorías en cuestión. Se utilizaron las tablas del NRC (2001). Los constituyentes de las dietas experimentales fueron maíz, sorgo, harina de carne, fitasas fúngicas, monofosfato dicálcico (Ca₂PO₄), expeller de soja, afrechillo, sal común, bentonita, lisina sintética, metionina sintética, aceite vegetal, ceniza de hueso, núcleos vitamínico-minerales, conchilla y antiparasitarios. En el Cuadro 1 se detalla la composición nutricional de las dietas experimentales.

Se alimentaron *ad-libitum* y la forma de presentación de las dietas durante toda la experiencia fue peleteada. Los pellet fueron de 3 mm de diámetro y 10 mm de longitud. La digestibilidad del fósforo en función de la concentración de fitasas sigue ecuaciones no

lineales que son exponenciales y logarítmicas, pero de las cuales se puede deducir un incremento lineal del 0,016% en la digestibilidad por unidad de fitasa (Kornegay, 1999). Debido a la gran variación intrínseca entre las fitasas, no existe una metodología estándar internacional para expresar las cantidades de fitasas (Selle y Ravindran, 2009). En la experiencia el blanco sobre la actividad mínima se determinó mediante unidades FYT/kg, que es la cantidad calculada diariamente de la siguiente manera:

$\% \text{ Digestibilidad} = \frac{[\text{MS ingerida (kg)} - \text{MS excretada (kg)}]}{\text{MS ingerida (kg)}} \times 100$. Al final de los seis días se realizó el promedio de las observaciones y el respectivo desvío estándar de cada tratamiento. También se calcularon los coeficientes de digestibilidad aparente de la proteína bruta, energía bruta, fibra bruta, materia grasa, cenizas brutas, calcio y fósforo a través de la fórmula descrita por Pond et al. (1995), donde la DA de cada nutriente se calculó como $\% \text{ Digestibilidad} =$

Cuadro 1: Composición nutricional de las dietas experimentales por kg.

Table 1: Nutritional composition of experimental diets per kg.

Composición	D1	D2, D3, D4
Energía bruta (kcal/kg)	4390,08	4374,5
Ca (%)	0,863	0,884
P Total (%)	0,520	0,523
Proteína bruta (%)	15,01	15,44
Fibra bruta (%)	3,113	3,44
Materia grasa bruta (%)	3,00	2,98
Cenizas brutas (%)	7,080	7,078
Materia seca (%)	90,56	90,17

de enzima que cataliza la liberación de 1 μMol de P inorgánico por minuto, a partir de 5 mM de fitato de sodio a pH 5.5 tamponado a 37°C. En la presente investigación la fuente de obtención de la fitasa utilizada en las dietas porcinas fue extracto seco de fermentación de *Aspergillus oryzae*. Es una 6-Fitasa que comienza la defosforilación del ácido fítico (myo-inositol) en la posición del carbono 6 para producir ortofosfato inorgánico y una serie de ésteres fosfóricos menores, por tales condiciones las proporciones agregadas de fitasa más monofosfato dicálcico en los tratamientos 2,3 y 4 equiparan el aporte de Ca y P que otorga la ceniza de hueso y la harina de carne en la dieta testigo (T1). A continuación se detallan las variables medidas en la experiencia. La digestibilidad aparente (DA) de las dietas fue

$[\text{nutriente consumido (g)} - \text{nutriente en heces (g)}] / \text{nutriente consumido (g)} \times 100$. El valor de Ca y P en heces se utilizó para el cálculo de eficiencia de utilización de estos nutrientes en el alimento y el grado de contaminación que producen al ambiente sus residuos. Los análisis de los nutrientes se realizaron a través de las siguientes metodologías (FEDNA, 2010): calcio R.D. 2257/1994 n°10; fósforo R.D. 2257/1994 n°17; proteína bruta: RD 2257/1994 n°6; fibra bruta: RD 2257/1994 n°7; materia grasa: RD 609/1999 n°4; cenizas brutas: RD 2257/1995 n°12 y energía bruta por bomba calorimétrica (AOAC, 1995). Los análisis de los datos se realizaron por ANOVA y las diferencias de medias por el Test de Tukey HSD.

Resultados y discusión

En el Cuadro 2 se detallan los coeficientes de digestibilidad aparente de la materia seca (DAMS), de la proteína bruta (DAPB), energía bruta (DAEB), fibra bruta (DAFB) y de la materia grasa bruta (DAMG) de las dietas suministradas a los grupos experimentales.

Se aprecian las diferencias significativas de DAMS entre el T2 y T3 con el Testigo y el T4. No se observan diferencias con T1 y T4 por tal, valores inferiores a 0,05 g de fitasas y 6 g de monofosfato dicálcico por kg de alimento no mejora la digestibilidad de la MS de la dieta, posiblemente porque tampoco incrementa la digestibilidad aparente de las cenizas, P y Ca (Cuadro 3), aumentando el total de la MS excretada en heces en concordancia a lo citado por Selle y Ravindran, (2009). La DA de la EB fue superior significativamente en T2 respecto de los otros tratamientos, probablemente por la mejor DA de los nutrientes en calculada diariamente de la siguiente manera: % Digestibilidad= $[(MS \text{ ingerida (kg)} - MS \text{ excretada (kg)}) / MS \text{ ingerida (kg)}] \times 100$. Al final de los seis días se realizó el promedio de las observaciones y el respectivo desvío estándar de cada tratamiento. También se calcularon los coeficientes de digestibilidad aparente de la proteína bruta, energía bruta,

fibra bruta, materia grasa, cenizas brutas, calcio y fósforo a través de la fórmula descrita por Pond et al. (1995), donde la DA de cada nutriente se calculó como % Digestibilidad = este tratamiento que posee mayor proporción de fitasa en la dieta, que implica incorporar menor cantidad de minerales solubles a la formulación en reciprocidad a los estudios de Fuller, (1989). La mayor DAPB en T3 y T4 ($p < 0,05$) respecto de los tratamientos T1 y T2 puede deberse a una menor excreción de nitrógeno fecal justamente por la no presencia de proteínas de origen animal en la dieta de menor valor biológico o bien que, proporciones mayores de P disponible en el metabolismo mejoren la utilización metabólica de la proteína dietaria. Del mismo modo la presencia de fitasas en las dietas incrementa significativamente la utilización energética en el metabolismo celular, respecto de T1. Factiblemente la presencia de mayor proporción P inorgánico disponible mejora la utilización de los nutrientes a nivel celular porque beneficia el transporte energético a través de moléculas de ATP para la síntesis de tejido de crecimiento, y también la relación Ca:P que en los monogástricos es trascendente para mantener el ritmo cardíaco y en consecuencia optimizar los procesos metabólicos y fisiológicos. No

Cuadro 2: Medias de los coeficientes de digestibilidad aparente (%) de la materia seca (DAMS), proteína bruta (DAPB), energía bruta (DAEB), fibra bruta (DAFB) y materia grasa (DAMG) de los grupos experimentales ± 1 error estándar.

Table 2: Means of the apparent digestibility coefficients (%) of dry matter (DAMS), crude protein (DAPB), gross energy (DAEB), crude fiber (DAFB) and fat (DAMG) of experimental group ± 1 standard error.

Tratamientos	DAMS	DAPB	DAEB	DAFB	DAMG
T1	72,12 a (1,92)	67,24 a (0,86)	77,22 a (1,76)	45,06 a (0,46)	52,64 a (0,65)
T2	78,23 bc (2,03)	67,12 a (0,92)	78,25 b (1,83)	44,68 a (0,51)	53,10 a (0,71)
T3	76,15 b (1,97)	68,09 b (0,89)	79,01 b (1,78)	45,17 a (0,44)	53,27 a (0,68)
T4	74,12 a (1,83)	67,95 ab (1,01)	79,19 b (2,03)	44,73 a (0,49)	52,92 a (0,72)

Números con igual letra en la columna no difieren estadísticamente. Test de Tukey HSD ($p \leq 0,05$)

Cuadro 3: Medias de los coeficientes de digestibilidad aparente (%) de Ca (DACa), P (DAP) y cenizas brutas totales (DACB) de los grupos experimentales \pm 1 error estándar.

Table 3: Means of the apparent digestibility coefficients (%) of Ca (ADCa), P (ADP) and total gross ashes (ADCA) experimental group \pm 1 standard error.

Tratamientos	DACa	DAP	DACB
T1	55,12 a (1,27)	52,19 a (1,12)	55,83 a (0,96)
T2	67,13 c (0,98)	70,02 d (1,17)	68,34 c (1,01)
T3	60,10 b (0,86)	67,29 cd (0,97)	61,23 b (1,13)
T4	57,14 ab (1,05)	60,35 b (0,87)	59,11 b (0,99)

Números con igual letra en la columna no difieren estadísticamente. Test de Tukey HSD ($p \leq 0,05$)

obstante la mayor biodisponibilidad de P en el metabolismo animal podría actuar como mecanismo sinérgico junto a otras enzimas e incluso con microorganismos digestivos que potencien sustancialmente la utilización de los nutrientes. Aunque la DAFB no presenta diferencias significativas entre los tratamientos, solamente alrededor del 50% de la fibra ingerida fue utilizada como fuente energética, situación que coincide con la bibliografía sobre digestibilidad de la FB en monogástricos y además el aporte dietario de este nutriente es mínimo. No existieron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos en la DAMG, proporción también pequeña en la formulación dietaria.

En el Cuadro 3 se detallan los coeficientes de digestibilidad aparente de calcio (DACa), fósforo (DAP) y cenizas brutas totales (DACB) de las dietas suministradas a los grupos experimentales.

Las excretas con elevadas proporciones de minerales y residuos orgánicos con contenidos de pared celular indigestibles tales como celulosa y lignina son vistas como contaminantes ambientales de importancia por los residuos inorgánicos y la mayor DQO (demanda química de oxígeno) para oxidar polímeros de alto peso molecular. Sin embargo, pueden generar recursos muy valiosos mediante su procesamiento de forma tal que al reciclarse parte de la energía en producción de biogás y

de sus nutrientes como compost contribuyen a hacer sostenible la producción porcina y de otras especies animales integradas, aspecto que tiene alta correlación con la DA de los nutrientes (Cuadro 2 y 3). Del mismo modo la producción diaria de excretas y purines varía en función del tipo y peso vivo de cada especie animal, del alimento que consume comparativamente a los estudios de Wyss et al., (1999), temperatura y humedad en que vive y además, de la cantidad de agua de lavado que se utilice en caso de producciones confinadas. En la experiencia los tratamientos con fitasas mejoraron la DA de la MS y minerales totales respecto al Testigo T1 tal como lo expresan Oloofs et al. (1998); situación que proporciona residuos menos contaminantes, alimentos más eficientes y tratamientos de efluentes menos costosos. En la construcción de lagunas para los tratamientos de los residuos es fundamental saber la carga de materia orgánica del efluente, porque las lagunas aeróbicas estrictas sólo soportan cargas orgánicas bajas y contienen oxígeno disuelto en todo instante y en todo el volumen del líquido. Las anaeróbicas se proyectan para altas cargas orgánicas y no contienen oxígeno disuelto, aspecto que eliminaría esta posibilidad en los procesos productivos porcinos que suministren raciones dietarias ausentes de harina de carne y ceniza de hueso como

ocurre en T1, T2 y T3 en correspondencia a la alta DA de la MS y los nutrientes, reduciéndolo así, a manejos de lagunas facultativas que operan con una carga orgánica media ya que en las capas superiores hay un proceso aeróbico y en las inferiores se tiene un proceso anaeróbico, donde se produce simultáneamente fermentación ácida y metánica. Las dietas con fitasas pueden prescindir de lagunas anaeróbicas estrictas pero no de facultativas ya que necesariamente requieren la digestión anaeróbica por un lado debido a que el 20% de las deyecciones sólidas no son biodegradables o se degradan lentamente, tal el caso de cenizas, ligninas y celulosa; y de aeróbica por contenidos medios de materia orgánica en suspensión. Este aspecto imprescindible (digestión anaeróbica-aeróbica) se aprecia para todos los tratamientos por la igualdad de residuos de FB ($\pm 45\%$) y además por la proporción significativamente superior de CB en el T1 debido a menor digestibilidad aparente de las mismas (Cuadro 3). En el caso de los tratamientos 2 y 3 la significativa reducción de P y Ca en los residuos de purines mejorarían la calidad ambiental. Del mismo modo en ambos tratamientos la significativa mayor DA de la MS ($\pm 77\%$) generaría almacenamiento de purines con menor contenido de materia orgánica y por tal reducción de la DBO₅ (demanda biológica de oxígeno para sustratos nitrogenáceos y carbonáceos), medida que aportaría la proporción en que desaparece el oxígeno de una muestra de agua y que es utilizada como un indicador de la calidad del agua de efluentes residuales; y de la DQO durante la digestión aeróbica por la poca presencia de materia orgánica con y sin pared celular en suspensión, cuantía que mide la cantidad de materia orgánica susceptible de ser oxidada por medios químicos que hay en una muestra líquida, de modo que también es un indicador de la demanda de oxígeno para estas reacciones y por tal de la calidad de los efluentes residuales.

Conclusiones

Los aditivos fitasas pueden ser utilizados como alternativa junto a fuentes solubles de Ca y P a las dietas porque mejoran la DA de la MS, Ca, P y Cenizas brutas totales. La mayor digestibilidad de estos minerales y de los minerales totales, provocan menor contaminación en los residuos sólidos orgánicos proporcionando mejoras para el uso de los mismos como abonos. Asimismo las lagunas aeróbicas de efluentes mantendrán una mejor relación DQO:DBO₅ por tratarse de residuos con muy bajo contenido en fibra bruta, resultando en un menor consumo de oxígeno para oxidar químicamente compuestos de pared celular, y una demanda biológica pequeña por parte de las bacterias al contar con efluentes con baja proporción de materia orgánica resultado de la elevada DA de la MS en los tratamientos en el que se les incorporó fitasas a las dietas porcinas. Más estudios son necesarios realizar sobre el suministro de fitasas y minerales solubles en dietas porcinas para determinar otros potenciales de estas enzimas sobre el aprovechamiento de los nutrientes de la dieta, destacando dosificaciones específicas y la estabilidad de los productos en el tracto digestivo.

Bibliografía

- AOAC, 1995. Association of Official Analytical Chemistry. Official methods of analysis. 16th ed. AOAC International. Arlington. 1025 pp.
- Cromwell, G.L. and Coffey, R.D. 1991. Phosphorus-a key essential nutrient, yet a possible major pollutant-its central role in animal nutrition. *In*: T. P. Lyons (ed.). Biotechnology in the Feed Industry. Alltech Technical Publications. Nicholasville, KY, pp. 133-145.
- Ferreira, C.L.L.F. 2003. Influência de probióticos e prebióticos na absorção de minerais. Probióticos e prebióticos. Atualizações e prospecção. UFV. Vicosas: 79 – 101.
- Frapin, D. and Nys, Y. 1995. Relative efficiency of microbial and vegetal phytases and additional

- effect on phosphorus availability. Proceed. 10th European Symposium on Poultry Nutrition, Antalya, Turkey, 15-19 October, 352-354.
- Fuller, R. 1989. Probiotic in man and animals. A review. *J. Appl. Bacteriol.*, 66: 365-378.
- Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal (FEDNA), 2010. Actualización. 1308 pp.
- Kornegay. 1999. Phytase effects on ileal amino acid digestibility and nitrogen balance in finishing pigs fed a low-protein plant-based diet. *J. Anim. Sci.* 77(1) : 175.
- National Research Council (NRC) 2001. Nutrient Requirement of swine. Ed., National Academy of Sciences. Washington, D.C., USA. *In: Acrobat Reader.* 68 pp.
- Oloofs, K., Dolbusin, A. and Jeroch, H. 1998. Einfluss von mikrobieller und nativer weizen phytase auf die phosphor-verwertung bei broilern. *Archiv für geflügelkunde*, 62:260 – 263.
- Pond, W.G., Church, D.C. and Pond, K.R. 1995. Basic animal nutrition and feeding. 4^a ed. John Wiley and Sons. New York. 615 pp.
- Reddy, N.R., Sathe, S.K. and Salunkhe, D.K. 1982. Phytates in legumes and cereals. *Adv. Food Res* 28: 1 - 92.
- Selle, P.H. and Ravindran, V. 2009. Previous exposure to dietary phytase reduces the endogenous energy losses from precision-fed chickens. *British Poultry Science.* 5: 598 – 605.
- Simons, P., Jongbloed, W., Versteegh, H. and Kemme, P. 1992. Improvement of phosphorus available by microbial phytase in poultry and pigs. Pages 100 -109 in: *Proceeding Georgia Nutrition Conference*, Atlanta, GA.
- Stahl, C.H., Roncker, K.R., Pond, W.G. and 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.
- Tomschy, A., Tessier, M., Wyss, M., Brugger, R., Broger, C., Schnoebelen, L., Van Loon A.P. G.M. and Pasamontes, L. 2000. Optimization of the catalytic properties of *Aspergillus fumigatus* phytase based on the three-dimensional structure. *Protein Sci* 9: 1304 - 1311.
- Vanbelle, M., Teller, E. and Focand, M. 1990. Probiotics in animal nutrition: a review. *Arch. Anim. Nutr.*; 40: 543-567.
- Wyss, M., Pasamontes, L., Friedlein, A., Rémy, R., Tessier, M. and Kronenberger, A. 1999. Biophysical characterization of fungal phytases (myo-inositol hexakis phosphate phosphohydrolases): molecular sizes, glycosylation patterns, and engineering of proteolytic resistance. *Appl Environ Microbiol* 65: 359-366.
- Wodzinski, R.J. and Ullah, A.H.J. 1996. Phytase. *Adv Appl Microbiol* 42: 263 -302.