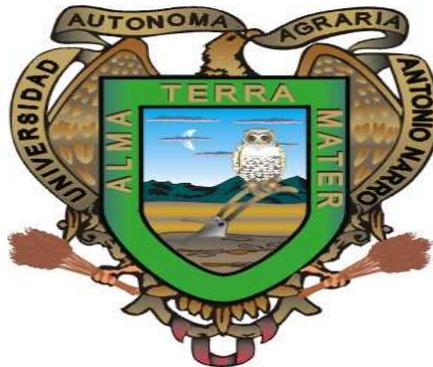


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”**

**DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL**

**DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN ANIMAL**



**“La Fitasa En La Nutrición De Cerdos”**

**Por:**

**JOSÉ GUADALUPE LÓPEZ CALDERÓN**

**MONOGRAFÍA**

Presentada Como Requisito Parcial Para Obtener El Título De:

**INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA**

**Buenvista, saltillo, Coahuila, México, Octubre del 2008**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”**

**DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL**

**“La Fitasa En La Nutrición De Cerdos”**

**Por:**

**JOSÉ GUADALUPE LÓPEZ CALDERÓN**

**MONOGRAFÍA**

**QUE SE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR COMO  
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE: INGENIERO  
AGRÓNOMO ZOOTECNISTA.**

Aprobado por

---

**M. C. MANUEL TORRES HERNÁNDEZ**  
Asesor principal

---

**QFB. CARMEN PÉREZ MARTINES**

ASESOR

---

**ING. RODOLFO PEÑA ORANDAY**

ASESOR

---

**ING. RODOLFO PEÑA ORANDAY**  
**COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL**

Buenavista, Saltillo, Coahuila México, Octubre del 2008

## **DEDICATORIA.**

### **A MIS PADRES:**

#### **JUAN Y OLGA:**

Los mejores seres que me ha dado dios y por los cuales pude salir adelante y a quienes en hoy les agradezco y les doy las gracias por todo el esfuerzo que realizaron, por darme la oportunidad de vivir, su apoyo incondicional por su digno ejemplo de honradez, de calidad humana y sencillez, a las dos personas de las cuales me siento muy orgulloso. Que sin esperar nada a cambio dan su vida por brindarles a sus hijos un futuro mejor.

### **A MIS HERMANOS.**

Alfredo López calderón, Juan Antonio Yolanda.

Por el apoyo y cariño que siempre he recibido de ustedes y por ser la fuerza para poder sobre salir y seguir adelante, y a quienes le deseó lo mejor de la vida.

A mi hermana que siempre estuvo a mi lado y por entenderme en las buenas y las malas por enseñarme a ver la vida de manera diferente, por estar en esos momentos tan especiales durante mi formación profesional.

### **A MI CUÑADO Y MI SOBRINA**

Por estar siempre pendiente de nuestra formación y por ayudar siempre a mi familia ya ti mejor amigo por tenderme la mano y darme el apoyo cuando lo necesito y por estar en las buenas y en las malas gracias cuñado.

## **A MIS ABUELOS**

**RODOLFO Y AMALIA**

**MELESIO Y HIPÓLITA**

Por haberme formado como un hombre de bien, por darme todo su amor y haberme permitido estar a su lado siempre, por cuidarme y protegerme, quienes con su sabiduría, me han transmitido sus consejos y ejemplos, los cuales me han llevado al camino de la superación. Por enseñarme siempre a salir adelante y alcanzar siempre las metas y objetivos propuestos, **MIL GRACIAS.**

## **A MIS TÍOS**

**Vigael Roberto Clodoveo esperanza estela magnolia berzave Walter manolo fortino Belisario julio (pato).**

Mil gracias por su comprensión y cariño, además a que me han enseñado a andar por el camino de la vida, y estar conmigo en los momentos difíciles de mi vida, motivándome a salir adelante.

## **A MIS PRIMOS.**

**Kevin Alex Steben jorge Margarito Osiris Javier Enrique**

Por su cariño y comprensión, además de la gran amistad sincera que existe entre nosotros y por todo el cariño que le tengo a cada uno en especial.

## **AGRADECIMIENTO.**

### **A DIOS Y LA VIRGEN DE GUADALUPE.**

Por darme la dicha de vivir y darme la oportunidad de poder realizar una de las metas mas deseadas e importantes que me propuesto durante el trayecto de mi vida, por que solo ellos saben de mis triunfos y de mis derrotas, y de mis alegrías y triunfos; quienes me han iluminado en los buenos momentos durante mi vida. Por ser una de las fuentes de vida y del conocimiento sobre todas las cosas.

### **A MI ALMA MATER.**

La universidad autónoma agraria Antonio narro por brindarme y darme la gran oportunidad de poder formarme dentro la carrera de ingeniero agrónomo zootecnista.

### **ALOS PROFESORES DEL DEPARTAMENTO PRODUCCIÓN ANIMAL.**

Por darme las herramientas y las bases necesarias para poder sobre salir y tener una formación de excelente nivel y para que tenga un buen desempeño profesional y ser una mejor persona cada día.

**Al M. C. Manuel Torres Hernández:** por su paciencia y apoyo incondicional durante la realización de este trabajo, sin el cual este trabajo no se podría haber realizado.

**Al ing. Rodolfo Peña Oranday Y QFB Carmen Pérez Martínez** por su disposición en el asesoramiento y revisión de esta monografía.

## **A LOS INGENIEROS.**

Enrique ezquivel Lorenzo Suárez, Jesús fuentes laura padilla Rodolfo peña, ing. Eduardo ramos Luís lauro, Dr. Raúl García,  
Con infinita gratitud, en virtud de que durante mi estancia universitaria me distinguieron con su sincera amistad.

## **AMIS COMPAÑEROS GENERACIÓN**

Freddy Luís Edgar David Fabio tonó Sebastián Alfredo Nadia Adrián Monclova porra temo.

Por acompañarme en todos los relajos y pedas y con quienes conviví gratos momentos durante mi estancia en mi **ALMA MATER.**

## **A MIS AMIGOS**

Los cuales siempre estuvieron ayudándome y brindándome su amistad y apoyo incondicional durante mi estancia dentro la universidad en especial a todos los de cuarto 12 Porfirio los cuales me brindaron todo su apoyo durante estancia de este trabajo. Basura, Marcos Víctor Luís dany Ali Eusebio Javier José Alfredo javi rene Toribio Sandino lobo.

## **EN ESPECIAL**

A juanis por haberme brindado su apoyo y su ayuda dentro y fuera de las aulas de clases para poder realizar satisfactoriamente todos mis estudios con éxito.

## **GRACIAS**

**Y POR TODOS AQUELLOS QUE OMITÍ.** Sin tener el deseo de hacerlo, gracias por todo el apoyo brindado durante mi estancia en la universidad.

## ÍNDICE

---

<b>Resumen</b>	
<b>Introducción.....</b>	<b>1</b>
<b>Objetivo.....</b>	<b>2</b>
<b>Revisión literatura.....</b>	<b>3</b>
<b>Importancia y efecto fitasa.....</b>	<b>3</b>
<b>Aspectos generales sobre fitasa.....</b>	<b>4</b>
<b>Que es la fitasa químicamente.....</b>	<b>5</b>
<b>Acción de fitasa.....</b>	<b>6</b>
<b>Disponibilidad y digestibilidad de fitasa.....</b>	<b>8</b>
<b>Calcio fósforo.....</b>	<b>8</b>
<b>Relación calcio fósforo.....</b>	<b>9</b>
<b>Fósforo.....</b>	<b>9</b>
<b>Calcio.....</b>	<b>11</b>
<b>Minerales traza.....</b>	<b>12</b>
<b>Proteínas y aminoácidos.....</b>	<b>12</b>
<b>Factores que influyen en la eficiencia de la fitasa .....</b>	<b>13</b>
<b>Características fisiológicas.....</b>	<b>13</b>
<b>Efecto biológico de la fitasa.....</b>	<b>15</b>
<b>Especie porcina .....</b>	<b>15</b>
<b>Especie avícola.....</b>	<b>16</b>
<b>Otras especies.....</b>	<b>17</b>
<b>Fitasa en la dieta de los cerdos.....</b>	<b>18</b>
<b>Adición de fitasa en la alimentación de cerdos.....</b>	<b>19</b>

<b>Proceso fisiológico digestivo de cerdo.....</b>	<b>19</b>
<b>Fitasa en lechones.....</b>	<b>20</b>
<b>Efecto de las fitasa sobre el metabolismo digestivo.....</b>	<b>21</b>
<b>Actividad fitasica en el intestino delgado del cerdo.....</b>	<b>23</b>
<b>Estado fisiológico de los cerdos.....</b>	<b>23</b>
<b>Factores que influyen en la actividad de las fitasas.....</b>	<b>25</b>
<b>Procesado del alimento.....</b>	<b>25</b>
<b>Granulación del alimento.....</b>	<b>25</b>
<b>Almacenamiento de la fitasa microbiana.....</b>	<b>25</b>
<b>Presencia de calcio en la dieta.....</b>	<b>26</b>
<b>Actividad fitasica intrínseca de las materia prima.....</b>	<b>26</b>
<b>Presencia de ácidos orgánicos.....</b>	<b>27</b>
<b>Tipo de alimentación.....</b>	<b>27</b>
<b>Diferencia en contenido de fósforo fitico de distintas materias primas.....</b>	<b>28</b>
<b>Actividad fitasica intrínseca de la materia prima.....</b>	<b>28</b>
<b>Beneficio de la utilización de la fitasa en la nutrición cerdos.....</b>	<b>29</b>
<b>Como seleccionar la mejor fitasa.....</b>	<b>30</b>
<b>Conclusiones.....</b>	<b>31</b>
<b>LITERATURA CITADA.....</b>	<b>32</b>

## **Índice de figuras.**

**Efecto metabólico del ácido fitico.....20**

**Efectos del ácido fitico en el tracto digestivo.....24**

## Índice de cuadros

Digestibilidad aparente de Ca y P de cerdos en distintos estados fisiológico, alimentados con una dieta sin o con 500 unidades de fitasa .....	8
Influencia de la relación Ca: P sobre la actividad de fitasica, coeficientes de digestibilidad de Ca y P y excreción de P.....	10
Digestibilidad del calcio con presencia o ausencia de fitasa.....	11
Digestibilidad del calcio con niveles crecientes de fitasa.....	12
Valores de digestibilidad aparente (ileon) de proteína y aminoácido (g / Kg.) equivalente a 500 unidades de fitasa / kg. Para cerdos.....	14
Localización del ácido fitico en diversos granos.....	27
Contenido de fosfatos de inositol en diversos ingredientes (G / kg.MS).....	27
Fósforo fitico y actividad fitasica en distintas materias primas.....	29

## Resumen

La producción porcina se ve muy afectada cada vez en mayor medida por la influencia de agentes externos al proceso productivo en sí. Ejemplo de ello es la necesidad de reducir los efectos contaminantes de los procesos productivos mediante la reducción de excreciones.

Aquí se discuten los efectos de la adición de fitasas como ejemplo de una forma de reducir la contaminación ambiental a través de la alimentación y sus implicaciones en la formulación de las dietas para animales en sus diferentes etapas de producción.

La orientación económica de la sociedad obliga a buscar métodos de explotación agrícola cada vez más rentables económicamente. En contraposición, esta búsqueda de la rentabilidad se lleva a cabo sin considerar el impacto que estos métodos de explotación tienen sobre el medio ambiente.

La fitasa divide hidrolíticamente al fósforo fitico que se encuentra presente en las semillas de las plantas, por lo que una  $2/3$  partes del total de fósforo presente se debe a esta reacción. Cuando se usa fitasa, se debe esperar que haya un mejoramiento en la utilización de estos elementos y también se conoce que hay formación de complejo con varias proteínas.

Una unidad de actividad fitasa (FTU, por sus siglas en inglés) se puede definir como la cantidad que libera un micromol de fósforo inorgánico por minuto de exceso de fitato de sodio a 37° C y un pH de 5.5.

La enzima fitasa actúa sobre el fitato transformándolo en una forma de fósforo disponible para el animal. Sin embargo, los cerdos carecen de dicha enzima, motivo por lo cual es necesario aplicar dicha enzima en la dieta ofrecida a los animales.

**Palabras claves.** Fitasa, cerdos, fósforo enzima fitato, medio ambiente.

## INTRODUCCION

La tendencia actual en la producción de cerdos es obtener un máximo incremento de peso en el menor tiempo posible. Tomando en cuenta la tendencia de este animal al engorde hasta crecimiento o bien dicho a la conversión de alimento en carne, el máximo crecimiento y aumento de peso en los cerdo ocurre en los primeros meses de vida. Por lo tanto es necesario aprovechar estas condiciones y utilizar productos estimulantes y aceleradores de crecimiento (Gibson y Ullah, 1990).

Al respecto, la efectividad de la fitasa microbiana para liberar P (fósforo) fítico en la alimentación para aves y cerdos esta bien documentada. Los valores de sustitución del P están establecidos para las diferentes fitasas disponibles en el mercado y para cada tipo de operación productiva (Gebert et al., 1998).

También se han demostrado algunos beneficios colaterales cuando se suplementa fitasa, ya que debido a la capacidad del fitato de secuestrar minerales, proteínas y almidón, puede considerarse como un factor antinutritivo. Al suplementar la fitasa se liberan uniones del fitato a estos nutrientes, mejorando por lo tanto, la disponibilidad de estos elementos para los animales en su crecimiento.

En cerdos, la investigación ha sido de gran importancia, ya que al igual que los pollos y pavos, los cerdos carecen de fitasa endógena. En esta especie la actividad de fitasa e hidrólisis de la molécula de fitato se concentra en el estómago, dadas las condiciones de pH y temperatura favorables. La actividad enzimática es muy poca en el duodeno y es imperceptible en el yeyuno e íleon como consecuencia de un pH neutro y la proteólisis que ocurre en estos segmentos intestinales (Jongbloed et al., 1992).

Con estos antecedentes, se planteó el presente trabajo de investigación bibliográfica, cuyo propósito fue alcanzar el siguiente:

### **Objetivo**

Revisar la información reciente y relevante relacionada con el uso, disponibilidad y respuesta de los cerdos, en sus diferentes etapas, a la adición de fitasa como fuente de fósforo.

### **Justificación**

La disponibilidad de la información sobre fitasa en un documento accesible para quien lo desee, permitirá conocer las ventajas que aporta esta fuente de fósforo para el productor de cerdos, así como para la reducción en la contaminación del suelo y subsuelo, al reducirse la excreción de fósforo.

# REVISION DE LITERATURA

## Importancia y efecto del uso de fitasa

En México, la avicultura y la porcicultura tienen especial importancia en la producción de alimentos, además de ser fuentes de empleo para miles de mexicanos. Debido a la elevada densidad de población animal y a los modernos sistemas de producción, se han creado con el tiempo preocupantes focos de contaminación, ya que las excretas animales son sobreutilizadas como fertilizantes orgánicos, mismas que con el contenido de fósforo y nitrógeno contaminan los mantos freáticos (Dungelhoeef y Rodehutscord, 1995).

Se estima que el 15% de las heces producidas provienen de aves y cerdos. Sin embargo, este porcentaje se incrementa hasta 40% cuando la excreción de fosfatos es considerada. El peligro de contaminación ambiental también es de primordial interés en América Latina, debido a que cuenta con el 53% de la producción de cerdos (82 millones de un total de 154 millones) en el continente (Cromwell, 1992).

Más aun, las predicciones de crecimiento en producción de cerdos son más elevadas en México y Argentina con el 28 y 17%, respectivamente, que en EUA y Canadá 2 y 5% respectivamente entre 1999 y 2005. Como consecuencia, la contribución de América Latina a la excreción mundial de P aumentará conforme avancen los años.

Entre las enzimas de uso reciente se tiene a la fitasa; esta se incluye de manera regular en la dieta para incrementar la disponibilidad de fósforo en los granos y en la pasta de soya.

## **Aspectos generales sobre la fitasa**

La fitasa es una enzima que cataliza la hidrólisis del ácido fítico para formar ésteres de fosfato inorgánico. El ácido fítico está presente de forma natural en las plantas (Buhler et al., 1998) donde constituye las dos terceras partes del contenido total de fósforo.

La fitasa está presente en numerosos granos como trigo, centeno y cebada; también diferentes organismos (hongos, levaduras, bacterias) como los microbios presentes en el rumen del animal rumiante, son capaces de producir fitasas. Así también, en la mucosa gastrointestinal se ha detectado actividad enzimática de desdoblamiento de fitatos (BASF, 1997/ 1998).

En las semillas de diversos vegetales (cereales, oleaginosas, etc.), aproximadamente los dos tercios de fósforo contenido están ligados bajo forma de fósforo de fitina. Este enlace es considerado como forma principal de acumulación del fósforo en semillas. Desde el punto de vista químico, el fitato se compone mayormente de sales de calcio y magnesio del mioinositol hexafosfato. Animales no rumiantes, como las aves y el cerdo, no pueden aprovechar el fósforo de fitina o solamente lo hacen de una manera insuficiente, puesto que prácticamente les falta el equipo enzimático necesario para ello (BASF, 1997/ 1998). La acción de la fitasa microbiana en los cerdos y las aves de corral está ampliamente demostrada (Buhler et al., 1998). Así la aplicación de fitasa en dietas para porcino y aves causa una mayor disponibilidad de P vegetal y una disminución del nivel de suplementación de P inorgánico en la dieta (BASF, 1997/ 1998).

La aplicación de enzimas en alimentos para animales se hace con la finalidad de mejorar la digestibilidad de la dieta. La baja digestibilidad de algunas dietas es por lo regular el resultado de la falta de enzimas del animal, que puedan extraer los nutrientes de los complejos dentro del ingrediente alimenticio. Los no rumiantes carecen de la capacidad para hidrolizar los carbohidratos de este tipo; por lo que cuando se adicionan las enzimas necesarias, los componentes monosacáridos

producto de su hidrólisis, se pueden absorber y utilizar algunos de los nutrientes atrapados. En cerdos y aves jóvenes cuando el sistema enzimático aun no se desarrolla completamente, hay deficiencias de algunas enzimas (Stahl et al., 1998).

## Que es la fitasa químicamente

Las fitasas son meso-inositol hexafosfato fosfohidrolasas que se encargan de catalizar la hidrólisis de los grupos  $\text{PO}_4^{-3}$  del ácido fítico o fitato a ésteres de inositol penta a mono  $\text{PO}_4^{-3}$  y  $\text{PO}_4^{-3}$  inorgánicos (Lei y Porres, 2003). Las fitasas pueden ser de origen microbiano, como las producidas por bacterias, hongos y levaduras, o de origen vegetal. Las fitasas pueden clasificarse en dos tipos: las 3-fitasas comúnmente sintetizadas por microorganismos y las 6-fitasas producidas por plantas. Las 3-fitasas comienzan la hidrólisis del grupo  $\text{PO}_4^{-3}$  a partir del C en la posición 1 ó 3 del anillo de inositol, mientras que las 6-fitasas comienzan el proceso por el C en la posición 6 (Tamim et al., 2004). La mayoría de las fitasas provienen de la familia de histidina ácido fosfatasas.

La importancia de las fitasas en la alimentación de animales monogástricos se relaciona con la eliminación de los efectos antinutricionales del ácido fítico, por hidrólisis del compuesto y, a la mejor utilización del fósforo presente como fitatos, lo que reduce la incorporación de fuentes inorgánicas del elemento en las dietas para aves, disminuyéndose sustancialmente la contaminación ambiental.

El pH óptimo para la mayoría de las fitasas está entre 4.5 a 6.0. Para la de *Aspergillus niger* hay dos pH óptimos de actividad: 2.5 y 5.5; *Bacillus subtilis* tiene un pH óptimo neutral de 7.0. La fitasa de origen vegetal muestra un pH óptimo de 5.2. El ácido fítico tiene un total de 12 sitios protonados de disociación. Seis de estos son fuertemente ácidos, tres son débilmente ácidos y tres muy débilmente ácidos. El bajo pH del estómago glandular (proventrículo) de las aves favorece la protonación de los grupos débilmente y muy débilmente ácidos en la molécula de fitato.

La temperatura óptima para la mayoría de las fitasas se encuentra entre 45 a 60° C, lo que impide una actividad óptima en el estómago de no rumiantes, cuya temperatura corporal está entre 37 y 40° C. La term oestabilidad de la fitasa es un aspecto importante a considerar al peletizar el alimento. Este proceso reduce considerablemente la actividad de las enzimas (Spring et al., 1996) debido a la desnaturalización.

La fitasa es una enzima que se encuentra en la naturaleza, principalmente, en las plantas. Se forma en la etapa de crecimiento para suplirle fósforo a la planta durante esa etapa. La fitasa también se encuentra en el moco del intestino delgado de muchos animales, y en el caso de micro-organismos, se encuentra en el *Aspergillus* sp. Y en la levadura.

La fitasa es la enzima que cataliza la hidrólisis del ácido fítico. Esta molécula es la principal forma de almacenar el fósforo en ingredientes vegetales. Con la fitasa, se liberan grupos fosfatos inorgánicos, fácilmente asimilables por los animales. Con la adición de fitasa se puede ajustar mejor el consumo de fósforo y reducir el fósforo inorgánico añadido a los alimentos. Normalmente, éste se añade en exceso, el cual se excreta pudiendo provocar problemas de contaminación, como la eutrofización.

### **Acción de la fitasa**

A partir de estudios realizados y publicados por diferentes investigadores (Jongbloed, et al 1990; Yi et al., 1996; Murry et al., 1997; Johnston y Southern, 2000;) la adición de fitasa microbiana permite aumentar en 25 o 15 puntos porcentuales la digestibilidad o la disponibilidad del fósforo contenido en los alimentos vegetales. Tanto en los cerdos como en las aves de corral, se comprobó que la adición de 500 unidades de actividad fitasica microbiana al alimento puede sustituir 1.15 g de fósforo del fosfato bicálcico o 1.0 g de fósforo monocálcico con cerdos equivalentes (Buhler et al., 1998).

El periodo de acción de la fitasa in vivo corresponde al periodo de permanencia del alimento desde la ingestión hasta el final del intestino delgado. Aunque también en el intestino grueso tiene lugar la hidrólisis, más por los microbios allí presentes. La liberación hasta el final de intestino delgado (ileon terminal) es decisiva para el abastecimiento en P del cerdo, puesto que el fósforo solamente es absorbido en el intestino delgado (Jongbloed, 1987). Además, en el contenido del ileon de lechones no se puede detectar actividad fitasica alguna en la alimentación con una dieta de maíz y soya con un suplemento de fitasa de 1500 U/kg (Jongbloed, et al., 1992). La mayor parte de la hidrólisis de la fitasa parece desarrollarse durante la digestión del estomago (Schulz y Oslage, 1972). Según Simons et al. (1990) inmediatamente después del estomago ya se ha hidrolizado el 70% del fitato. La permanencia relativamente prolongada parece indicar que el estomago es el órgano efector decisivo, dado que la vida media de la ingesta en el estomago asciende aproximadamente a una hora e igualmente el valor del pH del contenido del estomago, que se sitúa en el ámbito del óptimo de pH bajo de la fitasa. La cantidad de alimento y la frecuencia de alimentación no ejerce influencia alguna sobre la efectividad de la fitasa (Jongbloed, 1992).

La adición de fitasa condujo a mejoras significativas de aumento de la masa en vivo, del consumo en alimento, de la conversión alimenticia y de la digestibilidad del P, el incremento del aumento de la masa en vivo mediante suplementos de P o de fitasa se explicó en parte por el aumento de la cantidad de alimento ingerida, puesto que los cerdos reaccionan con la pérdida de apetito a la alimentación deficitaria en P (Weigand y Kirchgessner, 1987) y en parte por la mejora de la conversión alimenticia. En total se comprobaron los rendimientos significativamente mejores bajo la suplementación de fitasa, aunque el contenido calculado de P digerible se situó entre ambos suplementos. Por lo tanto, el efecto de la fitasa no se debía exclusivamente al hecho de que aportara P para la absorción adicional.

## Disponibilidad y digestibilidad de fitasa

### Calcio y fósforo.

Alrededor de 99 por ciento de calcio y el 80 por ciento de P en el cuerpo está localizado en el esqueleto y en los dientes. Estos minerales juegan un papel importante en el desarrollo y mantenimiento del sistema esquelético y desempeñan otras muchas funciones (Peo, 1976). Debido a la interacción de Ca y P, las recomendaciones para los requerimientos de cualquiera de ambos implica que se está supliendo la cantidad correcta de los demás nutrientes (Kornegay *et al.*, 1983).

Los requerimientos totales de Ca y P están basados en dietas a base de maíz-harina de soya y considerando que el P en algunos alimentos de origen vegetal no está disponible para el animal (Cromwell *et al.*, 1970; Konegay *et al.*, 1983).

**Cuadro 1. Digestibilidad aparente de Ca y P de cerdos en distintos estados fisiológicos, alimentados con una dieta sin o con 500 unidades de fitasa.**

	Digestibilidad P (%)			digestibilidad Ca (%)		
	control	+ fitasa	P<	control	+ fitasa	P<
<b>Crecimiento</b>						
30 Kg.	19.9	34.6	0,01	36.8	43.1	0,01
34 Kg.	23.8	36.2	0,01	39.2	43.3	0,01
38 Kg.	25.2	38.9	0,01	41.9	45.3	0,01
40 Kg.	24.8	43.4	0,01	35.0	43.6	0,01
60 Kg.	28.2	44.9	0,01	41.6	44.9	0,12
80 Kg.	23.2	41.5	0,01	38.2	40.2	0,42
100 Kg.	27.6	43.1	0,01	42.2	44.2	0,18
<b>Reproductoras</b>						
60 día gestación	13.7	20.4	0,24	13.4	9.4	0,35
100 días gestación	18.3	33.3	0,02	23.8	23.4	0,90
10 días gestación	19.4	40.8	0,01	29.7	26.4	0,20
25 días gestación	19.2	42.1	0,01	31.2	36.7	0,66

(Fuente: Kemme *et al.*, 1997).

Como se ve en el cuadro 1, el efecto de las fitasas sobre la digestibilidad de Ca y P está condicionada por el estado fisiológico del cerdo. Los resultados de las mejoras

en digestibilidad de fósforo, más importantes, se producen en cerdas en lactación y en cerdos de más de 40 Kg de peso vivo y cerdas gestantes; las mejoras en digestibilidad del fósforo son de menor importancia.

### **Calcio y relación Ca / P**

La respuesta a un nivel dado de fitasa exógena puede afectarse por la cantidad de calcio y / o la relación Ca / P, el nivel de P y el nivel de fitato de la dieta (Lei *et al.*, 1994; Kornegay, 1996).

Una relación molar Ca / fitato en la dieta puede dar lugar a la formación de complejos Ca – fitatos muy insolubles en el medio intestinal. Se cree también que un exceso de calcio puede reducir la actividad enzimática, al competir con la fitasa por su lugar preferente de acción (Kornegay *et al.*, 1998). En estudios con cerdos (cuadro 2) se ha obtenido una mayor respuesta a las fitasas (mejor utilización del fósforo) cuando la relación Ca total / P total se mantiene entre 1: 1 y 1.1: 1 (Quian *et al.*, 1996). Niveles mas altos de calcio reducen la absorción de fósforo y la utilización de los fitatos (Dungelhoeft y Rodehustscord, 1995; Jongbloed *et al.*, 1996).

La actividad fitasica presente disminuyó al aumentar la relación Ca: P total, independientemente de la concentración de fósforo utilizada (cuadro 2). Con esto se concluye que la equivalencia de unidades de actividad fitasica en gramos de fósforo disponible se puede maximizar con una relación Ca: P total óptima.

### **Fósforo**

El P es un componente de los fosfolípidos de importancia en el transporte y metabolismo de los lípidos y en la estructura de las membranas celulares; es decir, que el fósforo está presente prácticamente en todas las células. El P interviene en el metabolismo de la energía y también forma parte de varios sistemas enzimáticos. Aproximadamente del 60 al 70% del P contenido en los cereales y la pasta de soya se encuentra en forma de fitatos (Cromwell *et al.*, 1995) solo un pequeño porcentaje de este fósforo esta disponible para los animales no rumiantes, debido a que en el

intestino delgado existen cantidades insuficiente de fitasa (Cromwell, 1992). El P contenido en los cereales es relativamente elevado (alrededor del 50%) debido a que estos contienen niveles altos de fitasa vegetal.

**Cuadro 2. Influencia de la relación Ca: P sobre la actividad de fitasica, coeficientes de digestibilidad de Ca y P y excreción de P.**

Fitasa (U/Kg.)	Pt (Pdisp.)	Ca:Pt	(U/Kg.)	Ca (%)	P (%)	P (g/día)
700	0,36 (0,07)	1,2:1	702	76,0	53,4	1,65
700	0,36 (0,07)	1,6:1	649	74,5	49,2	1,80
700	0,36 (0,07)	2,0:1	589	70,4	44,4	1,82
700	0,45 (0,16)	1,2:1	692	77,4	57,2	1,80
700	0,45 (0,16)	1,6:1	640	76,0	57,9	1,84
700	0,45 (0,16)	2,0:1	592	73,6	54,5	1,87
1.050	0,36 (0,07)	1,2:1	968	75,8	55,9	1,5
1.050	0,36 (0,07)	1,6:1	942	74,0	52,8	1,63
1.050	0,36 (0,07)	2,0:1	841	73,0	49,4	1,69
1.050	0,45 (0,16)	1,2:1	999	76,5	61,2	1,70
1.050	0,45 (0,16)	1,6:1	934	76,9	60,1	1,74
1.050	0,45 (0,16)	2,0:1	905	72,9	55,6	1,87

(Fuente: Qian et al., 1997).

La eficiencia en la utilización del P por el animal, depende de la forma en que se encuentre en los alimentos naturales. En los granos de cereales y subproductos derivados de los granos, harinas y semillas de oleaginosas, alrededor de 60 al 75% del P se encuentra ligado inorgánicamente en forma de fitatos (Cromwell, 1992) que es muy poco disponible para el cerdo. Prácticamente, solamente entre el 20 al 30% del P presente en el maíz y la pasta de soya puede ser utilizado por el cerdo. La

disponibilidad biológica del P en los granos de cereales es muy variable (Cromwell, 1992) los valores de disponibilidad van desde menos del 15 por ciento en el grano de maíz hasta aproximadamente el 50% del grano de trigo. El grano de maíz o de sorgo con alto contenido de humedad tiene mayor cantidad de P disponible que el grano seco. La disponibilidad biológica de P inorgánico es variable en las diferentes fuentes suplementarias (Chen y Pan, 1997).

La adición de 1000 U (unidades) de fitasa/Kg de alimento, produce una mejora en la digestibilidad de este mineral de hasta 28 unidades porcentuales, lo que equivale aproximadamente a 1g de P digestible por Kg de alimento; las principales firmas que comercializan fitasas recomiendan 500 U de fitasa / Kg de alimento, con una equivalencia de 0. 80g de P digestible / Kg de alimento (Anónimo, 1998; Anónimo, 2000).

## Calcio

La acción hidrolítica de la fitasa sobre los fitatos en el estómago, no sólo aumenta la digestibilidad del fósforo, sino que indirectamente eleva la del calcio. Kornegay et al. (1996) estimaron, basándose en los datos de Radcliffe et al. (1995), una equivalencia de 0.73g de Ca para 500 U de fitasa/Kg de dieta, mientras que Jongbloed et al. (1996a) señalan valores de 0.4 a 0.7g de Ca. No obstante, los resultados obtenidos por Johnston y Southern (2000) indican una equivalencia de 1.0g de Ca/Kg, que coincide con el valor recomendado por BASF (Anónimo, 1998).

**Cuadro 3. Digestibilidad del calcio con presencia o ausencia de fitasa.**

Fitasa	Ca en la dieta (g /Kg.)			
	2	4	7	10
0	39,2	38,9	38,3	37,8
80	68,5	58,5	54,5	46,8

(Fuente: Jongbloed et al., 1995).

El calcio y otros minerales pueden formar complejos con fitatos que se precipitan y como consecuencia disminuye la disponibilidad de estos minerales, por este motivo

la adición de fitasa puede mejorar no solo la digestibilidad del fósforo sino también la del calcio (cuadros 3 y 4).

**Cuadro 4. Digestibilidad del calcio con niveles crecientes de fitasa (Kirchgessner y Windisch, 1995).**

<b>Calcio %</b>	<b>0</b>	<b>300</b>	<b>600</b>	<b>1000</b>
0,65	54,2	58,2	59,5	67,2
0,85	34,0	40,8	44,8	54,0

(Fuente: Kirchgessner y Windisch, 1995).

### **Minerales traza**

La adición de 1350 U de fitasa/Kg a una dieta a base de maíz-soya baja en P (0.3%) y Zn (30 Mg/Kg) mejora la biodisponibilidad del P y Zn al reestablecer los valores normales de crecimiento y los de Zn y fosfatasa alcalina en plasma (Lei et al., 1993c). Pallauf et al. (1992a) obtienen una elevación significativa en la absorción de Mg y Zn en lechones mediante la suplementación a la dieta de 500 ó 1000 U de fitasa/kg. Adeola et al. (1995) señalan una mejora del crecimiento y de la retención de Zn, Cu, P y Ca cuando suplementan la dieta con 1500 U de fitasa/kg. La adición de 1200 U de fitasa/Kg produce hidrólisis del Fe ligado al fitato en una dieta a base de maíz-soya, mejorando su biodisponibilidad en lechones (Stahl et al., 1998). Hasta ahora, no se han logrado establecer valores de equivalencia de los minerales traza con respecto al nivel de fitasa en la dieta.

### **Proteínas y aminoácidos**

La literatura existente sobre el efecto de las fitasas sobre la digestibilidad de la proteína y los aminoácidos es más bien escasa. Se ha demostrado "in vitro" que las fitasas crean aminoácidos libres, especialmente lisina. La incubación de lisina en HCl (Ácido Clorhídrico) con salvado de arroz, rico en fitatos, muestra que un 20% de esta lisina queda ligada a éstos. La adición de fitasa al medio de incubación libera el 50% de esta lisina quelada (Rutherford et al., 1997).

En pruebas experimentales "in vivo" Officer y Batterham (1993) observaron que la adición de fitasa mejora la digestibilidad aparente de la proteína y los aminoácidos. Jongbloed et al. (1996a) en una revisión de la literatura que abarca 17 experimentos, señalan que el empleo de fitasa produce un promedio de mejora de 0.85 unidades porcentuales en la digestibilidad aparente total de la proteína.

Con el propósito de establecer una equivalencia entre unidades de fitasa y porcentaje de digestibilidad de proteína y aminoácidos, Coelho y McNight (1998) revisaron varios trabajos publicados (Officer y Batterham, 1992). Los resultados recogidos, a excepción del valor adjudicado a la isoleucina, constituyen la referencia de las recomendaciones de BASF para la utilización de Natuphos en la formulación de raciones para cerdos (cuadro 5). Datos más recientes (Johnston y Southern, 2000) confirman los porcentajes de digestibilidad señalados por los investigadores antes citados, y avalan estas recomendaciones de BASF (Anónimo, 1998). Kornegay (1999) estima que, mediante una reducción conservativa de la proteína bruta de 1.0 unidad porcentual (7.1% de reducción) y un valor de excreción de nitrógeno (incluido el N urinario) del 40% del consumo de N, la excreción de éste se puede reducir 7.1% cuando se añade 500 U/Kg. de fitasa a la dieta de cerdos.

## **Factores que influyen en la eficiencia de las fitasas**

### **Características fisiológicas**

Las diferencias anatomofisiológicas 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 del cerdo y su bajo pH permiten una mejor efectividad de la actividad fitásica y, por ende, una mayor digestibilidad del fósforo. Se ha comprobado que un 40-50% de la actividad de las fitasas añadidas a la dieta de cerdos se detecta en el estómago, mientras que en la parte superior del intestino delgado sólo se encuentra un 16-30% (Yi y Kornegay, 1996). Se duda de la influencia que puedan ejercer la edad y el estado fisiológico del

cerdo sobre la eficacia de las fitasas exógenas (Kornegay, 1999). Mientras que en las aves parece existir una mayor eficacia en las adultas -ponedoras> broilers- (Van der Klis y Versteegh, 1996), los resultados en cerdos son más confusos. Kemme et al. (1997) indican que la efectividad de las fitasas microbianas se ve afectada por el estado fisiológico -cerdas lactantes > cerdos crecimiento-cebo > cerdas final gestación > lechones > cerdas mitad gestación-, otros investigadores no han hallado diferencias en cerdos en crecimiento ni en lechones (Harper et al., 1997b; Rodehutschord, 1998).

**Cuadro 5. Valores de digestibilidad aparente (ileon) de proteína y aminoácidos (g/ Kg. equivalentes a 500 unidades de fitasa /Kg. para cerdos.**

Nutriente	Promedio ajustado para 500 U fitasa	
	Promedio <sup>1</sup>	Ajuste de seguridad
Proteína bruta	4,819	3,000
Lisina	0,177	0,100
Metionina	0,046	0,040
Cistina	0,059	0,030
Metionina + Cistina	0,105	0,070
Triptófano	0,023	0,020
Treonina	0,124	0,040
Valina	0,130	0,100
Isoleucina <sup>2</sup>	0,206	0,082
Leucina	0,158	0,110
Fenilalanina	0,119	0,083
Histidina	0,065	0,045
Arginina	0,126	0,101

<sup>1</sup> Promedio de resultados de experimentos realizados por Officer y Batterham 1992; Mroz et al., 1994; Jongbloed et al., 1997 y Grela y Krasucki, 1997.

<sup>2</sup> El valor indicado para las isoleucina en el manual Natuphos es de 0,05 g/kg (Anónimo, 1998).

## **Efecto biológico de la fitasa.**

### **Especie porcina**

En el lechón y el cerdo de engorde es posible comprobar efectos manifiestos después de la aplicación de fitasa microbiana. En cerdos de engorde y lechones, la digestibilidad aparente de fósforo de raciones puramente vegetales aumentó de 20 a 25 puntos mediante la adición de 1000 FTU (unidades de fitasa microbiana/Kg de alimento). Suplementos mas elevados ya no condujeron a un aumento adicional de la digestibilidad del fósforo en lechón de 25 Kg de peso y en el pollo de engorda. Gradhi (2000) utilizó 144 cerdos (72 machos castrados y 72 hembras) y suplementó fitasa (Novo Nordisk, denmark a 500 UTF kg<sup>-1</sup>.) en dietas a base de grano de cebada entera y grano de cebada en cascarilla. La ganancia de peso durante el periodo de crecimiento y finalización y en todo el periodo no fue diferente ( $P \geq 0.10$ ) entre las dietas a base de grano de cebada entera y grano sin cascarilla. Sin embargo, en la dieta conteniendo cascarilla de cebada la eficiencia alimenticia (Ganancia / consumo) fue mejor ( $P \leq 0.01$ ). Thacker et al. (1998) reporta comportamiento similar en eficiencia alimenticia en cerdos alimentados con cascarilla de cebada comparada con grano de cebada entera.

El efecto de Natuphos es especialmente pronunciado en el alimento liquido de cerdos de engorda, puesto que la fitasa ya puede liberar fósforo de fitina durante el proceso de mezclado. En un alimento harinoso con 1000 FTU / Kg se había liberado 1 y/o 2 horas después de mezclado con agua en una relación del 1:3, aproximadamente del 30 al 60% del fósforo ligado a fitato. También, la digestibilidad y convertibilidad del Ca y de los oligoelementos son influidas positivamente por el suplemento de fitasa, tanto en el porcino como el las aves. De este modo, mediante la aplicación de fitasa también se puede reducir el contenido en Ca del alimento (BASF, 1997/ 1998).

## Especie avícola

En numerosos ensayos de dosis/efecto en el broiler fue posible una influencia positiva del suplemento de fitina sobre el desarrollo de la masa en vivo y la convertibilidad de fósforo y calcio. Así, fue posible ejercer una influencia manifiestamente positiva sobre el aumento de peso en vivo y sobre la acumulación de fósforo y calcio, mediante suplementos de fósforo inorgánico e igualmente de fitina (200, 400, y 800 FTU/ Kg.) A una dieta de maíz soya con un contenido en P básico del 0.35%, de los cuales un 0.23% de fósforo de fitina en broiler durante el periodo de ensayo de 15 días. Hasta ahora no se observaron diferencias específicas de la dieta en el efecto de fitasa. Contenido de actividad de fitasa de mas de 800 – 1000 FTU/Kg de alimento solamente condujeron en los ensayos realizados hasta ahora con contenidos de P de fitina del 0.20 al 0.30% en la ración, a un aumento adicional mínimo o nulo de la disponibilidad del fósforo (BASF, 1997/ 1998).

La aplicación de enzimas en alimentos para animales se hace con la finalidad de mejorar la digestibilidad total de la dieta. La baja digestibilidad de algunas materias primas es por lo regular el resultado de la falta de enzimas endógenas del animal para extraer los nutrientes de los complejos dentro del ingrediente alimenticio. De manera general, los no rumiantes carecen de la capacidad endógena para hidrolizar los carbohidratos de este tipo, por lo que cuando se adicionan las enzimas necesarias, los componentes monosacáridos producto de su hidrólisis, se pueden absorber y utilizar al complementar la adición de las enzimas endógenas producidas por animal. En cerdos y aves jóvenes, cuando el sistema enzimático aun no se desarrolla completamente, hay deficiencias de algunas enzimas. Liberan algunos de los nutrientes atrapados, como azúcares simples y lisina; para reducir el impacto contaminante de las heces de los animales en el ambiente. El contenido de fosfatos en las heces de algunos animales tiene un potencial muy elevado como contaminante (Stahl *et al.*, 1998).

Se han evaluado pollos in vivo para determinar la eficacia relativa de la fitasa de origen vegetal y microbiana, encontrándose que las fitasas de los cereales son 40% menos efectivas que la fitasa microbiana (Frapin y Nys, 1995). Este potencial mas elevado de la fitasa microbiana para liberar fósforo disponible para pollos de engorda también fue confirmado por Oloofs et al. (1998).

Recientes estudios han demostrado que al agregar la enzima fitasa a la dieta de las aves se puede aumentar la cantidad de fósforo disponible, lo cual permite a los productores poder reducir de 0.1 a 0.12% la cantidad de fósforo inorgánico.

La inclusión de menores cantidades de fósforo en las dietas es una de las maneras de reducir la excreción de fósforo en las heces, este fósforo excretado es el que contribuye a la contaminación ambiental, de hecho, con la adición de fitasas microbianas a las dietas para mejorar el aprovechamiento del fósforo se puede reducir el desperdicio de fosfato y evitar estos desperdicios nocivos para la salud.

### Otras especies.

La crianza de pavos enfrenta los mismos problemas que la industria de pollos para engorda debido a la ausencia de fitasa endógena. Investigaciones recientes han demostrado que la adición de fitasa a dietas para pavos mejora el desempeño productivo, la ceniza del hueso del dedo, la digestibilidad de N y amino ácidos en el íleon y la retención de P y N (Qian et al., 1996; Yi et al., 1996). En pavos, la adición de 750 FTU/kg libera el 48% del Pf (Fósforo, fitato) de dietas a base de harina de soya.

Por otro lado, los rumiantes tienen la capacidad de digerir el Pf (Fósforo fítico) debido a la actividad de la flora normal del rumen. Estas bacterias poseen una gran actividad fitásica, lo que les permite utilizar el Pf, en beneficio tanto del animal como de los microorganismos (Godoy y Meschy, 2001).

## Fitasa en la dieta de los Cerdos

El fósforo es un elemento esencial para el crecimiento, desarrollo y reproducción de los animales, puesto que prácticamente no hay reacción química en la célula, sin que intervenga, directa o indirectamente, este mineral. El fósforo participa en la formación de huesos, la generación de energía, la formación de material genético que se hereda de una a otra célula y organismos, la formación de músculo a través de la síntesis de proteína, la síntesis de grasa, etc. Por lo tanto, todos los animales deben consumir cantidades adecuadas de este mineral.

El fósforo contenido en ingredientes típicos de la dieta de los cerdos (pasta de soya y cereales) se encuentra principalmente en forma de fitatos (hexafosfato éster y de mio-inositol). Aunque es relativamente abundante, su disponibilidad es muy baja debido a que el animal no produce ninguna enzima que rompa los enlaces P-fitato. Cromwell (1991) señala que el P es disponible en apenas 10 a 15 % en maíz y sorgo, 25 a 30% en pasta de soya, y alrededor de 50% en trigo. Adicionalmente, a los fitatos se les considera como factores antinutricionales debido a que forman quelatos con otros minerales esenciales como el Ca, Zn, Mg, Fe y pueden reaccionar también con proteínas, disminuyendo la disponibilidad de proteína y aminoácidos.

La utilización de fitasas ha sido muy intensa durante los últimos años. Esta enzima hidroliza la molécula de fitato y, de esta manera, libera al fósforo ligado a esta (Jongbloed et al., 1992).

En cerdos, la investigación ha sido de gran importancia, ya que al igual que los pollos y pavos, los cerdos carecen de fitasa endógena. En esta especie la actividad de fitasa e hidrólisis de la molécula de fitato se concentra en el estómago, dadas las condiciones de pH y temperatura favorables. La actividad enzimática es muy poca en el duodeno y es imperceptible en el yeyuno e íleon como consecuencia de un pH neutro y la proteólisis que ocurre en estos segmentos intestinales (Jongbloed et al., 1992).

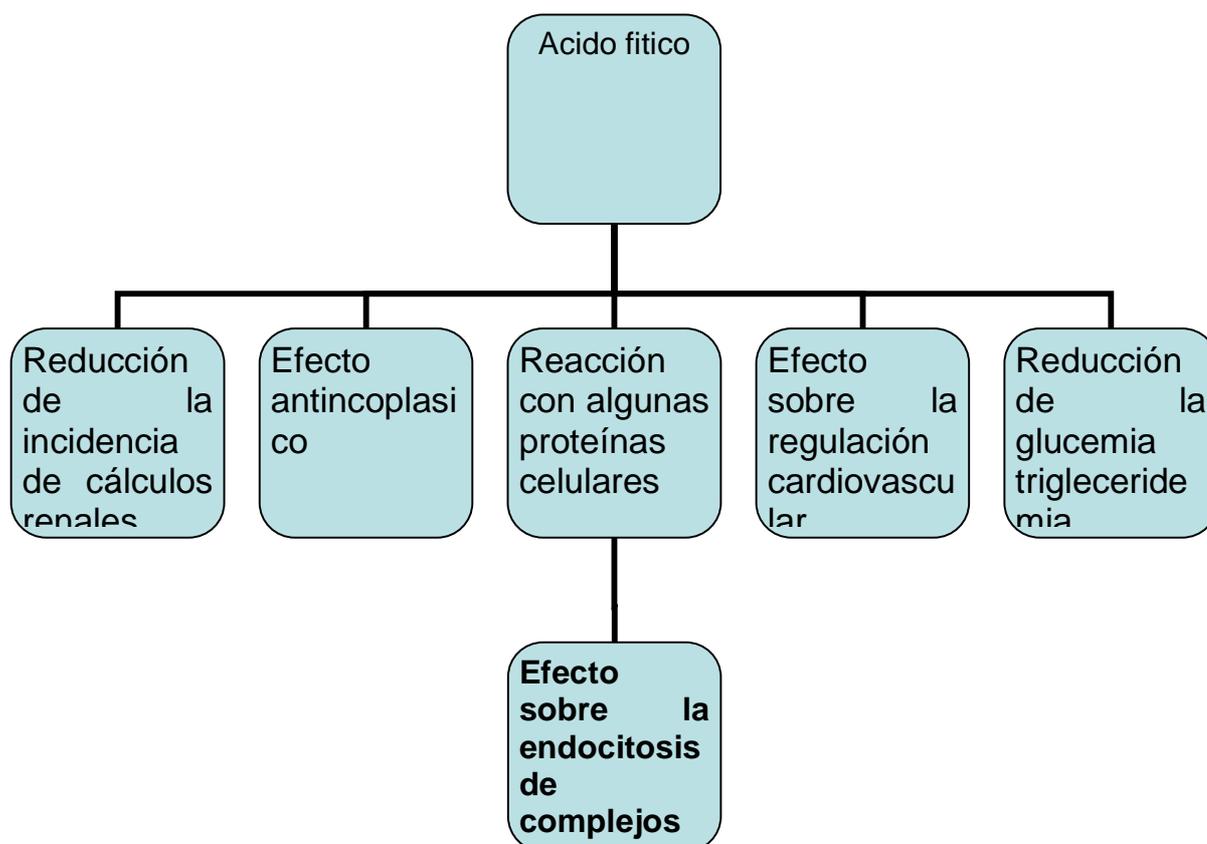
## Adición de fitasa en la alimentación de cerdos

La utilización óptima de la fitasa en la alimentación animal se debe hacer sobre la base de un conocimiento adecuado de la equivalencia de actividad fitásica en gramos de fósforo disponible. Sin embargo, este cálculo no es fácil porque hay varios factores que influyen sobre dicha equivalencia (Piquer. 1997).

## Proceso fisiológico digestivo del cerdo

Cuanto mas tiempo permanezca el alimento en el estomago, mayor será la eficacia de las fitasa; de tal manera que se han encontrado diferencias en función del estado fisiológico del cerdo. La mayor eficacia de la fitasa se ha encontrado en las cerdas lactantes, seguido de los cerdos en crecimiento – engorda, cerdas en final de gestación, lechones y, por ultimo, en cerdas en mitad de gestación. Estas diferencias son debidas a las condiciones del estomago, así como a los distintos tiempos de retención del alimento en el tubo digestivo.

Los efectos del ácido fítico sobre el metabolismo no se limitan sólo al tracto digestivo. Otros efectos que se le adjudican son la reducción en la formación de cálculos renales, efecto antineoplásico, capacidad antioxidante, efecto sobre la endocitosis de complejos quelante-receptor, participación en la regulación cardiovascular y prevención de enfermedades cardiacas relacionadas con desórdenes en el metabolismo de los lípidos figura1.



**Figura 1. Efecto metabólicos del ácido fólico.**

(Fuente: Szkudelski, 1997)

### **Fitasa en lechones**

En lechones, la incorporación de fitasa en la dieta permite mejorar la retención de P en un 50% y disminuir la excreción en un 42% (Lei et al., 1993). El aumento del nivel de calcio de la dieta disminuye la digestibilidad de P- fólico (Sandberg et al., 1993), reduce la absorción y la concentración plasmática del P y disminuye los resultados de crecimiento (Lei et al., 1994). El ácido fólico fácilmente queda con los minerales divalentes (Zn, Fe, Mn, Ca, y Mg), reduciendo su biodisponibilidad (Maenz et al., 1999). Datos obtenidos in Vitro, igualmente demuestran que el Zn es un fuerte inhibidor de la hidrólisis del P- fólico por las fitasas. (Lizardo, Torrallardona y Brufau S/F).

## Efecto de las fitasas sobre el metabolismo digestivo

La principal función de las fitasas es la hidrolización del ácido fítico, produciendo ortofosfato, aumentando la digestibilidad del fósforo. Del 40- 50% de la actividad fitásica de la dieta se observa en el estomago y del 16 – 31% en el intestino delgado anterior. 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/o 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 cationicos, 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 concentración de pH, asociación entre el ácido fítico con las proteínas y el almidón, procesado del alimento, presencia de otros iones en el alimento, etc. De todos ellos, quizás sea el calcio el de mayor relevancia, de manera que se podría establecer una equivalencia de 0.7-1 g de calcio por cada 500 UF/Kg (Radcliffe et al., 1995). También se aprecia el aumento de la digestibilidad de otros minerales como magnesio, manganeso, cobre y zinc en lechones (Pallauf et al., 1992), del cobre y zinc en cerdos en crecimiento (Adeola et al., 1995) y de magnesio, cobre y zinc en cerdas gestantes y lactantes (Czech y Greta, 2004). Ello implica, en opinión de Shelton et al., (2005) que el aporte de fitasas al alimento, puede reducir en parte, el aporte de micro minerales en el corrector, al liberarse algunos de estos minerales en la hidrólisis de los fitatos. Así mismo, Kies et al. (2006) afirman que la adicción de fitatos por encima de las dosis estándares actuales (500 UF/ Kg.) puede mejorar la utilización de los minerales (P, Ca, Mg, Na, K y Cu) y reducir su eliminación al ambiente.

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 et al.,1994). Asimismo, esta fitasa, en una dieta alta en contenido de fósforo, mejora la digestibilidad total aparente de la energía bruta en alrededor del 2% (Jongbloed et al.,1996). En opinión de Jonnston et al. (2004) la adición de fitasa junto con la reducción de los niveles de calcio y fósforo en la dieta incrementan la digestibilidad de la energía, los aminoácidos y otros nutrientes, en dietas a base de maíz- soya en producción porcina; de manera que cuando se utilizan fitasas en la formulación de dietas se podría pensar en la reducción de la concentración de aminoácidos y de energía.

En experiencias llevadas a cabo con cerdos en crecimiento (> 20 Kg.) se detectó que 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 soya (Biehl y Baker,1996; Kemme et al.,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, la literatura científica también registra trabajos en los que no se ha detectado ningún efecto de la fitasa microbiana sobre la digestibilidad total aparente de la proteína en lechones, en cerdos en crecimiento o en cerdas reproductoras (Lantzsck et al.,1995; Bruce y Sundstl,1995; Liao et al.,2004/2005). Estas diferencias de resultados, entre los diversos autores, pueden ser debidas a las distintas dosis de fitasas o a la composición de las dietas utilizadas en las experiencias.

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; por ello, Gebert, et, al. (1999) recomiendan un incremento de vitamina E como antioxidante cuando se incluyan fitasas en la dieta.

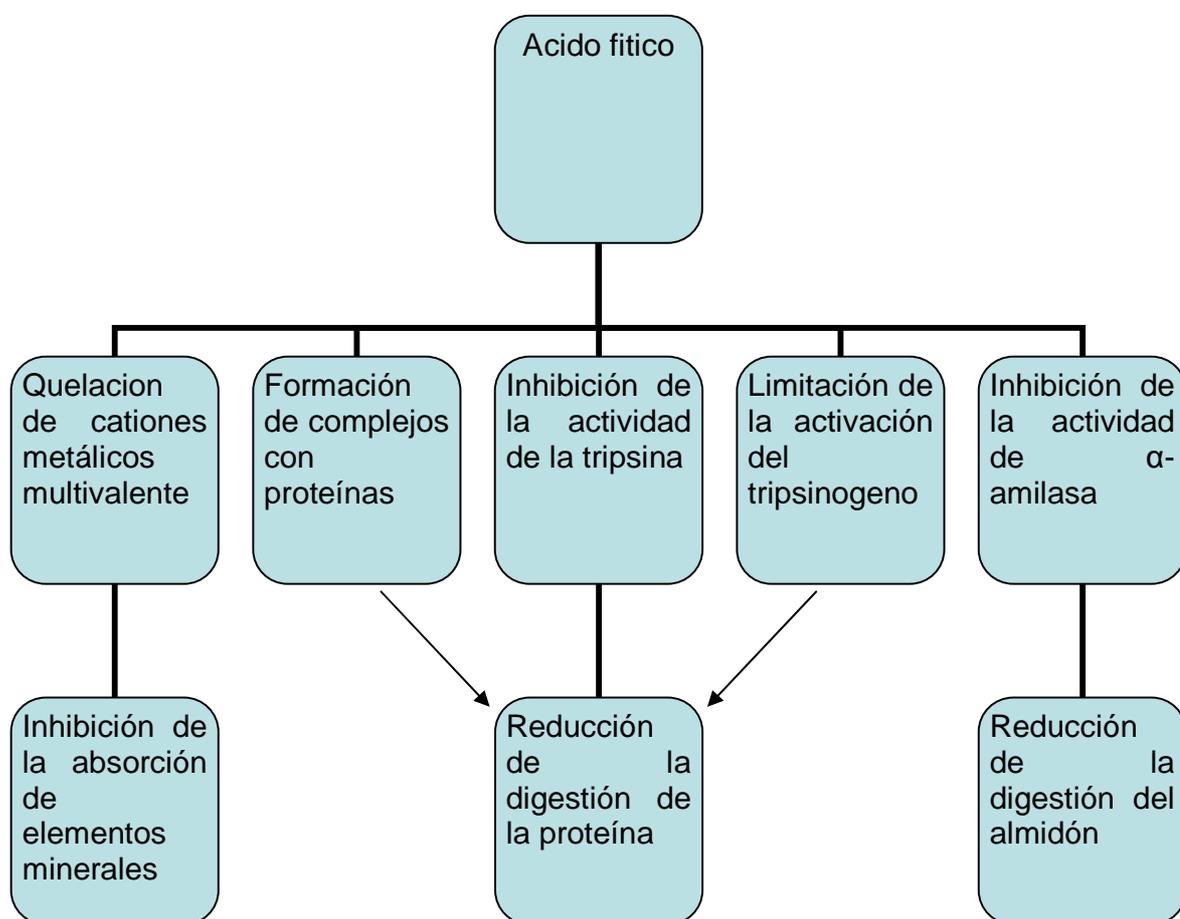
## Actividad fitásica en el intestino delgado del cerdo

Aunque la capacidad para degradar los fitatos por los monogástricos se considera prácticamente nula, Hu et al. (1996) detectaron actividad fitásica en el intestino delgado de lechones de 4.5 a 6.0 Kg. de peso vivo. Por segmento intestinal, esta actividad fitásica era más importante en el yeyuno, mientras que en el duodeno y el íleon oscilaba entre el 35 y el 83% de la actividad detectada en el yeyuno. Esta actividad detectada en el intestino delgado va dirigida principalmente hacia fitatos con menor saturación de grupos fosfato y, por lo tanto, los autores del trabajo sugieren que esta actividad puede ser complementaria de la posible incorporación de actividad fitásica exógena al alimento, aunque este extremo no está todavía demostrado. Los efectos del ácido fítico sobre el metabolismo no se limitan sólo al tracto digestivo. Otros efectos que se le adjudican son la reducción en la formación de cálculos renales, efecto antineoplásico, capacidad antioxidante, efecto sobre la endocitosis de complejos quelante-receptor, participación en la regulación cardiovascular y prevención de enfermedades cardíacas relacionadas con desórdenes en el metabolismo de los lípidos

### **Estado fisiológico de los cerdos.**

El efecto de las fitasas exógenas sobre la digestibilidad de Ca y P se ve afectada también por el estado fisiológico del cerdo. (Kempe et al., 1997) estudiaron esta fuente de variación con animales de genética similar en distintas fases de producción. Según sus resultados, las mejoras de digestibilidad de fósforo más importantes se producen en cerdas en lactación y en cerdos de más de 40 Kg. de peso vivo, mientras que en cerdos de 30 a 40 Kg. de peso y en cerdas gestantes las mejoras en la digestibilidad del fósforo son de menor importancia, por lo tanto, la equivalencia de la actividad fitásica en cantidad de fósforo disponible es variable y habría que utilizar distintas equivalencias en función del tipo de alimento formulado.

El ácido fítico también puede afectar a la digestión del almidón inhibiendo la actividad  $\alpha$ -amilásica. Este efecto no es de naturaleza competitiva, sino que se produce al unirse a la proteína enzimática y al quelar los iones calcio necesarios para su normal actividad (Deshpande y Cheryan, 1984; Bouncore et al.,1976). Puede también actuar directamente sobre el almidón, uniéndose también a las proteínas que se encuentran ligadas a este polisacárido (Yoon et al., 1983). El efecto del ácido fítico en el tracto digestivo se encuentra esquematizado en la Figura 2.



**Figura 2. Efectos del ácido fítico en el tracto digestivo.**

(Fuente: Szkudelski, 1997; Graf 1986).

## Factores que influyen en la actividad de las fitasas

### **Procesado del alimento.**

En el proceso de fabricación del alimento se rompe y tritura parte de las semillas, lo que provoca un mayor contacto entre los fitatos y las fitasas, favoreciendo la hidrólisis del ácido fítico. La pérdida de la integridad estructural del grano puede modificar su actividad fitásica (Reddy et al., 1982). La molienda del grano pone en contacto más estrecho sustrato y enzima, favoreciendo su acción. La alta presión a que se somete el alimento durante el proceso de granulación hace que su textura sea más fina, facilitando así aún más el acceso al sustrato de las enzimas y aumentando potencialmente su digestibilidad.

### **Granulación del alimento**

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 %. En cuanto la temperatura de granulación supera los 80°C se provoca la desnaturalización de la enzima. En este último caso, se recomienda la aplicación de las fitasas microbianas en forma líquida una vez concluida la fase de granulación. El lugar idóneo para esta aplicación es a través del enfriado y cribado del grano, asegurándose de la correcta homogenización del producto.

### **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 almacenamiento es de 4°C. (Adeola, y Sands, 2003).

## **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–fitatos 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 alimento, el aporte de fósforo mineral se reduce, por lo que sería conveniente rebajar el aporte de calcio. La mayor respuesta en la adición de fitasa (mejor utilización del fósforo) se obtiene cuando la relación Ca / P total es de 1:1 (Qian et al.,1996). Hanni et al. (2003) afirman que cuando el contenido en fitasas de la dieta es de 300 UF / Kg de alimento, la relación Ca / P total no debería ser superior a 1.5:1, ya que de lo contrario se produciría un descenso en el consumo de alimento y en el crecimiento de los animales. En este caso, la presencia de vitamina D<sub>3</sub> va a ejercer una acción benéfica sobre la fitasa al aumentar la absorción del calcio (Leiy et al.,1994).

## **Actividad fitásica intrínseca de las materias primas**

Esta actividad es muy variable, dependiendo de las especies vegetales, así los cereales y los subproductos contienen grandes cantidades de fitasa, mientras que las harinas oleaginosas y las leguminosas contienen menos niveles (Viveros et al., 2000). Además, el lugar de la planta o de la semilla donde se localiza el fitato es variable (cuadro 6) en función de la especie, así en el maíz se localiza en el germen; en el trigo en la aleurona; en las leguminosas en los cotiledones y en algunas oleaginosas en el endospermo.

La presencia de ácidos orgánicos como el ácido fórmico, láctico o cítrico, favorecen la acción de las fitasas al provocar un pH estomacal mas favorable. Así, autores como Kemme et al., (1999) han demostrado que la presencia de ácido láctico junto con las fitasas mejora la digestibilidad del fósforo. De igual manera, Rice et al. (2002) comprobaron que la suplementación de las dietas con fitasa y ácido cítrico mejoraba la digestibilidad del fósforo y de la materia seca de forma sinérgica. Sin embargo, otros autores como Kemme et al. (1999) no han detectado esta acción sinérgica

entre fitasas y ácidos orgánicos. Sin embargo, es verdad que de forma indirecta, la acidificación provoca un vaciamiento mas lento del estomago permitiendo una mejor actuación de las fitasas.

**Cuadro 6. Localización del acido fitico en diversos granos.**

Cereal	Muestra	Fósforo fitico <sup>1</sup>	Distribución en % del total en el grano <sup>2</sup>
Maíz	Híbrido comercial	0,25	-
	Endospermo	0,01	3
	Germen	1,80	88
	Cutícula	0,02	0,4
Trigo	Blando	0,32	
	Endospermo	Trazas	2
	Germen	1,10	13
	Tegumentos	0	0
	Aleurona	1,16	87
Arroz	Moreno	0,25	-
	Endospermo	Trazas	1,2
	Germen	0,98	7,6
	Pericarpio	0,95	80

<sup>1</sup> Contenido en fósforo fitico de la parte considerada. <sup>2</sup> Distribución: la suma superior a 100 se explica porque ciertas partes analizadas están recubiertas parcialmente por otras.  
Reddy et al., 1982; Pointillart, 1994a

## Presencia de ácidos orgánicos

### Tipo de alimentación

La alimentación líquida fermentada consiguen aumentar la eficacia de las fitasas vegetales, reduciendo la presencia de fitatos (Carlson y Poulsen, 2003).

La incorporación de fitasas al alimento mejora la digestibilidad del fósforo, disminuyendo la excreción del mismo en las heces, con lo que se consigue reducir el impacto medioambiental de los desechos de cerdos. Así mismo, se consigue mejorar

la digestibilidad de otros minerales, de proteínas, aminoácidos y energía lo que redundaría en un aumento de la tasa de crecimiento de los animales. Pero para que las fitasas puedan desarrollar toda su potencialidad se debe 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 alimento (Adeola et al., 1995).

### **Diferencias en el contenido de fósforo fítico de distintas materias primas.**

El contenido en fósforo fítico varía de forma importante entre distintas materias primas (cuadro 7) y, por lo tanto, la cantidad de fósforo liberado por la actividad fitásica variará en función de las materias primas utilizadas para formular la dieta. Por ejemplo, Dünghelhof et al. (1994) demostraron que la actividad de fitasas exógenas aumentaba la digestibilidad del fósforo del 18% al 56% cuando el cereal base era el maíz, del 62% al 74% en el caso del trigo y del 52% al 74% en el triticale.

### **Actividad fitásica intrínseca de las materias primas**

Algunas materias primas de origen vegetal tienen cierta actividad fitásica. Dentro de los cereales, el triticale y el centeno son los que tienen mayor actividad intrínseca (cuadro 8) mientras que el trigo y la cebada tienen una actividad intermedia y en el maíz y la avena prácticamente no se detecta dicha actividad (Pointillart, 1993). Además, esta actividad se encuentra localizada fundamentalmente en los salvados. Por otra parte, no se ha podido detectar actividad fitásica en las harinas de soya, girasol y colza (Pointillart, 1993; Eeckhout et al., 1994). Además de la variabilidad debida a la especie vegetal, también se han detectado diferencias debidas a la variedad. Barrier-Guillot et al. (1996a) encontraron diferencias significativas en la actividad fitásica de distintas variedades de trigo, indicando además que esta actividad no estaba correlacionada con el contenido en fósforo total o en fósforo fítico.

---

**Cuadro 7. Contenido de fosfatos de inositol en diversos ingredientes (g/ kg. MS).**

---

Ingrediente	IP3	IP4	IP5	IP6	Total
Harina de alfalfa	ND	0,26	ND	0,80	1,06
Producto de panificación	ND	ND	ND	2,00	2,00
Cebada (grano)	ND	ND	ND	5,05	5,05
Cebada (grano) <sup>2</sup>	Trazas	0,06	0,48	6,01	6,55
Granos desecados de cervecería	1,95	1,14	2,28	8,32	13,69
Centeno (grano) <sup>2</sup>	Trazas	0,13	0,48	6,09	6,70
Harina de galleta	ND	ND	0,24	1,37	1,61
Turtó de coco	1,76	0,91	1,65	9,71	14,03
Harina de gluten de maíz	0,46	0,29	1,86	13,80	16,41
Maíz (grano)	ND	ND	0,27	9,36	9,63
Avena (grano)	ND	ND	ND	6,47	6,47
Cilindro de arroz	ND	0,65	7,75	59,99	68,31
Sorgo (grano)	ND	ND	0,27	9,23	9,50
Harina de soja 44%	ND	0,31	2,46	14,93	17,70
Harina de soja molturada	ND	ND	0,20	2,33	2,53
Harina de girasol 38%	0,20	0,48	5,63	40,43	46,74
Salvado de trigo	ND	1,24	6,92	39,47	47,63
Trigo (grano)	ND	ND	ND	6,78	6,78
Tercerillas	ND	ND	2,50	28,98	31,48
Salvado de trigo	ND	0,61	4,14	28,65	33,40
Harinillas	ND	ND	1,59	22,92	24,51

<sup>1</sup> Kasim y Edwards, 1998  
<sup>2</sup> Centeno et al., 2001  
ND: No detectable

(Fuente: Kasim y Edwards, 1998.

### Beneficio de la utilización de la fitasa en la nutrición de cerdos

El peligro de contaminación ambiental es de primordial interés en el mundo y debe de serlo también en América Latina. De hecho, América Latina produce el 47% de la producción de porcinos en el continente. La inclusión de menores cantidades de fósforo en las dietas es una de las maneras de reducir la excreción de fósforo en las heces, este fósforo excretado es el que contribuye a la contaminación ambiental. De hecho, con la adición de fitasas microbianas a las dietas para mejorar el aprovechamiento del fósforo se puede reducir el desperdicio de fosfato y evitar estos desperdicios nocivos para la salud.

---

### Cuadro 8. Fósforo fitico y actividad fitasica en distintas materias primas.

---

<b>Materia prima</b>	<b>P fitico (g/ Kg.</b>	<b>P fitico (P % total)</b>	<b>Actividad fitasica (U/ Kg.)</b>
Trigo	1,7- 2,5	60-77	700+/-100
Maíz	1,7-2,2	66-85	N
Avena	1,9-2,3	55-63	N
Cebada	1,9-2,5	51-66	400+/-200
Triticale	2,5-2,6	65-68	1.500+/-170
Centeno	2,2-2,5	61-73	4.900+/-620
Sorgo	1,8-2,2	60-74	-
Guisante	1,2-9,7	40-50	N
Salvado trigo	8,1-9,7	70,90	1.200+/-150
Salvado centeno	7,6	71	6.300+/-1.100
<b>Harinas</b>			
Soya	3,2-3,8	51-61	N
Colsa	6,0-7,3	60-73	N
Girasol	6,2-9,2	73-80	N
Cacahuete	3,2-4,3	47-69	N

\*una unidad libera 1  $\mu$ mol de P de fitato sodico a pH 5,5 y 37° C; <sup>b</sup>n: no detectada.  
(Fuente: **Pointillart, 1993.**)

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 (Donayre, S/F).

### Como seleccionar la mejor fitasa

La que dé mayor ahorro por tonelada de alimento preparado, es decir, la que tenga la matriz con los valores más altos y funcionales ya que va a dar los mejores resultados económicos. Esta elección pasa inicialmente por una prueba de confianza en base al laboratorio que lo ofrece, y luego por una prueba de campo que valida los cálculos estimados. Por consiguiente, la mejor manera de elegir una fitasa, no es por su costo por Kg., ni por su valor de costo por tonelada medicada (precio de la enzima por la cantidad de gramos incluidos por tonelada), sino por la cantidad de dinero que permite ahorrar por tonelada de alimento preparado, después formular la ración a mínimo costo (Donayre, s/f).

## CONCLUSIONES

Con la revisión de la literatura referente a la fitasa, se concluye que esta enzima tiene un gran impacto en la nutrición animal y su incorporación en la alimentación de cerdos y aves mejora la digestibilidad de los minerales Ca: P, lo que reduce de manera importante la excreción de este elemento (P) en los cerdos y con ello se consigue reducir de manera importante la contaminación del medio ambiente. Así mismo, la inclusión de fitasa en la dieta, permite mejorar la digestibilidad de otros minerales, así como de proteínas, aminoácidos y energía, lo que propicia un incremento en el crecimiento de los animales. Para que las fitasas sean eficientes en la nutrición animal, se deben tener en cuenta aspectos como: concentración de fitasa en la dieta, actividad fitasica vegetal de la dieta, cantidad de fósforo total y fítico de dieta y la relación Ca: P, es también importante considerar aspectos como el procesamiento de los granos en la fabricación de las dietas para cerdos.

## LITERATURA CITADA

- Adeola, O., B. V. Lawrence, A. L. Sutton y T. R. Cline, 1995. Phytase-induced changes in mineral utilization in zinc – supplemented diet for pig. *J. Animal. Sci.* 73: 3384 - 339.
- Adeola, O. And J. S. Sands. 2003. Does supplemental dietary microbial phytase improve amino acid utilization. A perspective that it does not. *J. Anim. Sci.*, 81 (E. Suppl. 2): 78-E85.
- Anonimo, 1998. Natuphos. The natural key to higher yields. Basf, Gistbrocades. BASF Aktiengesellschaft. Ludwigshafen, Germany.
- Anonimo, 2000. Bio- Fee Phytase. A new enzyme for animal feed. Novo Nordisk A/S, Denmark.
- Basf. 1997/1998. Sobre el tema de los aditivos para alimentación animal: informaciones técnicas. Edición 97/98. Basf química fina. Tecnología y calidad para la alimentación animal. 106 p.
- Barrier-Guillot, B., Casado, P., Maupetit, P., Jondreville, C., Gatel, F. (1996b) *J. Sci. Food Agric.* 70: 69-74.
- Beers. S. 1992. *IVVO-DLO Report No. 228. Cheah, K, S., Cheah, A, M. Y Krausgrill, D. I.* 1995. Avances En La Alimentación Del Ganado Porcino. I. Crecimiento Y Cebo. *Meat Sci.* 39:255-264.
- Biehl, R. R. y D.H. Baker. 1996. Efficacy of supplemental hydroxycholecalciferol and microbial phytase for young pigs fed phosphorus- or amino acid – deficient corn-soybean meal diets. *J. Anim. Sci.*, 74:2960-2966.
- Bouncore, V., E. Poerio, P. Silano y M. Tomasi., 1976. Physical and catalytic properties of alpha amylase from *Tenebrio molitor* L. larvae. *Biochem. J.* 153: 621-625.
- Buhler, M., J. Limper, A. Muller, G. Schwarz, O. Simon, M. Sommer y W Spring, 1998. Las enzimas en la nutrición animal. Arbeitsgemeinschaft für (AWT), Bonn, Alemania.
- Bruce, J. A.M. y F. Sundstl. 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.

Carlson, D. y H.D. Poulsen. 2003. Phytate degradation in soaked and fermented liquid feed effect of diet, time of soaking, heat treatment, phytase activity, pH and temperatura. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 103:141-154.

Chen, L. H. y S. H. Pan, 1997. Decrease of phytates during of pea seeds (*Pisum sativa*). *Nutr. Rep. int* 16: 125-131.

Cromwell, G. L., V. W. Hays, C.H. Chaney and J.R. Overfield. 1970. Effects of dietary phosphorus and calcium level on performance, bone mineralization and carcass characteristics of swine. *J. Anim. Sci.* 31: 519-525.

Cromwell, G. L., 1992. The feedstuffs for pigs. *Pig News and information.* 138 (2), 75N -78N.

Cromwell, G.L., R.D. Coffey, H.J. Monegue y J. H. Randdolph. 1995. Efficacy of low activity microbial phytase improving the bioavailability of phosphorus in soybean meal diets for pigs. *J. Anim. Sci.* 73, 449-456.

Coelho, M. y F. McNight, 1998. Phytase, amino acid, energy equivalencies examined. *Feedstuffs*, 70 (12):14, 15, 20, 21.

Czech, A. y E. R. Greta. 2004. Biochemical and haematological blood parameters of sows pregnancy and lactation fed diet with different source and activity of phytase. *Anim. Feed Sci. and technology*, Vol. 116(3-4):211-223.

Deshpande, S. S. y M. Cheryan. 1984. Effects of phytic acid, divalent cations, and their interactions on  $\alpha$ -amylase activity. *J. Food Sci.* 49:516-519.

Donayre, N, J.C. Jefe de Producción y desarrollo-química Suiza S.A. Cómo elegir Fitasa - Un nuevo enfoque dentro de la Formulación de Raciones S / F.

Düngelhoef, M., M. Rodehutschord, H. Spiekens y E. Pfeffer, 1994. Effects of supplemental microbial phytase on availability of phosphorus contained in maize, wheat and triticale to pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 49:1-10.

Düngelhoef, M. Y M. Rodehutschord. 1995. Effects of phytases on the digestibility of phosphorus in pigs. *Übers. Tierernährg* 23: pp 133- 157.

Graf, E. 1986. Chemistry and applications of phytic acid: An overview. En: *Phytic Acid Chemistry and Applications* (E. Graf, ed.), pp 1-21. Pilatus Press, Minneapolis, MN.

Geber, S., G. Bee, H. P. Pfirter y C. Wenk, 1998. Phytase and vitamin E in the feeds of growing pigs: 1 influence on growth, mineral digestibility and fatty acids in digesta. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 82:9- 19

Grandhi, R. R. 2000. Effect of supplemental phytase and ideal amino acid ratios in covered and hulless-barley-based diets on pigs performance and excretion of phosphorus and nitrogen in manure. *Canadian of Anim. Sci.* 80:115-124.

Grela, E, R. y W. Krassucki. 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.

Gibson, D, M, y A, B, J. Ullah, 1990.6. phytases and their action on phytic acid. En *Inositol Metabolism in plants* (D.J. Morre, W. F. Boss and F. A. Loewus, eds.),pp. 77- 92. Wiley -Lis. New York.

Godoy, S. Y F. Meschy. 2001. Utilization of phytate phosphorus by rumen bacteria en a semi-continuous culture system (Rusitec) in lactating goats fed on different forage to concentrate ratios. *Reprod. Nutr. Dev.* 41:259-265.

Harper, A. F., E.T. Kornegay y T. C. Schell, 1997b. Phytase supplementation of low-phosphorus growing-finishing pig diets improves performance, phosphorus digestibility, and bone mineralization and reduces phosphorus excretion. *J. Anim Sci.* 75:3174-3186.

Hu, H.L., a. Wise, A. y C. Henderson. 1996. Avances En La Alimentación Del Ganado Porcino. I. Crecimiento Y Cebo. *Nutr. Res.* 16: 781-787.

Johnston, S. L. y L. L. Southern. 2000. Effects of natuphos on bioavailability of energy and protein. *Proc. 47<sup>th</sup> Maryla y Nutr. Conf.*, pp 7- 21.

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

Jongbloed, A.W.1987. Phosphorus in the feeding of pigs. Effect of diet on the absorption of Phosphorus by growing pigs. Thesis, ivvo, Lelystad.

Jongbloed, A. W. y P. A. Kemme. 1990. Effect of pelleting mixed feeds on phytase activity and the apparent absorbability of phosphorus and calcium in pigs. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 28: 233- 242.

Jongbloed, A. W., P. A. Kemme y Z. Mroz. 1992. En: *Phytase in Animal Nutrition and Waste Management* (M. B. Coelho and E. T. Kornegay, eds.), pp. 393-400. BASF Corp., NJ. Citados por: Kornegay, E. T., 1999.

Jongbloed, A. W., y R. Jongbloed, 1996. The effect of organic acids in diets for growing pigs on enhancement of microbial phytase efficacy. Report IVVO-DLO dept. WP N<sup>o</sup> 96.009, Lelystad, paises bajos.

Jongbloed, A.W., P.A. Kemme, y Z. Mroz. 1996. Effectiveness of natuphos phytase in improving the bioavailabilities of phodphorus 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 H. M. Edwards, Jr., 1998. The analysis for inositol phosphate forms in feed ingredients. *J. Sci. Food Agric.* 76:1-9.

Kemme, P. A., A. W. Jongbloed, Z. Mroz y A. C. Beynen, 1997. The efficacy of *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., A.W. Jongbloed, Z. Mroz, Z. y A. C. Beynen. 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.

Kirchgessner, M. Y W. WINDISCH. 1995. Avances En La Alimentación Del Ganado Porcino. I. Crecimiento y Cebo. *Agribiol. Res.* 48: 309-318.

Kies, A. K.; Kemme, P.A.; Sebek, L.B.J.; Van Diepen, J. The. A AND Jongloed, A.W.2006. Effect of graded doses and a high dose of microbial phytate on the digestibility of various mineral in weaner pigs. *J. Anim. Sci.*, 84:1169-1175.

Kornegay, E. T., H. P. Veit, J. W. Knight, D. R. Notter, H, S. Bartlett, and B.F. Calabotta. 1983. Restricted energy intake and elevated calcium and phosphorus intake for boars during growth. II. Foot and legmeasurements and toe and soundness scores. *J. Anim. Sci.* 57: 1182-1199.

Kornegay, E. T. 1996. Nutritional, environmental, and economic considerations fousing phytase in pig and poultry. En: E. T. Kornegay (Ed.). Nutritional management of food animals to enhance and protect the environment. Lewis Publishers. pp. 277-301.

Kornegay, E. T., J. S. Radclifle y Z. Zang, 1998. BASF Tech. Symp., Carolina Swine Nutr. Conf., pp 125-155. Citados por Kornegay, E. T., 1999.

Kornegay, E. T. 1999. A review of phosphorus digestión and excretion as influenced by microbial phytase in poultry. Proc.1999 BASF Technical Symp, Atlanta, GA.

Kornegay, E.T. 1999. A review of phosphorus digestión and excretion as influenced by microbial phytase in poultry. Proc. 1999 BASF Technical Symp., Atlanta, GA.

Lantsch, H.J.; Wjst, S. Y Drochner, W.1995. The effect of dietary ptytase on the efficacy of microbial phytase in rations for growing pigs. *J. Anim. physiol. A. Anim. Nutr.*, 73: 19-26.

Lei, X. G., P. K. Ku, E. R. Miller y M. T. Yokoyama, 1993a. Supplementing corn-soybean-meal diets with microbial phytase linearly improves phytate phosphorus utilization by weanling pigs. *J. Anim. Sci.* 71: 3359-3367

Lei, X. G., P. K. Ku, E. R. Miller, M. T. Yokoyama y D. E. Ullrey. 1994. Calcium level affects the efficacy of supplemental microbial phytase in corn-soybean meal diets of weanling pigs. *J. Anim. Sci.* 72:139-143.

Lei, X. G. y J. Porres. 2003. Phytase enzymology, applicatios, and biotechnology. *Biotechnol. Lett.* 25:1787-1794.

Liao, S. F., A.K. Kies, W.C. Sauer, Y.C. Zhang, M. Cervantes y J.M. He. 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.

Maenz, D. D., C. M. Engele-Schaan, R. W. Newkirk y H. L. Classen, 1999. The effects of minerals and mineral chelators on the formation of phytase-resistant and phytase-susceptible forms of phytic acid in solution and in a slurry of canola meal. *Anim. Feed Sci. Technol.* 81: 177-192.

Mroz, Z., A.W. Jongbloed, y P.A. Kemme.1994. Apparent digestibility and retention of nutrients bound to phytase complexes as influenced by microbial phytase and feeding regime in pigs. *J. Anim. Sci.*, 72: 126-132.

Murry, A. C.; R. D. Lewis, y H. E. Amos. 1997. The effect of microbial phytase in a pearl millet-soybean meal diet on apparent digestibility and retention of nutrient, serum mineral concentration, and bone mineral density of nursery pigs. *J. Anim. Sci.*75: 1284-1291.

Officer, D. I. y E. S. Batterham, 1992. Enzyme supplementation of linseed meal. Wollongbar pig industry seminar, p. 56-57. Wollongbar, Australia. Citados por: Coelho y McNight, 1998.

Officer, D. I. y E. S. Batterham. 1993. Enzyme supplementation of linola meal for grower pigs. *Proc. Aust. Soc. Anim. Prod.* 19:288(Abstr.)

Pallauf, J., D. Höler y G. Rimbach 1992a. Effect einer Zulage and mikrobieller Phytase zu einer Maiz-Soja-Diät auf diet scheinbare Absorption von Mg, Fe, Cu, Mn and Zn sowie auf Parameter des Zinkstatus beim Ferkel. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 68: 1-9.feed ingredient Association.

Peo, E. R., Jr. 1976. Calcium in swine Nutrition. Wes Des Molines, IA: National 65 pp.

Pointillart, A. (1993) *First Symposium Feed Enzymes, Suiza*, pp. 192-197.  
Avances En La Alimentación Del Ganado Porcino. I. Crecimiento Y Cebo.

Quiles, A. y M.L. Hevia. (S/F). Empleo de fitasa en la explotación porcina. Departamento de producción animal. Facultad de veterinaria. Universidad de Murcia. España.

Quian, H., E. T. Kornegay y D.E. Conner, Jr., 1996. Adverse effect of wide calcium: phosphorus ratios on supplemental ptytase efficacy for weanling pigs fed two dietary phosphorus levels. *J, Anim. Sci.* 74:1288-1297.

Quian, H., E.T. Kornegay, y D.E. Conner. Jr. 1997. Avances En La Alimentación Del Ganado Porcino. I. Crecimiento Y Cebo. *J. Anim. Sci.* 74: 1288-129.

Radcliffe, J. S., E. T. Kornegay y D. E. Conner, 1995. The effect of ptytase on calcium release in weanling pigs fed corn- soybean meal diets. *J.Anim. Sci.* 73(Suppl.1): 173 (Abstr.).

Reddy, N. R., S. K. Sathe y D. K. Salunkhe, 1982. Phytates in legumes and cereals. *Adv. Food Res.* 28: 1-92.

Rhutherford, S. M., A. C. Edwards y P. H. Selle, 1997. Effect of phytase on lysine-rice pollard complexes. En: *Manipulating Pig Production VI* (P. D. Cranwell, ed.) p. 248. Australasian Pig Sci. Assoc., Australia.

Rodehutsord, M., 1998. The effect of phytase availability of phosphorus in different ingredients in swine. *Proc. BASF Technical Symposium*, pp. 32-45.  
Raleigh, N. C.

Schulz, E. y H.J. Oslage. 1972. Untersuchungen zur intestinal en Hydrolyse von Inositphosphorsaureester and zur Absorption von phytinphosphor beim Schwein; 2 Mitteilung Untersuchungen zur Hydrolyse der inositphosphosaureester im Verdauungstrakt bien Schwein. *Z. Tierphysiol. Tierernahg. U. Futtermittelkde.* 30 : 76- 91.

Sandberg. A .F., T. Larsen y B. Sandstrom. 1993. El Uso Simultaneo De Óxido De Zinc Y De Fitasas En Dietas Bajas En Fósforo Disminuye El Crecimiento Y La Salud De Los Lechones. *J. Nutr.*, 123: 559-566.

Shelton, J.L. F. M. Lemieux, L.L.Southern, y T.D. Bidner. 2005. Effect of microbial phytase addition with or without the trace minerals premix in nursery, growing and finishing pig diets. *J. Anim. Sic.*, 83: 376-385.

Simons, P.C. M., H.A. Versteegh y H. A. J. Jongbloed. 1990. Improvement of phosphorus availability by microbial ptytase in broilers and pigs. *Br. J. Nutr.* 64: 525-535.

Spring, P., K. E. Newman, C. Wenk, R. Messikommer y Vukic-Vranjes. 1996. Effect of pelleting temperature on the activity of different enzymes. Poultry Sci. 75:357-361.

Szkudelski, T., 1997. Phytic acid-its influence on organism. J. Anim. Feed Sci. 6: 427-438.

Stahl, C. H., M. Han, R. Roneker y X. G. Lei, 1998. Supplemental dietary phytase improves iron bioavailability to weanling pigs. J. Anim. Sci 76: (suppl.1): 178 (Abstr.).

Tamim, N. M., R. Angel y M. Christman. 2004. Influence of dietary calcium and phytase on phytate phosphorus hydrolysis in broiler chickens. Poultry Sci. 83:1358-1367

Thacker, P.A., Bell, J.M., Classen, H.L., Campbell, G.L. and Roosnagel, B.G. 1998. The nutritive value of hulless barley for swine. Anim. Feed Sci. Technol. 19:191-196.

Van der Klis, J. D. y H. A. J. Versteegh. 1996. Phosphorus nutrition of poultry. En: Recent Advances in Animal Nutrition 1996. (P. C. Garnsworth, J. Wiseman and W. Haresign, eds.), pp. 71-83. Nottingham.

Viveros, A., C., A. Centeno, R. Brenes, R. Canales, y A. Lozano. 2000. Phytase and acid phosphatase activities in plant feeds. J. Agric. food Chem., 48(9): 4009-4013.

Weigand, E. y M. Kirchgessner. 1987. Wachstum and Futterverwertung von Aufzuchtferkeln bei unterschiedlicher mineralischer Ergänzung des Futters. Zuchtungskunde. 59: 42-50.

Yi, Z. y E.T. Kornegay. 1996. Sites of phytase activity in the gastrointestinal tract of young pigs. Anim. Feed. Sci. technol., 61: 361-368.

Yi, Z., E. T. Kornegay y D. M. Denbow. 1996. Effect of microbial phytase on nitrogen and amino acid retention and nitrogen retention to turkey poult fed corn-soybean meal diets. Poultry Sci. 75:979-990.

Yoon, J., L. U. Thompson y J. A. Jenkins, 1983. The effect of phytic acid on the in vitro rate of starch digestion and blood glucose response. Amer. J. Clin. Nutr. 38: 835-842.

## LITERATURA DE INTERNET

Uso simultaneo de oxido de zinc y fitasa en dietas bajas en fosforo disminuye el crecimiento y la salud de los lechones.

[http://www.aidaitea.org/jornada37/3\\_nutricion/3\\_posteri/pi2\\_lizardo\\_fitajas2005.pdf](http://www.aidaitea.org/jornada37/3_nutricion/3_posteri/pi2_lizardo_fitajas2005.pdf)

Como elegir fitasa un nuevo enfoque dentro de la formulación de raciones.

<http://www.adiveter.com/ftp/articles/A3310807.pdf?PHPSESSID=2f37ecccc9913a376287f59c6b512719>

Fuentes. [www.engormix.com](http://www.engormix.com)

Avances en la alimentación del ganado porcino. F. J Piquer, Pfizer Salud Animal.

<http://www.etsia.upm.es/fedna/capitulos/97CAPIX I.pdf>.

Empleo de fitasa en Ganado porcino.

<http://www.edicionestecnicasreunidas.com/produccion/12-28.pdf>

Bases de la utilización de complejos enzimáticos en nutrición animal: estudio comparativo entre especies

<http://www.etsia.upm.es/fedna/capitulos/96capituloVII.pdf>

Utilización de enzimas exogenas en aves y porcinos

<http://comunidad.uach.mx/fsalvado/ENZIMAS-NO%20RUMIANTES.htm>