



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS Y
PECUARIAS
PROGRAMA EDUCATIVO DE INGENIERIA
AGRONÓMICA Y ZOOTECNIA

**CAMBIOS EN LA DISPONIBILIDAD DEL
FÓSFORO FÍTICO PARA AVES Y CERDOS
CAUSADOS POR LA FITASA: UNA REVISIÓN**

**TESIS PROFESIONAL
PARA OBTENER EL TÍTULO DE**

LICENCIADA EN INGENIERIA AGRONÓMICA Y
ZOOTECNIA

PRESENTA

GUADALUPE OSORIO GUERRERO

DIRECTOR DE TESIS

DR. MARCOS PÉREZ SATO

Tlatlauquitepec, Puebla, México, Abril 2021.



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS Y
PECUARIAS

PROGRAMA EDUCATIVO DE INGENIERÍA
AGRONÓMICA Y ZOOTECNIA

**CAMBIOS EN LA DISPONIBILIDAD DEL
FÓSFORO FÍTICO PARA AVES Y CERDOS
CAUSADOS POR LA FITASA: UNA REVISIÓN**

**TESIS PROFESIONAL
PARA OBTENER EL TÍTULO DE**

LICENCIADA EN INGENIERÍA AGRONÓMICA Y
ZOOTECNIA

PRESENTA

GUADALUPE OSORIO GUERRERO

DIRECTOR DE TESIS

DR. MARCOS PÉREZ SATO

CODIRECTOR

DR. EUTIQUIO SONI GUILLERMO

ASESOR

DR. EDGAR VALENCIA FRANCO

Tlatlauquitepec, Puebla, México, Abril 2021.

La presente tesis titulada: **Cambios en la disponibilidad de fósforo fítico para aves y cerdos causados por la fitasa: una revisión**, realizada por la alumna **Guadalupe Osorio Guerrero**, ha sido revisada y aprobada por el siguiente consejo particular, para obtener el título de:

LICENCIADA EN INGENIERIA AGRÓNOMICA Y ZOOTECNIA

Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias

CONSEJO PARTICULAR INTEGRADO POR:

Director. Dr. Marcos Pérez Sato

FIRMA


Codirector. Dr. Eutiquio Soni Guillermo



ASESOR. Dr. Edgar Valencia Franco



Tlatlauquitepec, Puebla, México, Abril 2021.

El presente trabajo forma parte del Cuerpo Académico denominado: "Producción Pecuaria Integral" y de la línea de investigación: Producción Integral de Rumiantes y No Rumiantes

AGRADECIMIENTOS

“Celebra tus propias victorias, porque nadie más entiende, lo que te costó alcanzarlas”

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla por haber aceptado que formara parte de su maravillosa casa de estudios, abrirme las puertas para lograr alcanzar una meta que con orgullo llevare y cuidare por el resto de mi vida.

A la facultad y programa educativo; que me permitió conocer y atesorar experiencias con grandes personas, amigos y compañeros, los cuales fueron parte importante de mi formación.

Al personal administrativo que permitió y ayudo con sus enseñanzas y experiencias a ser y desarrollar aptitudes que hoy en día son una parte fundamental del carácter personal, por su gran amistad y consejos.

Agradezco también a mi director Dr. Marcos y codirector de tesis Dr. Eutiquio por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimientos, así como también por haberme guiado y apoyado durante toda mi formación hasta poder culminar con mi carrera.

INDICE GENERAL

Contenido	Pagina
INDICE DE CUADROS	i
INDICE DE FIGURAS	ii
RESUMEN.....	iii
ABSTRAC	iv
I. INTRODUCCIÓN	1
II. Objetivos.....	2
III. Revisión de literatura.....	2
3. 1 Importancia del fósforo para aves y cerdos.....	2
3.2 Contenido de fósforo en ingredientes	3
3.3 Disponibilidad del fósforo para no rumiantes.....	3
3.4 Efecto de los fitatos en la disponibilidad de nutrientes y en producción.....	4
3.5 Cambios en la disponibilidad de nutrientes ocasionados por la fitasa	6
IV. Conclusiones	16
V. Literatura citada.....	16

INDICE DE CUADROS

Contenido	Página
Cuadro 1.- Porcentaje de fósforo total, fítico y disponible de algunos ingredientes de origen vegetal comúnmente empleados en dietas para aves.....	4
Cuadro 2. Contenido de fitasa intrínseca de algunos ingredientes vegetales.....	7
Cuadro 3. Cambios en la disponibilidad del fósforo en cerdos por efecto de la fitasa.	10
Cuadro 4. Efecto de la fitasa en la disponibilidad de fósforo (g) para los cerdos	11
Cuadro 5. Comportamiento productivo y cenizas en tibia de pollos de engorda a los 21 días de edad.....	12
Cuadro 6. Comportamiento productivo y cenizas en tibia de pollos de engorda a los 21 días por efecto de la fitasa y otros aditivos.....	13
Cuadro 7. Resultados de investigaciones con el uso de la enzima fitasa en gallinas ponedoras.	14
Cuadro 7.1 Comportamiento productivo de gallinas Leghorn blancas Hy line W36 de 40 a 64 semanas de edad con dietas bajas en fósforo, y utilizando la enzima fitasa.....	15

INDICE DE FIGURA

CONTENIDO	PÁGINA
Cuadro 1.- Porcentaje de fósforo total, fítico y disponible de algunos ingredientes de origen vegetal comúnmente empleados en dietas para aves.....	4
FIGURA 2. Forma de acción de la enzima fitasa para liberar el fósforo fítico.....	6
FIGURA 3. Efecto del pH en la eficiencia de dos tipos de fitasa para liberar el fósforo fítico.....	8
FIGURA 4. Cambios de pH en el tracto digestivo de las aves y lugar a donde actúa la fitasa.....	9

RESUMEN

El fósforo participa en el metabolismo de hidratos de carbono y grasas, en dietas de aves y cerdos representa un 2 % en el total de la ración siendo el tercer nutriente más caro después de energía y proteína. Una dieta con base de cereales y pasta oleaginosa puede aportar suficiente fósforo durante todas las etapas reproductivas de estos animales, sin embargo, este mineral es poco disponible para los no rumiantes aves y cerdos, por la presencia de elementos en forma de fitato, que es una sal de ácido fitico (miositol hexafosfato), la retención de este varía dependiendo del estado mineral y la vitamina D del animal. La fitasa es una enzima capaz de mejorar la nutrición animal, a través de la degradación del fitato, esta se encuentra presente en vegetales de forma abundante como lo son el trigo y centeno, las fitasas con un rango de pH mayor a 6 y cercano al 7, son más eficientes, que las que se encuentran en pH del 1 al 5; la fitasa exógena actúa en el tracto gastrointestinal de los no rumiantes, desdobra el enlace hidrolítico del fitato, en el caso de las aves la actividad de la enzima es en el buche y al inicio del duodeno en donde el pH es óptimo, en los cerdos solo actúa al inicio del duodeno. Se ha demostrado que la suplementación de fitasa microbiana mejora la utilización del fitato de fósforo y resulta en un mejor desempeño de aves y cerdos, particularmente cuando la dieta tiene niveles bajos de fósforo disponible.

Palabras clave: Fósforo, Fitato, Fitasa, Ácido fitico.

ABSTRACT

Phosphorus works in carbohydrates and fats metabolism, in poultry and pig diets it represent 2% of all total ration, being the third most expensive nutrient after energy and protein. A diet focused on cereals and oil paste can provide necessary phosphorus during all reproductive stages of these animals, however, this mineral is not available for non-ruminant poultry and pigs, due to the presence of elements in the form of phytate, which is a salt of phytic acid (myositol hexaphosphate), the retention of this varies depending on the mineral state and vitamin D of the animal. Phytase is an enzyme capable of improving animal nutrition, through the degradation of phytate, this is present in abundant vegetables such as wheat and rye, phytases with a pH range greater than 6 and close to 7, are more efficient than those found in pH 1 to 5; exogenous phytase, acts in the gastrointestinal tract of non-ruminants, splits the hydrolytic bond of phytate, in the case of birds the activity of the enzyme is in the duodenum where the pH is optimal, in pigs it only acts at the beginning of the duodenum. Microbial phytase supplementation has been shown to improve phosphorus phytate utilization and result in better performance of poultry and pigs, particularly when the diet has low levels of available phosphorus.

Key words: Phosphorus, Phytate, Phytase, Phytic acid.

I. INTRODUCCIÓN

En México, la formulación de dietas para no rumiantes se realiza principalmente con base en cereales y pastas oleaginosas. El sorgo, maíz, trigo y la pasta de soya son los más comunes, estos ingredientes además de ser fuente de energía y proteína aportan fósforo, pero entre 60 y 70% del total de éste se encuentra en forma de ácido fítico, compuesto que no se hidroliza por las enzimas endógenas de aves y cerdos (Maga, 1982). Nelson *et al.* (1968) señalan que sólo entre 30 y 40% del fósforo fítico es disponible. Por consiguiente, es necesario que las dietas de los no rumiantes sean complementadas con fuentes de fósforo inorgánico para satisfacer sus necesidades de fósforo, lo cual aumenta el costo de las dietas, la excreción de fósforo y por lo tanto se contamina el ambiente.

Los fitatos son compuestos polifosforilados que afectan la utilización de los nutrientes (Maga, 1982), principalmente el fósforo. Pero además puede reaccionar con el calcio, zinc, hierro y manganeso (Reinhold *et al.*, 1973) y con las cadenas radicales de las proteínas, creando un complejo proteína- fitato (Lázity, 1995).

La fitasa es una enzima capaz de hidrolizar los enlaces del fitato con otros nutrimentos, sin embargo, no se produce en cantidades suficientes por los animales y aunque puede estar presente en algunos ingredientes de manera natural o ser producida por los microorganismos del tracto digestivo, no logra revertir el efecto negativo de los fitatos o ácido fítico, manifestado como una deficiencia de fósforo en aves y cerdos. Por ello una opción para mejorar la disponibilidad del fósforo fítico es el empleo de fitasa microbiana, cuyo potencial para mejorar la disponibilidad del fósforo fítico se conoce desde hace tiempo, pero debido a que había poca disponibilidad y era muy costosa no se aplico de manera comercial, sino hasta principios de los 90's. De ese tiempo a la fecha se han realizado numerosas investigaciones para evaluar el efecto negativo de los fitatos y las bondades de la enzima fitasa endógena.

Por ello la presente revisión de literatura tiene como objetivo abordar el efecto de la fitasa en la disponibilidad del fósforo para aves y cerdos.

II. Objetivos

- ❖ Analizar el efecto de los fitatos en la disponibilidad de fósforo para no rumiantes.
- ❖ Discutir y analizar el impacto y la forma de acción de la fitasa para mejorar la disponibilidad del fósforo para aves y cerdos.

III. Revisión de literatura

3. 1 Importancia del fósforo para aves y cerdos

El fósforo está íntimamente asociado con el calcio por las funciones que realizan en el organismo animal y son requeridos, en gran parte, para la formación de los huesos y para una buena utilización del alimento; el fósforo contribuye con aproximadamente 1% del peso vivo del animal, y de esta cantidad 80% se encuentra combinado con el calcio de los huesos y el resto con todas las células del organismo; se necesita para la formación de fosfolípidos, que es una manera por la que los ácidos grasos son incorporados en las membranas de la célula y de los organelos (Cuca *et al.*, 1996).

El fósforo participa en el metabolismo de los hidratos de carbono y de las grasas; es constituyente de varios sistemas enzimáticos y forma parte de los ácidos nucleicos, que son componentes celulares esenciales para la síntesis de proteínas; y las sales formadas de fósforo permiten el mantenimiento del equilibrio ácido-básico (Scott *et al.*, 1973).

En la dieta para cerdos y pollos de engorda las fuentes de fósforo ocupan un 2% del volumen total de la ración y representan el 2% del costo de la ración, por ello se dice que el fósforo es el tercer nutrimento más caro después de la energía y la proteína (Vallardi *et al.*, 1999). En las gallinas en producción las necesidades de fósforo son menores que en animales en crecimiento y por ello las fuentes de fósforo inorgánico solo ocupan el 0.8% de la ración y participan con el 1% del costo total de la dieta.

3.2 Contenido de fósforo en ingredientes

La mayoría de los ingredientes de origen vegetal que se utilizan en la alimentación animal son una buena fuente de fósforo (Cuadro 1), ya que *en teoría*, si se elabora una dieta con base en cereales y una pasta de oleaginosa (por ejemplo Sorgo – Pasta de soya), la combinación de estos ingredientes en una inclusión de 60 y 20%, respectivamente, son suficientes para cubrir los requerimientos de las aves y los cerdos casi en todas sus etapas productivas, ya que la concentración de fósforo de estos ingredientes es de 0.3 y 0.6%, lo cual genera dietas con 0.3% de fósforo que son superior a las necesidades de las gallinas (0.25%) y suficientes para cerdos mayores de 20 kg (0.30%), para pollos en crecimiento estaría ligeramente por debajo del requerimiento para pollos menores de 21 días de edad (0.40%), pero como necesitan más proteína se incluyen más pasta de soya que es rica en fósforo (NRC, 1994; NRC, 1998).

3.3 Disponibilidad del fósforo para no rumiantes

A pesar de que las fuentes de origen vegetal son una fuente rica de fósforo, este mineral es poco disponible para los no rumiantes, de hecho, de forma general se habla de que sólo 2/3 del fósforo total es disponible (Cuca *et al.*, 1996; NRC, 1998). La baja disponibilidad del fósforo en ingredientes de origen vegetal, por la presencia de este elemento en forma de fitato (Cuadro 1), hace necesario recurrir a otras materias primas que proporcionen este mineral, estas son caras y provocan contaminación del suelo y agua, ya que se depositan en el lugar de almacenamiento de las excretas.

Algunas fuentes de fósforo son: fosfato dicálcico, fosfato mono-dicálcico, fosfato desfluorinado, fosfato de sodio, ácido fosfórico, harina de hueso y rocas fosfóricas (Cuca *et al.*, 1996). Las dos últimas casi descartadas por mala calidad y contenido de compuestos tóxicos.

Cuadro 1.- Porcentaje de fósforo total, fítico y disponible de algunos ingredientes de origen vegetal comúnmente empleados en dietas para aves.

Ingrediente	Fósforo (%)		
	Total	Fítico “No disponible”	No fítico “Disponible”
Maíz	0.28	0.19	0.09
Sorgo	0.27	0.19	0.08
Pasta de soya	0.63	0.38	0.25
Pulido de arroz	0.31	0.17	0.14
Salvado de arroz	1.34	1.03	0.31
Salvado de trigo	1.15	0.57	0.58
Gluten de maíz	0.87	0.47	0.40
P. de cacahuete	0.68	0.32	0.36
Papa	0.24	0.05	0.19
Avena	0.36	0.21	0.15

Fuente: Adaptado de Eeckhout y De Paepe (1994) y Ravindran et al. (1994).

3.4 Efecto de los fitatos en la disponibilidad de nutrientes y en producción

El fitato es una sal del ácido fítico (mio-inositol 1,2,3,4,5,6 Hexafosfato), que es una molécula de glucosa a la que se le unen seis grupos fosfatos (figura 1), a esta molécula están unidos, minerales (cationes), proteínas y/o almidones (Kies, 1996). El ácido fítico puede formar quelatos que interfieren en la absorción de ciertos cationes esenciales (Scott *et al.*, 1973) por lo que dietas altas en fitato son asociadas con la reducción de la biodisponibilidad del calcio, hierro, zinc, magnesio y manganeso (Gordon y Roland, 1998; Maenz y Classen, 1998).

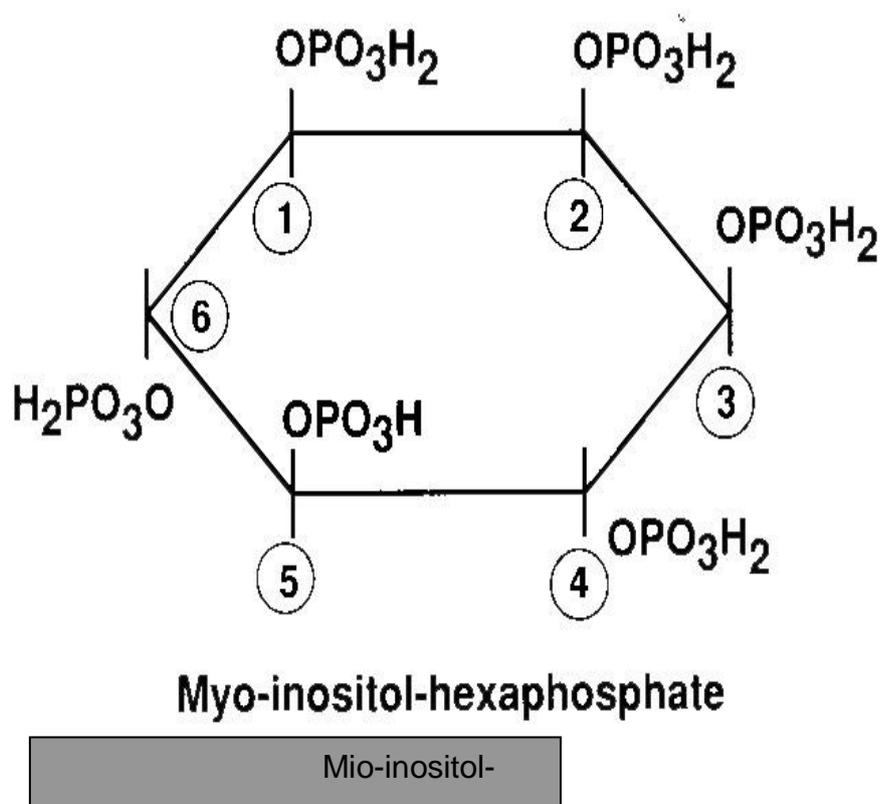


FIGURA 1. Estructura del fitato o ácido mioinositol en la naturaleza esta molécula se encuentra normalmente en la pared celular de las plantas (Kies,1996)

El fosfato se esterifica a cada uno de los seis grupos hidroxilo de un azúcar alcohólico hexacarbonado conocido como mio-inositol. El producto de esta esterificación se denomina ácido fitico, mientras que la liberación de iones H^+ de los grupos fosfatos permite a los iones Mg^{2+} , Ca^{2+} , Zn^{2+} y probablemente K^+ formar sales a las que en conjunto se les conoce como fitina o, en ocasiones, fitatos (Salisbury y Ross, 1994).

Las aves y los cerdos no son capaces de degradar el fitato (Patrik y Schaible, 1980; Kies, 1996), siendo este una fuente pobre de fósforo para este tipo de animales (Sooncharernying y Edwards, 1993) debido a la ausencia de enzimas endógenas fitasas (Frapin y Nys, 1994). La digestión y retención del fitato en la dieta varía dependiendo del estado mineral y de vitamina D del animal y de la forma en que se encuentre el fitato en los ingredientes (Maenz y Classen, 1998). Entre 50 y 70% del fósforo en los vegetales está en forma de esta molécula (NRC, 1994; Cuca *et al.*, 1996; Frapin y Nys, 1994; Kies, 1996).

3.5 Cambios en la disponibilidad de nutrientes ocasionados por la fitasa

Las fitasas (fosfatasas) son capaces de catalizar la hidrólisis de uno o más grupos de fitato (figura 2), está presente en gran cantidad de vegetales y microorganismos; se conocen dos principales tipos de fitasas: la 3-fitasa y la 6-fitasa, la primera es producida principalmente por hongos, levaduras y bacterias y la segunda normalmente se encuentra en plantas (Kies, 1996) como el trigo, arroz y cebada (BASF, 1998). Una de las cepas más utilizadas es *Aspergillus niger* y *A. ficcum* (Broz *et al.*, 1994; McKnight, 1996). En los rumiantes, los microorganismos del rumen también son capaces de producir la enzima fitasa (McDonald *et al.*, 1995; BASF, 1998).

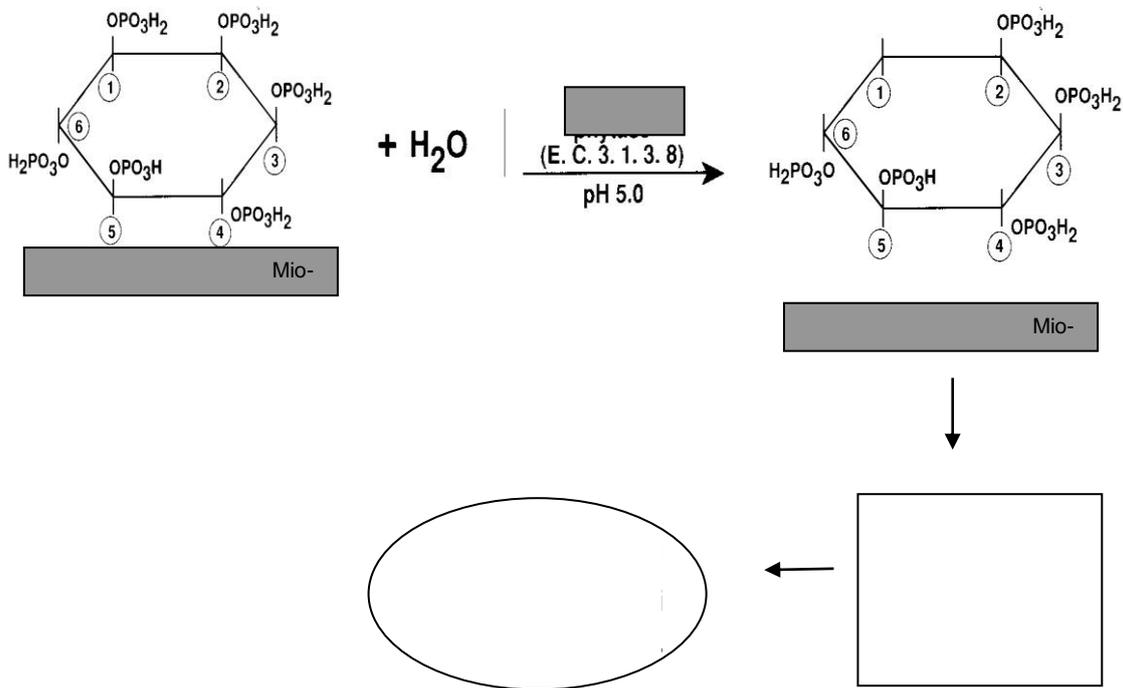


FIGURA 2. Forma de acción de la enzima fitasa para liberar el fósforo fítico.

La 6-fitasa son llamadas fitasa intrínseca, debido a que es la fitasa que de forma natural está presente en los vegetales, la cual es abundante y muy importante en ingredientes como el trigo, el centeno, pero muy limitada en el resto de los cereales (Cuadro 2). Además, estas fitasas son poco eficientes ya que su rango de pH de máxima acción es muy limitado y tiende a ser mejor en pH mayores a 6 y cercanos a 7.

Cuadro 2. Contenido de fitasa intrínseca de algunos ingredientes vegetales

Ingrediente	FTU/kg	Rango
Centeno	3456	1782 – 6128
Salvado trigo	2848	600 – 5208
Trigo	1118	300 – 2000
Cebada	529	200 – 882
Maíz	29	0 – 56
Sorgo	24	0 – 76
Pasta de soya	28	0 – 188

Fuente: (Lioa., 1992).

La producción de la fitasa por los microorganismos fue patentada desde el año 1967, pero para esa fecha las preparaciones enzimáticas eran costosas y poco disponibles. Más tarde llegaron a estar comercialmente disponibles bajo el nombre de “Natuphos®”, utilizando la biotecnología moderna para expresar el gen de la fitasa del *Aspergillus niger* y se inició la comercialización del producto microbiano, siendo la alianza de la BASF y de Gist-brocades el primer motor de este ingrediente importante de la alimentación (Beudeker, 1996).

Los ensayos animales utilizando la enzima demostraron, que la fitasa es efectiva en cerdos, así como en aves (Beudeker, 1996), por lo que, el efecto negativo del ácido fítico sobre el comportamiento animal es superado con el uso de la fitasa (Ravindran *et al.*, 1996).

Hay que tener presente que los resultados que se esperan son variados, ya que estamos hablando de enzimas, cuya acción está en función de una temperatura, pH, equilibrio ósmótico, entre otras condiciones para su óptimo desarrollo, y cada tipo de enzima necesita diferentes condiciones. Por ejemplo, recientemente Tamiz y colaboradores (2004) evaluaron la eficiencia de dos tipos de enzimas fitasas para liberar en ácido fítico y encontraron que la 3-fitasa tiene un rango de pH más reducido que la 6-fitasa, y demostraron la relación que existe entre los cambios de pH y la acción de la enzima (figura 3)

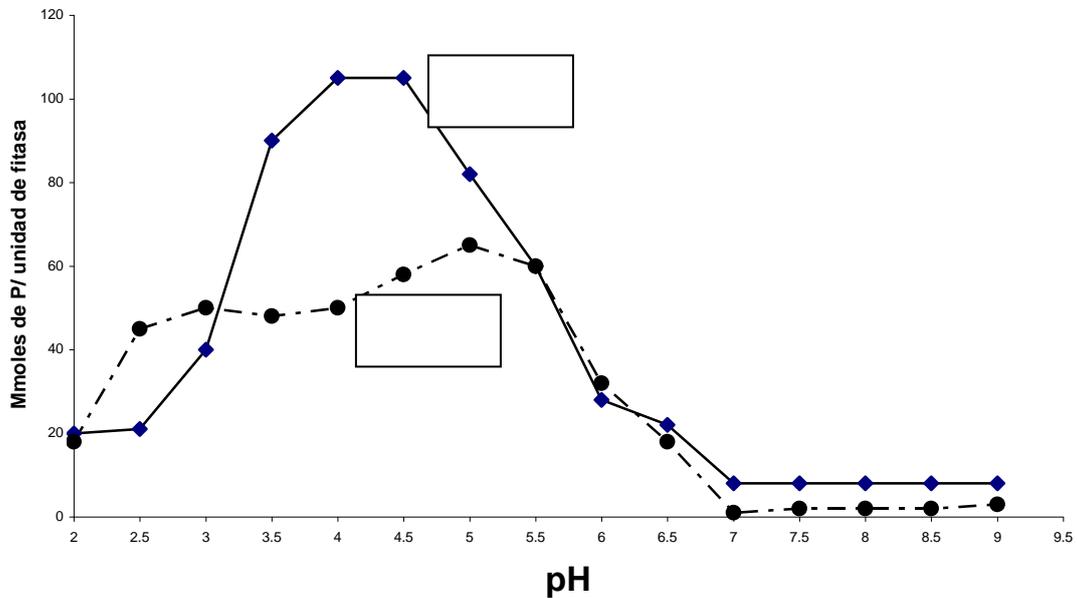


FIGURA 3. Efecto del pH en la eficiencia de dos tipos de fitasa para liberar el fósforo fítico.

Es importante mencionar que la fitasa exógena actúa en el tracto gastrointestinal de los no rumiantes y no en el alimento sin ingerir (Nelson *et al.*, 1971); la enzima desdobla el enlace hidrolítico de los ésteres de ácido fosforico o fitato liberando los ortofosfatos que si se pueden absorber (Heinzl, 1996; Kies, 1996). En el caso de las aves la actividad de la enzima es en el buche y parte inicial del duodeno, que es donde

el pH es óptimo para la fitasa (figura 4), mientras que en los cerdos actúa sólo al inicio del duodeno.

La actividad de la fitasa se expresa como FTU, que es la cantidad de la enzima fitasa que genera un micromol de fósforo inorgánico por minuto en 0.0051 mol/l de fitato de sodio en un pH de 5.5 y 37 °C (Parr, 1996).

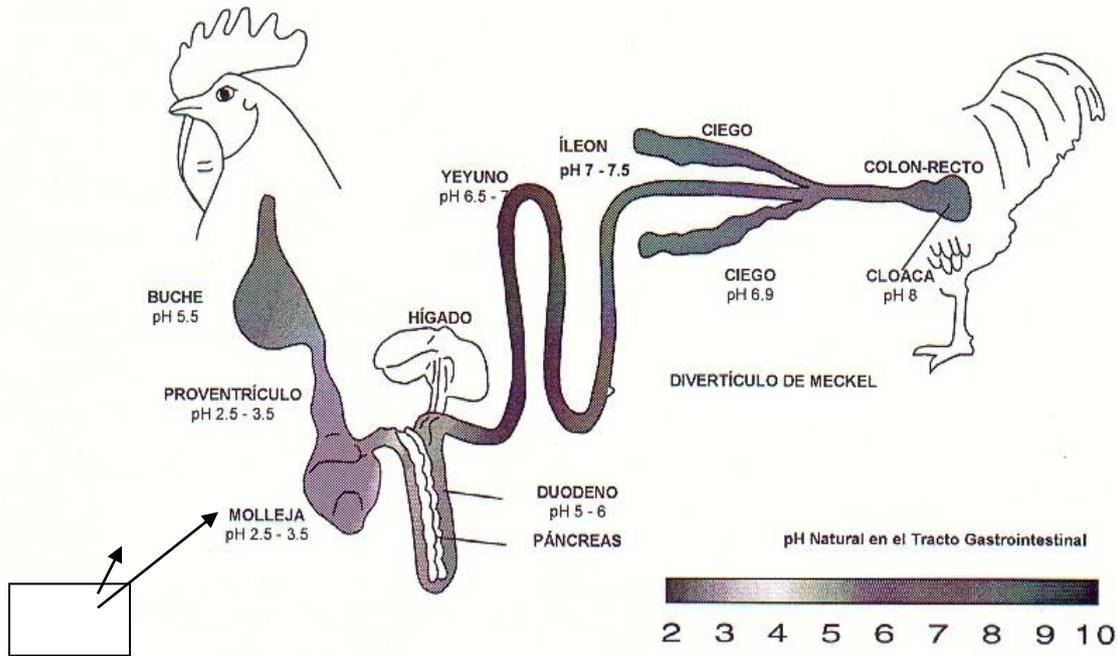


FIGURA 4. Cambios de pH en el tracto digestivo de las aves y lugar a donde actúa la fitasa.

Numerosos estudios han demostrado que la suplementación de fitasa microbiana mejora la utilización del fitato de fósforo y resulta en un mejor desempeño de aves y cerdos, particularmente cuando la dieta tiene niveles bajos de fósforo disponible (Gordon y Roland, 1998; Boling *et al.*, 2000; Sauer *et al.*, 2003).

En cerdos se ha demostrado que los fitatos afectan negativamente el comportamiento productivo de los cerdos, debido a que se presenta una deficiencia de fósforo, por ello cuando se aplica la fitasa exógena se mejora la ganancia de peso y la

conversión alimenticia, asociado a que se corrigen las deficiencias de fósforo cuando no se agrega fósforo inorgánico (Cromwell et al., 1992).

Las mejoras en producción se deben a que la enzima fitasa a una dosis de 500 a 1000 FTU mejoran la disponibilidad del fósforo en 20 a 30% (Cuadro 3). Lo cual se corroboró, recientemente, cuando se encontró una mayor absorción y retención del fósforo por efecto de la enzima fitasa (Cuadro 4).

Cuadro 3. Cambios en la disponibilidad del fósforo en cerdos por efecto de la fitasa.

	Disponibilidad del fósforo	% incremento por la fitasa
Metatarso		
Fitasa 0	15	
Fitasa 500	35	24
Fitasa 1000	43	33
Fémur		
Fitasa 0	15	
Fitasa 500	34	22
Fitasa 1000	42	35

(Cromwell et al., 1993).

Otros beneficios de la aplicación de la fitasa en cerdos, aunque menos consistentes, son: se incrementa la digestibilidad aparente de los aminoácidos 1-2%, principalmente los básicos, se incrementa la disponibilidad de Mg, Cu, Fe y Zn y se incrementa la disponibilidad de calcio de 6 a 8% (Liao *et al.*, 2002; Sauer *et al.*, 2003; Liao., 2004).

Cuadro 4. Efecto de la fitasa en la disponibilidad de fósforo (g) para los cerdos

	Sin fitasa	Con fitasa
Consumo	7.3	7.7
Excreción heces	3.3	3.2
Excreción orina	0.0877	0.100
Absorbido	4.0b	4.5 ^a
Retenido	3.9b	4.4 ^a
Digestibilidad	52.5b	61.0a

Fuente (Sauer et al., 2003).

Investigaciones hechas con pollos de engorda por Frapin y Nys (1994) reportaron que la reducción de la ingestión de fósforo inorgánico y la adición de la fitasa microbiana a la dieta mejoró la digestibilidad del fósforo. Esto produjo una disminución del 40 y 50% en la excreción de este mineral en las dietas que contenían 0.55 y 0.47% fósforo total, respectivamente.

Aunque la fitasa sintética puede también mejorar la digestión de otros nutrientes en la dieta, tales como el nitrógeno y los aminoácidos (Yi *et al.*, 1996), los resultados han sido variados y poco consistentes. Además en cuanto a su efecto benéfico en pollos de engorda se ha encontrado que funciona cuando los niveles de fósforo disponible son bajos, y tiene un menor efecto en dietas que cubren las necesidades de fósforo disponible (Cuadro 5).

Cuadro 5. Comportamiento productivo y cenizas en tibia de pollos de engorda a los 21 días de edad.

Fósforo	CAL, g	GP, g	CA	Cenizas, %
0.12-	386e	131d	2.74a	29.7e
0.12+	529d	285c	1.82b	36.6d
0.25-	705c	446b	1.53c	42.1c
0.25+	761c	516ab	1.50c	48.9b
0.35-	840b	518ab	1.67bc	48.6b
0.35+	866ab	539a	1.60bc	52.1 ^a
0.45-	891ab	585a	1.49c	52.0a
0.45+	906a	569a	1.49c	53.3 ^a

CAL: consumo de alimento; GP: ganancia de peso; CA: conversión alimenticia: + 600 FTU de fitasa. Literales indican diferencias ($P < 0.05$) (Cuca et al., 2003).

Las mejoras en ganancia de peso de los pollos se deben a que se deposita más fósforo en el hueso, ya que se mejora su disponibilidad intestinal, logrando corregir las deficiencias de fósforo en dietas sin fósforo inorgánico y logrando una producción muy similar a dietas que tienen fósforo inorgánico, además se ha encontrado un efecto aditivo con compuestos que favorecen condiciones más adecuadas para la acción de la enzima, como son los ácidos orgánicos y con la vitamina D3 que favorece su absorción (Cuadro 6).

Cuadro 6. Comportamiento productivo y cenizas en tibia de pollos de engorda a los 21 días por efecto de la fitasa y otros aditivos.

Tratamiento	GP, g	CAL, g	Fósforo mg/tibia	Mejora Pd
0.13Pd	242	410	288	
Fitasa	281	442	313	0.03
F+Ac	329	526	392	0.04
F+Ac+D	351	541	519	0.12
0.30 Pd	362	538	545	

CAL: consumo de alimento; GP: ganancia de peso; Tra: tratamiento; F: fitasa 300 FTU; Ac: ácido cítrico; D: vitamina D3 5 Mg (Snow et al., 2004).

En gallinas de postura se encontró que con dietas de maíz-soya no suplementadas con fósforo (0.10% Pd) más 300 FTU de fitasa/kg de alimento a largo plazo son adecuados para gallinas de 20 a 70 semanas de edad (Boling *et al.*, 2000). La adición de fitasa microbiana a las dietas basadas en cereales mejora la utilización del fósforo y reduce la excreción de fosfato (Simons *et al.*, 1990). Scott *et al.*, (1999) realizaron un experimento en el que probaron dos niveles de fósforo disponible (Pd) 0.2 y 0.4 %, tres niveles de fitasa 0, 250 y 500 (FTU)/kg de alimento en dietas a base de maíz-pasta de soya, encontrando que en periodo antes de la semana 55, cualquier nivel de Pd eran igualmente adecuados para una producción máxima. Sin embargo, cuando los niveles más bajos de Pd se administraron después de ese tiempo, se asocio con un peso reducido y una disminución en la producción de huevo y la suplementación de enzimas pudo compensar el Pd bajo. En este periodo, el Pd alto, y el nivel más alto de fitasa produjeron efectos negativos en el peso del ave, peso del huevo y la conversión alimenticia. La enzima fitasa puede compensar los niveles bajos de fósforo disponible en dietas basadas en maíz y soya.

Cuadro 7. Resultados de investigaciones con el uso de la enzima fitasa en gallinas ponedoras.

Autor	Tipo de gallina	Edad (semanas)	Nivel de Fitasa (FTU/kg)	Tipo de dieta	Consumo de alimento (g/ave/día)	Efecto de la fitasa
Gordon y Roland, 1997	Hy-Line® W-36	21	300	M-PS	82.5	- Mejora el consumo de alimento y la producción de huevo y aumenta la gravedad específica. - Reducción del 25% en la excreción de fitato de fósforo.
Gordon y Roland, 1998	Hy-Line® W-36	58	300	M-PS	91.3	- Incrementa consumo de alimento, peso corporal y contenido mineral en hueso. - Mejora la calidad del cascaron y peso del huevo.
Um y Paik, 1999	ISA Brown®	21 – 40	500	M-PS	113.7	- No hay mejora en producción, peso de huevo y retención del fósforo. - Mayor consumo de alimento, aumento de la mortalidad y menor gravedad específica. - Reduce 50% la excreción del fósforo.
Boling al., 2000	Dekalb Delta	20 – 60	100 - 300	M-PS	-----	- Mejor utilización del fósforo en dietas M-PS. - Reducción de la excreta de fósforo en 50%.
Vallardi et al., 2002	Hy-Line® W-36	36 - 64	600	S-PS	-----	- Mejoro conversión alimenticia, porcentaje de postura y grosor de cascaron
Lim y Paik, 2003	ISA Brown®	21 - 41	300	M-PS	114.25	- Aumenta producción de huevo, conversión alimenticia. - No hay mejora en producción, en peso y gravedad específica del huevo.

M-PS = Dieta a base de maíz y pasta de soya. S-PS= Dieta a base de sorgo y pasta de soya.

En el cuadro 7 se presenta un resumen de los efectos que se han encontrado de la fitasa en gallinas en postura. Los resultados parecen ser consistentes en cuanto a que la fitasa corrige las deficiencias de fósforo.

Recientemente se realizó un experimento en gallinas en las que se probó una dieta sin fósforo inorgánico, que provocó una deficiencia de fósforo, que se caracterizó por un menor consumo de alimento y como consecuencia una menor producción de huevo. La menor masa se debió a una disminución en el peso del huevo. Sin embargo, cuando la dieta deficiente en fósforo (0.11 de fósforo disponible) se adicionó con 600 FTU de fitasa se corrigen las deficiencias de fósforo y la producción de huevo es similar a la de gallinas con 0.25% de fósforo disponible, que es el que recomienda el NRC (1994), como se puede apreciar en el Cuadro 8.

Cuadro 7.1 Comportamiento productivo de gallinas Leghorn blancas Hy line W36 de 40 a 64 semanas de edad con dietas bajas en fósforo, y utilizando la enzima fitasa.

Nivel de fósforo (%)	Masa de huevo (g/ave/día)	Consumo de alimento (g)	Conversión alimenticia
0.11	44.2b	94.7b	2.22
0.11+ fitasa	48.2a	101.9 ^a	2.17
0.157	48.4a	97.9ab	2.08
0.204	48.5a	98.3 ^a	2.06
0.251	48.5a	99.6 ^a	2.10
Nivel de fósforo (%)	Postura de huevo (%)	Peso individual del huevo (g)	Gravedad específica
0.11	73.2	58.9b	1.081
0.11+ fitasa	75.6	62.5 ^a	1.082
0.157	75.3	61.7 ^a	1.082
0.204	76.0	62.1 ^a	1.082
0.251	74.9	62.8 ^a	1.081

a,b, c indican diferencias (P<0.05) (Valdés et al., 2004)

IV. Conclusiones

- Los fitatos afectan negativamente la disponibilidad de fósforo.
- La adición de fitasa a dietas para aves y cerdos mejora de forma consistente la disponibilidad biológica de fósforo, y en menor grado de otros minerales.
- Se debe conocer el mecanismo de acción y el tipo de fitasa que se utilice para obtener mejores resultados.
- La fitasa es más eficiente cuando los niveles de fósforo son bajos.

V. Literatura citada

- BASF Corp., 1998. Protein and energy effect of phytase amino acid and energy least cost matrix values in poultry: in *Keeping Current*, 3rd edition. BASF Corp., Mount Olive, NJ. pp. 1-18.
- Beudeker F. R. 1996. Enzymes in the Feed Industry: A Historic Overview. Food Specialties Division, Agri. Ingredients Group, Gist-brocades B. V., Delft, The Netherlands. BASF. pp. 191-196.
- Boling S. D, Douglas M. W., Shirley R. B., Parson C. M. , Koelkebeck K. W. 2000. The effects of various dietary levels of phytase and available phosphorus on performance of laying hens. Department of Animal Science. University of Illinois, Urbana 61801, USA. *Poultry Science*. 79(2):224-230.
- Broz J., P. Oldale, A.H. Perin-Voltz, G. Rycheb, J. Schulze and C. Simoes Nunes. 1994. Effects of supplemental phytase on performance and phosphorus utilization in broiler chicken fed a low phosphorus diet with addition of inorganic phosphates. *British Poultry Science*. 35:273-278.
- Cromwell, G. L . 1992. The biological availability of phosphorous in feedstuffs for pigs. *Pig News and Information*. 13 (2), 75N -78N.
- Cromwell, G. L , R. D. Coffey, H. J. Monegue and J. H. Randolph. 1995. Efficacy of low activity microbial phytase in improving the bioavailability of phosphorous in corn-soybean meal diets for pigs. *J. Anim. Sci*. 73: 449 – 456.

- Cuca., G. M., E. Ávila G. y A. Pro M. 1996. Alimentación de las aves. Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo. Edo. de México. pp. 54-56, 99, 132, 134. P 154.
- Cuca, G. M., G. R. De la Rosa, A. Pro y J. Baeza. 2003. Disponibilidad del fósforo de la pasta de soya y sorgo- gluten de maíz, adicionadas con fitasa en pollos de engorda en iniciación. *Téc. Pec. Méx.* 41 (3): 295 -306.
- Eeckhout, W. and De Paepe M. 1994. Total phosphorus, phytate-phosphorus and phytase activity in plant feedstuffs. *Animal Feed Science and Technology.* 47:19-29.
- Frapin, D., and Y. Nys, 1994. Growth performance and phosphorus excretion of broiler chicks supplemented with microbial phytase. *Proc. 9th European Poult. Conf., Glasgow, UK* 1:459-460.
- Gordon R. W. and Roland D. A. 1997. Performance of Commercial Laying Hens Fed Various Phosphorus Levels, With and Without Supplemental Phytase. *Poultry Science* 76:1172-1177.
- Gordon R. W. and Roland D. A. 1998. Influence of Supplemental Phytase on Calcium and Phosphorus Utilization in Laying Hens. *Poultry Science* 77:290-294.
- Heinzl W. 1996. Technical specifications of Natuphos®. pp. 21-36. *In: memorias del BASF Symposium: Phosphorus and calcium management in layers.* Atlanta, Georgia, USA.
- Kies K. 1996. Phytase – Mode of Action. Food Specialties Division, Agri Ingredients Group, Gist-brocades, B.V., Delft, The Netherlands. BASF. pp. 205-212.
- Láztity, R. and L. Láztity. 1995. Phytic acid in cereal technology. *In: Advances in cereal science and technology.* American Association of cereal chemistries pp. 309 – 372.
- Liao, S. F., W. C. Sauer and A. K. Kies. 2002. Supplementation of microbial phytase to swine diets: effects on utilization of nutrients. *In: Food Science and Products Technology,* Kerala, India. Pp 199 – 227.
- Lim H.S., Namkung H. and Paik I. K. 2003. Effects of phytase supplementation on the performance, egg quality, and phosphorous excretion of laying hens fed different levels of dietary calcium and nonphytate phosphorous. *Poultry Science.* Jan 82(1):71-91.

- Maga, J. A. 1982. Phytase: Its chemistry, occurrence, food interactions, nutritional significance, and methods of analysis. *J. Agr. Food Chem.* 30: 1 – 9.
- Maenz D. D and Classen H. L. 1998. Phytase Activity in the Small Intestinal Brush Border Membrane of the Chicken. *Poultry Science.* 77:557-563.
- MacDonald P., Edwards R. A., Greenhalgh J. F. D. y Morgan C. A. 1995. *Nutrición animal.* 5ª Edición, Editorial Acribia, S.A. Zaragoza, España. pp 94-96, 140-144. P576.
- McKnigh, W.F. 1996. Phytase technical specifications and properties. pp. 1-14. *In: BASF Technical Symposium: Use of Natuphos® phytase in poultry nutrition and waste management.* USA.
- National Research Council (NRC). 1994. *Nutrient Requirements of Domestic Animals. Nutrients Requirements of Poultry.* Ninth Revised Edition. National Academy Press. Washington, D. C. USA. pp 155.
- National Research Council (NRC). 1998. *Nutrient Requirements of Domestic Animals. Nutrients Requirements of Swine.* Tenth Revised Edition. National Academy Press. Washington, D. C. USA. pp 189.
- Nelson TS, L. W. Ferrara and N. L. Storer. 1968. Phytate Phosphorus content of feed ingredients derived from plants. *Poult. Sci.* 47:1372-1374.
- Nelson, T.S., T.R. Shieh, R.J. Wodzinski and J.H. Ware. 1971. Effect of supplemental phytase on the utilization of phytase phosphorus by chicks. *Journal of Nutrition.* 101:1289-1294.
- Parr J. 1996. *Practical Feed Formulation and Return on Investment with Natuphos Phytase for Layers.* Animal Nutrition Department, BASF. Georgetown, Ontario, Canada. pp. 589-595.
- Patrik H., Schaible P. J. 1980. *Poultry: Feeds and Nutrition.* Second Edition. Avi Publishing Company, Inc. Westport Connecticut. pp 238. P 668.
- Perney KM, Cantor AH, Straw ML and Herkelman KL. The effect of dietary phytase on growth performance and phosphorus utilization of broiler chicks. *Poult Sci.* 1993, 72:2106-2114.
- Ravindran, V., G. Ravindran and S. Sivalogan. 1994. Total and phytase phosphorus contents of various foods and feedstuffs of plant origin. *Food Chemistry.* 50:133-136.

- Ravindran, V., D.J. Cadogan, M. Cabahug, W. Bryden and P.H. Selle. 1996. pp 93-99.
In: A BASF Reference Manual 1996: Phytase in Animal Nutrition and Waste Management. Edited by Michael B. Coelho and E.T. Kornegay.
- Salisbury F. B., Ross C. W. 1994. *Fisiología Vegetal.* Editorial Iberoamericana. pp 333, 334. P 759.
- Sauer, C. W. M. Cervantes, J. M. He and H. Schuize. 2003. Effect of phytase supplementation to barley-canola meal and –soybean meal diets on phosphorous and calcium balance in growing pigs. *J. Anim. Feed Sci.*
- Scott M. L., Nesheim M. C., Young R. J. 1973. *Alimentación de las aves.* Ediciones GEA. pp. 273. P 507.
- Sooncharernying S. and Edwards H. M. Jr. 1993. Phytate Content of Excreta and Phytate Retention in the Gastrointestinal Tract of Young Chickens. *Poultry Science* 72:1906-1916
- Snow, J. L., M. W. Douglas and C. M. Parsons. 2003. Phytase effects on amino acid digestibility in molted laying hens. *Poult. Sci.* 82: 474- 477.
- Tamim, N. M., R. Angel and M. Chrisman. 2004. Influence of dietary calcium and phytase on phytate phosphorous hydrolysis in broiler chickens. *Poult. Sci.* 83: 1358 – 1367.
- Um J. S. and Paik I. K. 1999. Effects of Microbial Phytase Supplementation on Egg Production, Eggshell Quality, and Mineral Retention of Laying Hens Fed Different Levels of Phosphorus. *Poultry Science.* 78:75-79.
- Valdés-Narváez V., A. Hernández-Arguello, O. Martínez-Valencia, L. Reyna-Santamaría y M. Cuca-García. 2004. Producción de huevo y calidad del cascarón en gallinas alimentadas con dietas bajas en fósforo disponible y con la enzima fitasa En prensa.
- Vallardi G. M., Morales L. R., Ávila G. E. 2002. Efecto de la adición de fitasa como fuente de fósforo inorgánico en dietas para gallinas de postura. *Técnica Pecuaria. México.* 40(2):181-186.
- Yi, Z., E.T. Kornegay and D.M. Denbow, 1996. Effect of microbial phytase on nitrogen and amino acid digestibilities and nitrogen retention of turkey poults fed corn-soybean meal diets. *Poultry Science.* 75:979-990.