

Scholar@UPRM

Efecto de la suplementación de fitasa a dietas con niveles reducidos de fósforo disponible sobre el desempeño productivo, contenido fecal de minerales y contenido de ceniza del hueso de pollos para engorda

Item Type	Thesis
Authors	Argüelles Ramos, Mireille
Download date	2026-03-09 18:53:14
Link to Item	https://hdl.handle.net/20.500.11801/3770

**EFFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN DE FITASA A DIETAS CON
NIVELES REDUCIDOS DE FÓSFORO DISPONIBLE SOBRE EL
DESEMPEÑO PRODUCTIVO, CONTENIDO FECAL DE MINERALES Y
CONTENIDO DE CENIZA DEL HUESO DE POLLOS PARA ENGORDA**

Por

Mireille Argüelles Ramos

Tesis sometida en cumplimiento parcial
de los requisitos para el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS

en

Industria Pecuaria

UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO
RECINTO UNIVERSITARIO DE MAYAGÜEZ
2005

Aprobado por:

Abner A. Rodríguez Carías, Ph.D.
Miembro, Comité Graduado

Fecha

Melvin Pagán Morales, Ph.D.
Miembro, Comité Graduado

Fecha

Héctor L. Santiago Anadón, Ph.D.
Presidente, Comité Graduado

Fecha

Camilo Almeyda Domenech, M.S.
Representante de Estudios Graduados

Fecha

José R. Latorre Acevedo, Ph.D.
Director del Departamento

Fecha

**EFFECTS OF PHYTASE SUPPLEMENTATION TO DIETS WITH
REDUCED AVAILABLE PHOSPHORUS ON PERFORMANCE, MINERAL
FECAL CONTENT, AND BONE ASH OF BROILERS**

ABSTRACT

MIREILLE ARGÜELLES RAMOS

Phosphorus (P) is an essential mineral for growth and development of broiler chickens. The availability of P and other essential minerals in broiler diets is limited by phytic acid, resulting in an excess of mineral excretion. The addition of phytase enzyme increases the availability of P and other minerals in corn-soybean meal based diets. An experiment was conducted to determine the effects of graded levels of phytase supplementation to diets with decreased available phosphorus (AP) contents relative to NRC requirements, on performance, carcass traits, tibia ash, and mineral fecal content of broilers. Six hundred chicks were fed with one of ten dietary treatments that consisted of: a control (NRC AP), and 9 diets with a 3 x 3 factorial arrangement combining 300, 600, and 900 units of phytase per kilogram of feed (FTU/kg) and AP reductions of 0.05, 0.10, and 0.15% from NRC requirements in each of the starter (1-21 d), grower (22-35 d), and finisher (36-49 d) diets. At 21, 28, 35, 42, and 49 d of age, two birds per replicate were wing banded, placed in metabolic cages, and used for determination of mineral fecal content of P, Ca, Mg, and Zn. Feed intake (FI), bodyweight (BW), BW gain (BWG), and feed conversion (FC) were determined. At 49 d, a total of 200 birds (20 per treatment) were processed and carcass traits recorded. The right tibia of each carcass was excised and used for bone ash determination.

No significant differences were observed among treatments in FI, nor in BWG up to 35 d. During the finisher phase, control birds had BWG similar to that of birds supplemented with phytase. However, birds fed diets containing 300 and 900 FTU/kg had higher BWG than those fed 600 FTU/kg. All treatments resulted in similar BW in the starter and finisher phases. However, in the growing period birds fed diets containing a 0.05% AP reduction and 300 FTU/kg were significantly heavier than those fed diets with 300 or 600 FTU/kg and a 0.15 and 0.10% AP reduction, respectively. From 22 to 35 d, broilers fed diets with reductions of 0.05 and 0.10% AP and 600 FTU/kg had significantly better FC than controls. Whereas from 36 to 49 d, birds receiving diets with a 0.10% AP reduction and 900 FTU/kg had better FC than controls. No differences among treatments were observed in the weight and percentage yield of major cuts and excised muscles. Carcass yield was significantly higher in birds fed diets with a 0.10% AP reduction and 600 FTU/kg than in those under the 0.15% AP reduction and 300 FTU/kg treatment.

Tibia ash content was similar for all treatments imposed, averaging 36.2%. Fecal P concentration was significantly greater in birds fed control diets than in those fed diets with reduced AP and supplemented with phytase. However, the fecal P concentration was observed to decrease significantly in a linear fashion as dietary AP decreased regardless of phytase level. No differences in fecal content of Mg and Zn were observed among treatments. There was a significant and concomitant increase in fecal Ca concentration as the dietary AP decreased, which can be attributed to increases in the Ca:P ratio resulting from the reduction in dietary AP. There was a significant quartic response in fecal concentration of all minerals with age. The

results suggest that diets formulated to contain 0.15% AP less than NRC recommendations and with addition of 300 FTU/kg significantly reduce mineral excretion without compromising bone integrity.

EFFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN DE FITASA A DIETAS CON NIVELES REDUCIDOS DE FÓSFORO DISPONIBLE SOBRE EL DESEMPEÑO PRODUCTIVO, CONTENIDO FECAL DE MINERALES Y CONTENIDO DE CENIZA DEL HUESO DE POLLOS PARA ENGORDA

RESUMEN

MIREILLE ARGÜELLES RAMOS

El fósforo (P) es un mineral esencial para el crecimiento y desarrollo de pollos para engorda. La disponibilidad del mismo y de otros minerales esenciales en dietas de pollos para engorda son limitados por el ácido fítico, resultando en una excesiva excreción de estos minerales. La adición de fitasa aumenta la disponibilidad de P y algunos otros minerales en dietas formuladas a base de maíz y harina de soya. Se realizó un experimento con el propósito de determinar el efecto de la inclusión de diferentes niveles de fitasa a dietas con reducción de fósforo disponible (RPD), relativo a los requerimientos del NRC, sobre el desempeño productivo, las características de la canal, el contenido de ceniza de la tibia y el contenido fecal de minerales. Un total de 600 aves de 1 d de edad fueron alimentadas con una de 10 dietas experimentales que consistieron en: un control (PD recomendado por el NRC), y 9 dietas en un diseño factorial 3 x 3, combinando 300, 600 y 900 unidades de fitasa por kilogramo de alimento (FTU/kg) y RPD debajo de lo recomendado por NRC en 0.05, 0.10, y 0.15% en las fases de inicio (1-21 d), crecimiento (22-35 d) y terminación (36-49 d). El consumo de alimento (CA), peso corporal (PC), ganancia en PC (GPC) y la conversión alimenticia ajustada (CAA) fueron determinados. A los 21, 28, 35, 42 y 49 d, dos aves por replicación fueron identificadas y colocadas en jaulas metabólicas para determinar el contenido fecal de P, Ca, Mg y Zn. A los 49 d,

un total de 200 aves (20 por tratamiento) fueron procesadas y las características de la canal evaluadas. La tibia derecha de cada canal fue extraída y utilizada para la determinación de porcentaje de ceniza del hueso.

No se observaron diferencias significativas en el CA entre tratamientos. Tampoco se observaron diferencias en la GPC hasta los 35 d. Durante la fase de terminación, el grupo control obtuvo una GPC similar a las aves suplementadas con fitasa, pero las aves suplementadas con 300 y 900 FTU/kg obtuvieron una mayor GPC que aquellas suplementadas con 600 FTU/kg. En el periodo de crecimiento, las aves alimentadas con 0.05% RPD y 300 FTU/kg mostraron PC superiores a aquellas alimentadas con 300 FTU/kg, 0.15% RPD y 600 FTU/kg, 0.10% RPD. De los 22-35 d, los pollos alimentados con 0.05 y 0.10% RPD y 600 FTU/kg tuvieron una mejor CAA que el grupo control, mientras que de los 36-49 d, las aves alimentadas con 0.10% RPD y 900 FTU/kg superaron en CAA al control. No se observaron diferencias significativas entre tratamientos en el peso y rendimiento de los cortes principales y los músculos de la pechuga. Las aves alimentadas con 600 FTU/kg, 0.10% RPD obtuvieron un mayor rendimiento de la canal (RC) que las aves alimentadas con 300 FTU/kg, 0.15% RPD. Los resultados obtenidos sugieren que la inclusión dietética de la enzima a niveles de 600 y 900 FTU/kg posee un efecto positivo en variables como CAA y RC en combinación con RPD relativo a los recomendados por el NRC.

El contenido de ceniza de la tibia fue similar para todos los tratamientos, promediando 36.2%. El contenido fecal de P fue mayor en aves alimentadas con la dieta control al compararlas con aquellas que recibieron RPD y suplementación con

fitasa. Sin embargo, independientemente del nivel de fitasa, la excreción de P disminuyó linealmente según progresó la RPD en la dieta. No se observaron diferencias en el contenido fecal de Mg y Zn entre tratamientos. Se observó un aumento significativo en la excreción de Ca según disminuyó el PD en la dieta, lo cual se puede atribuir al aumento en el coeficiente de Ca:P resultado de la reducción en el PD de la dieta. Se observó una respuesta cuártica significativa en el contenido de todos los minerales con la edad. Los resultados sugieren que dietas formuladas con 0.15% RPD relativo a lo recomendado por el NRC y suplementadas con 300 FTU/kg reducen significativamente el contenido mineral en las heces sin comprometer la integridad del hueso.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco con todo el corazón a mis compañeros por el gran apoyo brindado durante los últimos dos años y medio. Quiero agradecer de manera muy especial a mi consejero, el Dr. Héctor Santiago, porque más que un profesor, ha sido un gran amigo siempre dispuesto a ayudarme tanto en el aspecto profesional como personal. Gracias por sus siempre acertados consejos y por su eterna preocupación por lograr de éste un trabajo de excelencia en pro del nombre de nuestra institución. Mis más sinceras gracias al Dr. Barton Cousins de la División de Nutrición Animal de la Corporación BASF y a Precision Microblenders, Inc. por el apoyo económico y técnico brindado a este proyecto.

Mis más sinceras gracias al Dr. Paul Randel, al Dr. Abner Rodríguez y al Dr. Melvin Pagán por su desinteresada ayuda en la revisión de este escrito. Además, agradezco la ayuda brindada por el personal de Sub-Estación Experimental Agrícola de Lajas en la realización de esta investigación.

Gracias a mis padres Miriam Ramos y Mariano Argüelles y a mis hermanos por su eterno amor y apoyo incondicional. Además, agradezco de corazón a mi novio Laris Soto y mi amiga Jennifer Vélez por su comprensión y sincero apoyo durante estos años de trabajo y sacrificio. Gracias a todo el personal del Departamento de Industria Pecuaria y a mis compañeros por su confianza y amistad. En fin, agradezco al Dios Todopoderoso por brindarme todas las herramientas necesarias y por darme el privilegio de haber conocido a todos estos grandes seres humanos, que junto a mí formaron parte de la creación de este trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

Contenido	Página
Lista de cuadros	xi
Lista de figuras	xiii
Lista de abreviaturas	xiv
INTRODUCCIÓN	1
Revisión de literatura	4
Bibliografía	23
CAPÍTULO I	29
Efecto de la suplementación de fitasa a dietas con niveles reducidos de fósforo disponible sobre el desempeño productivo y características de la canal de pollos de engorda	
Abstract	30
Resumen	32
Introducción	34
Revisión de literatura	35
Objetivo	40
Materiales y métodos	41
Resultados y discusión	46
Conclusiones	68
Bibliografía	69

Contenido	Página
CAPÍTULO II	74
Efecto de la suplementación de fitasa a dietas con niveles reducidos de fósforo disponible sobre la ceniza de la tibia y excreción de minerales en pollos para engorda	
Abstract	75
Resumen	77
Introducción	79
Revisión de literatura	81
Objetivo	87
Materiales y métodos	88
Resultados y discusión	92
Conclusiones	105
Bibliografía	106
Síntesis general	109

LISTA DE CUADROS

	Título	Página
Introducción		
1.	Contenido de PNF, Pf y P total en ingredientes comúnmente utilizados en dietas para pollos.	8
2.	Contenido de fósforo disponible de fuentes inorgánicas de alta disponibilidad.	10
Capítulo I		
1.1	Fórmula porcentual y contenido de nutrientes de la dieta control y dietas basales con fósforo disponible reducido.	47
1.2	Nivel de fitasa (FTU/kg de alimento) de dietas según el análisis de actividad de enzima por fase de alimentación	48
1.3	Contenido de P total calculado y analizado de dietas con diferentes niveles de fósforo no fitato.	49
1.4	Efecto de la adición de diferentes niveles de fitasa a dietas con contenido reducido de PD sobre el consumo de alimento de pollos para engorda.	50
1.5	Efecto de la adición de diferentes niveles de fitasa a dietas con contenido reducido de PD sobre el peso corporal de pollos para engorda.	53
1.6	Efecto de la adición de diferentes niveles de fitasa a dietas con contenido reducido de PD sobre la ganancia en peso corporal de pollos para engorda.	56
1.7	Efecto de la adición de diferentes niveles de fitasa a dietas con contenido reducido de PD sobre la conversión alimenticia acumulativa ajustada de pollos para engorda.	60
1.8	Efecto de la adición de diferentes niveles de fitasa a dietas con contenido reducido de PD sobre peso de la canal y sus componentes en pollos para engorda.	64

	Título	Página
1.9	Efecto de la adición de diferentes niveles de fitasa a dietas con contenido reducido de PD sobre el rendimiento de la canal y de sus componentes en pollos para engorda.	66
1.10	Efecto de la adición de diferentes niveles de fitasa a dietas con contenido reducido de PD sobre la mortalidad en pollos para engorda.	67
<hr/> Capítulo II <hr/>		
2.1	Efecto de la adición de diferentes niveles de fitasa a dietas con contenido reducido de PD sobre el PCT de pollos para engorda.	93
2.2	Efecto de la adición de diferentes niveles de fitasa a dietas con contenido reducido de PD sobre el contenido de minerales en las heces de pollos para engorda.	95

LISTA DE FIGURAS

	Título	Página
Introducción		
	1. Estructura de la molécula de fitato y posibles enlaces.	9
Capítulo I		
1.1	Interacción de la inclusión de fitasa y la reducción de PD en el consumo de pollos para engorda.	52
1.2	Interacción de la inclusión de fitasa y reducción de PD en el peso corporal de pollos para engorda.	55
1.3	Efecto principal de la adición de fitasa a la dieta de pollos de engorda sobre la ganancia en peso corporal de los 36 a 49 d de edad.	58
1.4	Efecto principal de inclusión de fitasa sobre la conversión alimenticia ajustada de pollos de engorda de 22 a 35 d de edad.	61
1.5	Efecto principal de inclusión de fitasa sobre la conversión alimenticia ajustada de pollos de engorda de 36 a 49 d de edad.	63
Capítulo II		
2.1	Interacción entre el nivel de fitasa y reducción de PD en el contenido fecal de P.	96
2.2	Interacción entre nivel de fitasa y reducción de PD en el contenido fecal Ca.	98
2.3	Interacción entre el nivel de fitasa y reducción de PD en el contenido fecal de Mg.	100
2.4	Interacción entre el nivel de fitasa y reducción de PD en el contenido fecal de Zn.	101
2.5	Contenido de P, Ca y Mg en las heces de pollos para engorda de los 21 a 49 d de edad.	103
2.6	Contenido de Zn en las heces de pollos para engorda de los 21 a 49 d de edad.	104

LISTA DE ABREVIATURAS

Término	Abreviatura
Consumo de alimento	CA
Conversión alimenticia	CAL
Conversión alimenticia ajustada	CAA
Días	d
Discondroplasia tibial	DT
Fósforo disponible	PD
Fósforo inorgánico	Pi
Fósforo fitato	Pf
Fósforo no fitato	PNF
Fósforo total	Pt
Ganancia en peso corporal	GPC
Horas	h
Hormona Paratiroides	HPT
Maíz alto en fósforo disponible	MAPD
Maíz bajo en fósforo disponible	MBPD
Organismos genéticamente modificados	OMG
Peso corporal	PC
Fósforo	P
Porcentaje de ceniza de la tibia	PCT
Reducción de fósforo disponible	RPD

Término	Abreviatura
Rendimiento de la canal	RC
Unidad de fitasa	FTU
Unidades de fitasa por kilogramo de alimento	FTU/kg

INTRODUCCIÓN

Los minerales son de suma importancia para la nutrición de los animales. El consumo adecuado de estos influye grandemente en el crecimiento, desarrollo y desempeño productivo de los animales.

El fósforo (P) es un mineral cuya utilidad en el cuerpo va desde la formación de los huesos hasta su participación en los procesos metabólicos. En los pollos para engorda, los requerimientos teóricos de P son 0.45, 0.35 y 0.30% de fósforo disponible (PD) de 0-21, 22-42 y 43-56 d de edad, respectivamente (NRC, 1994). La deficiencia o el exceso de P en la sangre son causa de un sinnúmero de trastornos patológicos y del desarrollo que afecta la salud y el desempeño productivo del animal.

El PD presente en granos y oleaginosas constituye entre un 10 a un 30 % de P total. El P restante está enlazado al ácido fítico. El mismo es un componente no digerible para los no rumiantes y aves, dada la carencia de enzimas que puedan hidrolizar sus enlaces. El ácido fítico tiene un alto potencial quelante, formando sales insolubles con Ca, Zn, Cu, Mn y Mg. Además, enlaza moléculas de almidón, proteínas y enzimas digestivas disminuyendo su biodisponibilidad.

El maíz es uno de los ingredientes más utilizados en dietas para aves. Este grano posee un 72% del P total en forma de fósforo fitato (Pf) el cual es excretado en las heces en ausencia de enzimas hidrolíticas endógenas. Es por esto que las dietas son suplementadas con fuentes inorgánicas de P de alta disponibilidad para evitar su deficiencia en la dieta. La excreción de Pf y el P no utilizado, proveniente de fuentes inorgánicas, convierten a las heces en un potencial contaminante del ambiente.

Alrededor del mundo, las heces provenientes de la producción de pollos son utilizadas como fertilizante. Sin embargo, la aplicación de las mismas por lo general

no toma en consideración su alto contenido de P, acumulándose éste en el suelo al no ser utilizado por las plantas en su totalidad. El exceso de P llega a los embalses y lagos mediante la erosión y escorrentías, mientras que a los cuerpos de agua subterráneos llega por infiltración a través del suelo. La vegetación acuática y las cianobacterias utilizan las grandes cantidades de PD resultando en la proliferación desmesurada de dichos organismos promoviendo el proceso de eutrofización. La proliferación de éstos causa una disminución en los niveles de oxígeno disuelto en agua, provocando la muerte por hipoxia de la fauna acuática.

Es por lo antes expuesto, que la comunidad científica se ha dado a la tarea de buscar soluciones para reducir la contaminación por P, que vayan acorde con los intereses de la industria avícola además de la conservación del medioambiente. Entre las alternativas estudiadas están la disminución de los niveles dietéticos de P por debajo de las normas del NRC, la utilización de ingredientes con mayor contenido de PD y la incorporación de enzimas exógenas como fitasa.

La fitasa, que ha sido estudiada intensamente desde hace más de tres décadas, tiene la capacidad de hidrolizar la molécula de ácido fítico. Sin embargo, los estudios realizados sobre dicho aditivo dietético se concentran en zonas templadas y los periodos de estudio raramente sobrepasan los 21 d de edad en pollos para engorda. Por lo tanto, es necesario realizar estudios de término completo y en zonas tropicales para conocer los niveles adecuados de la enzima junto a otras alternativas para reducir la contaminación por P como la reducción del PD en dietas de pollos para engorda.

REVISIÓN DE LITERATURA

A. El fósforo en la dieta de pollos para engorda

Los minerales son componentes primordiales en la nutrición de los animales. Estos elementos están presentes en los tejidos animales donde cumplen una gran variedad de funciones químicas y físicas. Las cuatro funciones principales de los minerales son:

- Estructural – forman componentes estructurales de los órganos y tejidos del cuerpo;
- Fisiológica – están presentes en los fluidos y tejidos en forma de electrolitos que se encargan de mantener el balance homeostático del cuerpo;
- Catálisis – sirven como catalíticos en sistemas de hormonas y enzimas;
- Regulación – regulan la replicación y diferenciación celular (Underwood y Suttle, 2001).

La ingestión adecuada de minerales promueve el crecimiento y desarrollo óptimo y maximiza el desempeño productivo del animal.

a. Funciones del fósforo y control hormonal

El fósforo es un mineral de gran demanda para los animales y posee un amplio espectro de utilidades en el cuerpo. Interviene en la formación de la matriz orgánica y mineralización del hueso. Está presente en los ácidos nucleicos y en los fosfolípidos, los cuales son indispensables para la formación de membranas celulares. Además, ayuda a mantener el balance ácido-base y es esencial para los procesos metabólicos de utilización y transferencia de energía (Garret y Grishman, 1999).

Dada la importancia del P en la nutrición aviar, se han dedicado décadas de investigación para obtener un mejor entendimiento del metabolismo y utilización del mismo (Hart et al., 1922; Hall y King, 1931; McChesney, 1943; Amlquist, 1954). Aunque el metabolismo de P en pollos no se ha podido relacionar definitivamente con algún tipo de control endocrino, estudios recientes demuestran que el mismo puede depender de la secreción de la hormona paratiroides (HPT) (Underwood y Suttle, 2001). La secreción de dicha hormona aumenta la reabsorción tubular de P. Por otro lado, el exceso de calcio (Ca) en la sangre (hipercalcemia) inhibe la secreción de la HPT. Por lo que la inclusión de aditivos como la vitamina D para aumentar la absorción de Ca en el hueso mejora indirectamente la absorción de P. Esto debido a que se reduce la probabilidad de que Ca forme sales insolubles de fitato en el intestino y cualquier mejora en la absorción de Ca en los huesos viene acompañada de la retención de P con el propósito de mantener un balance entre ambos minerales.

b. Requerimientos de fósforo para pollos

Según el National Research Council (NRC, 1994) los requerimientos de P en dietas de pollos para engorda son 0.45% de PD o fósforo no fitato (PNF)¹ entre los 0-21 d de edad (fase de inicio), 0.35% entre los 22-42 d (fase de crecimiento) y 0.30% entre los 43-56 d (fase de terminación). Sin embargo, estas recomendaciones pueden ser modificadas según la línea genética, dependiendo de las variables de producción que deseen mejorarse como el crecimiento, conversión alimenticia (CAL), máxima producción de carne o reducción del costo de la dieta (Cobb-Vantress, 2003).

¹ El NRC utiliza indistintamente los términos P disponible y P no fitato (Angel et al., 2002).

c. Efectos de la deficiencia de fósforo

La deficiencia de P en la sangre (hipofosfatemia) puede causar anormalidades en la función hepática, rigidez de los glóbulos rojos y disfunción cerebral, entre otros trastornos fisiológicos (Fuller et al., 1976). Además, la hipofosfatemia afecta negativamente el desarrollo óseo, promoviendo condiciones que a medio y largo plazo afectan la salud y el desempeño productivo del animal. La hipofosfatemia, causada por un consumo inadecuado de P, está relacionada a un bajo apetito y consumo de alimento, una pobre razón de crecimiento y una reducción en los niveles de la hormona de crecimiento (Carew et al., 1985). Esta situación disminuye la tolerancia y la capacidad fisiológica de las aves para manejar el estrés por calor (Edens et al., 1992). Parmer et al. (1987) reportaron que aves de 10 a 29 d de edad alimentadas con dietas deficientes en PD (0.05 y 0.10%) crecieron menos y consumieron menos alimento que aves alimentadas con 0.65% PD en la dieta. La deficiencia estuvo acompañada de hipercalcemia, hipofosfatemia y disminución en el porcentaje de ceniza, peso y dimensiones de la tibia. Se observó edema periferal e hidropericardio en los animales alimentados con dietas bajas en PD. Además, los niveles de la hormona de crecimiento y hormona tiroides en el suero disminuyeron significativamente debido a una deficiencia de P.

Julian et al. (1985) reportaron que ofrecer dietas bajas en PD (0.05, 0.10 y 0.15%) a aves entre 0 y 21 d de edad causó debilitamiento de los huesos (raquitismo). Además, la mayoría de los pollos que murieron durante el experimento sufrieron de hipoxia y fallo cardíaco con o sin ascitis causados por trastornos pulmo-cardiovasculares. La necropsia realizada a los pollos de 21 d de edad reveló

hipertrofia ventricular derecha y dilatación con o sin ascitis. Estos autores determinaron que la incapacidad para respirar adecuadamente se debió a la baja resistencia y deformación de las costillas. La hipoxia crónica promovió la hipertensión arterial pulmonar, la que a su vez causó hipertrofia y dilatación ventricular derecha, trayendo como consecuencia el fallo cardíaco.

d. Efectos del exceso e interacción del fósforo con otros minerales

El exceso de PD en la dieta puede ser tolerado por las aves debido a la excreción del mismo a través del sistema urinario y digestivo. El cuerpo posee mecanismos homeostáticos que eliminan el mineral si se encuentra en exceso en caso de algún desbalance nutricional (Underwood y Suttle, 2001). Sin embargo, niveles entre 0.55 y 0.83% PD pueden causar discondroplasia tibial (DT). La DT es un trastorno del desarrollo del animal, que se caracteriza por hipertrofia del cartílago no mineralizado de la parte proximal de la tibia (Dallorso, 2002). Dicha condición es el resultado del desbalance dietético entre Ca y P. La razón adecuada de Ca:P debe ser entre 1:1 y 2:1. Edwards y Veltmann (1983) reportaron que niveles deficientes de Ca y excesivos de PD (0.80% Ca y 0.75 % de PD; 0.63% Ca y 0.55 de PD) aumentan la incidencia de DT en pollos para engorda. Hulan et al. (1985) observaron que la DT y la incidencia de anormalidades de las patas disminuyeron según aumentaba la razón Ca:PD (0.98 a 1.47% Ca y 0.39 a 0.68% PD) entre los 0 y 21 d de edad y (1.0 a 1.40% Ca y 0.32 a 0.51% PD) entre los 22 y 42 d de edad.

Otro mineral que puede verse afectado por el exceso de PD en dietas de pollos para engorda es el manganeso (Mn). Wedekind y Baker (1990) reportaron que la

adición de PD por 0.4 y 0.8% en exceso de los requerimientos del NRC (0.5% PD) redujo la utilización de Mn en un 22 y 38%, respectivamente.

B. Fósforo en los ingredientes para dietas

El Cuadro 1 muestra el contenido de fósforo no fitato en ingredientes comúnmente utilizados para dietas de pollos. Sólo un 28% del P presente en el maíz puede ser utilizado por las aves, mientras en la harina de soya (44% proteína) únicamente está disponible el 40% del P total. El porcentaje restante de P en el maíz y la soya forma parte del ácido fítico. El ácido fítico o mio-inositol 1, 2, 3, 4, 5, 6 hexaquis fosfato dihidrógeno, es un componente de la semilla y puede estar localizado en partes específicas de la misma dependiendo el tipo de planta (Kornegay, 2001). El ácido fítico forma sales insolubles con Ca a pH neutral (Cherydan, 1980) y puede enlazar Zn, Cu, Mn y Mg dado su alto potencial quelante (Kornegay, 1996) (Figura 1). El ácido fítico es capaz de enlazar moléculas de almidón (Johnston et al., 2004), proteínas (Selle et al., 2003) y enzimas digestivas (Kornegay, 2001) afectando así la digestibilidad de los nutrientes.

Cuadro 1. Contenido de PNF, Pf y P total en ingredientes comúnmente utilizados en dietas para pollos.

Ingrediente	PNF (% del P total)	Pf (% del P total)	P total (%)
Maíz	28	72	0.33
Trigo	31	69	0.39
Cebada	36	64	0.42
Harina de soya, 44% proteína	40	60	0.65

Fuente: Kornegay, 2001

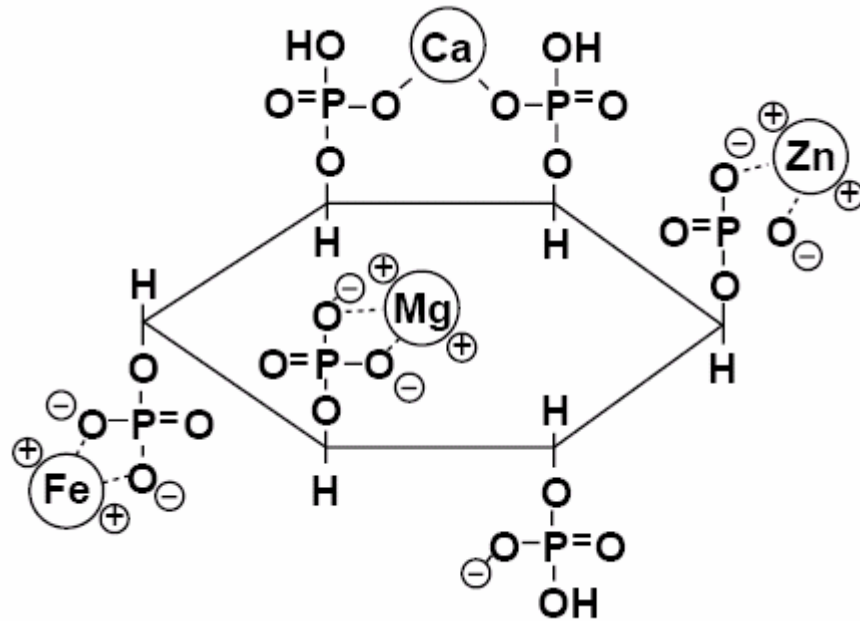


Figura 1. Estructura de la molécula de fitato y posibles enlaces²

El maíz es uno de los ingredientes más utilizados por la industria avícola debido a su alto valor nutricional, accesibilidad y bajo costo. Sin embargo, el maíz presenta la desventaja que 72% de su P total es Pf. La mayor parte del Pf no es utilizado por las aves y es excretado en las heces. Las aves y no rumiantes producen ínfimas cantidades de enzimas capaces de romper los enlaces entre el anillo de inositol y los grupos PO_4^{-3} u otros minerales enlazados. Sin embargo, la adición de vitamina D_3 puede mejorar la utilización de Pf en pollos para engorda (Edwards, 1993; Biehl y Baker, 1997).

Para evitar la deficiencia de PD en dietas para pollos, es necesaria la adición de fuentes de alta concentración de PD. El Cuadro 2 muestra el porcentaje de PD de fuentes inorgánicas de alta disponibilidad. No obstante, la inclusión de estos suplementos en las dietas aumenta los costos de alimentación y resulta en la

² Adaptado de BASF Corp.

excreción de P, convirtiendo las heces en un potencial contaminante del medioambiente.

Cuadro 2. Contenido de fósforo disponible de fuentes inorgánicas de alta disponibilidad.

Fuente	PD (%)
Fosfato dicálcico	14.2
Fosfato monocálcico	19.2
Fosfato de monosodio	20.4

Fuente: CVB, 1999.

C. Contaminación por fósforo

En los Estados Unidos la agricultura es una de las fuentes de contaminación que más deteriora la calidad de las aguas (Parry, 1998). Se estima que cerca del 60% de la extensión longitudinal de los ríos y 50% de los lagos han sido impactados negativamente por la actividad agrícola (Parry, 1998). La industria avícola estadounidense produce al año millones de toneladas métricas de gallinaza. Tradicionalmente la disposición de este residuo consiste en su utilización como fertilizante para cosechas dado su alto contenido de nutrientes. Además del alto contenido de N y P, la razón entre ambos es importante para su aprovechamiento por parte de las plantas. Los cultivos agronómicos requieren una razón N:P entre 6 a 11 : 1, mientras que la gallinaza presenta una razón de entre 2 a 3 : 1 (Miles y Sistani, 2002). Por lo tanto, la aplicación constante de estos residuos a los cultivos resulta en una acumulación excesiva e innecesaria de P en el suelo. El P excretado proviene de diversas fracciones incluyendo porciones no digeridas del P enlazado a la molécula de fitato, PNF presente en granos, porciones no digeridas de subproductos o suplementos

minerales y PD en exceso de los requerimientos para aves sin utilizar (Waldroup, 1999). El exceso de P excretado llega a los lagos y embalses mediante la erosión de las partículas del suelo y por escorrentías o se infiltra a través del suelo para llegar a cuerpos de agua subterráneos. La vegetación acuática y las cianobacterias utilizan grandes cantidades de PD promoviendo la proliferación excesiva de estos organismos. Luego la muerte y descomposición de los mismos disminuye los niveles de oxígeno disuelto en el agua provocando la muerte por hipoxia de la fauna acuática (Correll, 1999). La eutrofización limita la utilización de los cuerpos de agua para la pesca, la recreación y atenta contra la salud de las poblaciones que utilizan las mismas para abastecerse de agua potable.

En Puerto Rico existe una sólida industria avícola concentrada en el área sur-central. Al igual que en los Estados Unidos, en la Isla se dispone de las heces (incorporada al material de camada) como fertilizante para cultivos. Martínez et al. (1999) evaluaron el efecto de la aplicación continua de gallinaza sobre el estado nutricional de los suelos de nueve fincas del área sur-central de Puerto Rico, encontrando que el 67% de las muestras de suelo de las fincas muestreadas contenían niveles de P superiores a los requeridos por los cultivos. Cincuenta y seis por ciento de las muestras superaron los niveles de P considerados como críticos para la calidad de los cuerpos de agua. Además, todas las fincas muestreadas tenían áreas potencialmente perjudiciales para la calidad del agua de los cuerpos circundantes.

En Europa, los problemas causados por la contaminación por P han sido severos, viéndose en la obligación de educar, crear y aplicar leyes para controlarla. La legislación se creó para lograr el equilibrio en la aplicación de fertilizantes, reducir

la disposición de contaminantes y proteger los cuerpos de agua. Actualmente la cantidad máxima anual (kg/ha) de fosfato (PO_4^{-3}) fecal aplicado a cultivos es de 110 (pasturas), 75 (maíz) y 70 (otros). Las fincas que generan más de 125 kg PO_4^{-3} /ha están obligadas establecer un plan de manejo de desperdicios fecales (Jongbloed y Lenis, 1998).

D. Alternativas para la reducción del fósforo fecal

a. Ofrecer niveles de PD menores a los recomendados

En la industria avícola se utilizan en muchos casos niveles de PD superiores a los requerimientos establecidos por el NRC para asegurarse contra los posibles problemas asociados a la deficiencia de P. Según el NRC (1994) los requerimientos de PD de pollos para engorda son 0.45, 0.35 y 0.30%, entre los 0-21 d, 22-42 d y 43-56 d de edad, respectivamente. Las normas del NRC son el resultado de la recopilación y revisión de investigaciones realizadas bajo condiciones controladas y no las de la producción comercial de pollos (Angel, 2000). Dichos valores son utilizados como referencia, sin embargo, el uso de niveles de PD por debajo de los mismos pueden disminuir la pérdida de P en las heces.

b. Maíz alto en fósforo disponible

Otra alternativa para disminuir la excreción de P fecal es la utilización de organismos genéticamente modificados (OGM) para contener una menor concentración de Pf sin afectar el contenido de P total. Li et al. (2000) realizaron un estudio con el propósito de confirmar la biodisponibilidad de P de una variedad de maíz alto en PD (MAPD). Se prepararon cuatro dietas con maíz bajo en PD (MBPD)

o MAPD, ambos a dos niveles de PD y Ca (0.28 y 0.80% ó 0.45% y 1.0%). El quinto tratamiento fue una dieta control con MBPD, 0.20% PD y 0.80% Ca. Se observó que independientemente del tipo de maíz utilizado el consumo de alimento (CA), la ganancia en peso corporal (GPC) y la CAL fueron significativamente mejores con la combinación dietética de PD y Ca de 0.45 y 1.0% que con la de 0.28% de PD y 0.80% de Ca. Las aves del grupo control mostraron el peor desempeño productivo. El porcentaje de ceniza de la tibia (PCT) fue mayor para los tratamientos 0.45% PD y 1.0% Ca seguidos por el de MBPD, 0.28% PD y 0.80% Ca. Los resultados de este experimento indicaron que efectivamente el P del MAPD está más disponible que el del MBPD y que el contenido reducido de Pf del MAPD no compromete su valor nutricional. Además, el aumento en la retención de P por las aves que consumieron el maíz modificado sugiere que se puede sustituir el MBPD por el MAPD para reducir la excreción de P. Las aves control fueron inferiores en retención de P solamente a las aves del tratamiento MAPD, 0.28% PD y 0.80% Ca y en retención de Ca solamente a las aves que consumieron 0.28% PD y 0.80% Ca. La liberación *in vitro* de P del MAPD fue significativamente superior a la del MBPD.

Douglas et al. (2000) realizaron un estudio con el objetivo de determinar la biodisponibilidad de P y digestibilidad de amino ácidos del MAPD, maíz alto en proteína (MAP) y maíz alto en PD y también proteína (MAPDP) comparado con el maíz convencional (MC). Entre los 8 y 22 d de edad las aves fueron alimentadas con una dieta a base de fécula de maíz, dextrosa y harina de soya conteniendo 0.10% PD. En un estudio inicial se suplementó la dieta con uno de dos niveles de P (0.05 y 0.06%) en forma de KH_2PO_4 y se usó una de dos concentraciones de maíz (20 y

21%). En un segundo experimento, se evaluó la adición de 0.10 ó 0.12% de KH_2PO_4 y concentraciones de 40 ó 42% de maíz. La biodisponibilidad de P del MAPD fue 59 - 95% y la del MC 21 - 40% por lo cual la disponibilidad del P fue de 2 a 3 veces mayor en el MAPD que en el MC. No se encontraron diferencias en la digestibilidad de amino ácidos entre MC y MAP.

La utilización de OGM como el MAPD es una alternativa eficaz para mejorar la disponibilidad del P presente en los granos cereales. Esta práctica permite reducir el uso de fuentes inorgánicas de P y disminuir la excreción fecal de P. Estas estrategias pueden ser implantadas individualmente o combinadas con otras para obtener mejores resultados.

c. Fitasas

i. Origen y propiedades químicas

La adición de la enzima fitasa en dietas para pollos se ha convertido en una práctica popular para mejorar la disponibilidad de P de las dietas. Las fitasas son meso-inositol hexafosfato fosfohidrolasas que se encargan de catalizar la hidrólisis de los grupos PO_4^{-3} del ácido fítico o fitato a ésteres de inositol penta a mono PO_4^{-3} y 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 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 histidinas ácido

fosfatasas. Éstas se caracterizan por un sitio activo hepta-péptido conservado y un dipéptido catalíticamente activo. Estos grupos catalizan la hidrólisis de ácido fítico en dos pasos: un ataque nucleofílico de histidina en el sitio activo de la enzima al romper el enlace fosfoéster del ácido fítico y la protonación del grupo liberado por el residuo de ácido aspártico del dipéptido (Lei y Porres, 2003). Sin embargo, existen otros tipos de fitasa que difieren completamente de las antes descritas. Las fitasas aisladas de *Bacillus amyloliquefaciens* y *B. subtilis*, microorganismos con secuencias de genes no homólogas a las de microorganismos productores de histidinas ácido fosfatasas, no poseen los sitios activos de catálisis descritos anteriormente. Estas fitasas poseen una estructura de seis pliegues para facilitar la actividad de la enzima. Además, la activación de las mismas está asistida o mediada por iones de metales (Kerovuo et al., 1998; Oh et al., 2001).

Las fitasas producidas por *Aspergillus niger*, *Escherichia coli* y *Bacillus sp.* muestran una alta afinidad al ácido fítico, mientras que las fitasas vegetales y la de *A. fumigatus* tienen un espectro más amplio y son capaces de degradar inositol penta a monofosfato (Wyss et al., 1998; Wyss et al., 1999).

El pH óptimo para la mayoría de las fitasas está entre 4.5 a 6.0. Para la de *A. 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. Por lo tanto,

luego de la alimentación hay una formación sustancial de formas parcialmente protonadas de fitato que son susceptibles a hidrólisis durante su residencia en el estómago glandular y el buche. En las partes superiores del intestino delgado aumenta el pH de la digesta y esto favorece la formación de enlaces con minerales resistentes a fitasa (Maenz, 2001).

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 termoestabilidad de 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. Wyss et al., (1998) evaluaron las fitasas de *A. niger* y *A. fumigatus* y observaron que ambas fitasas se desnaturalizaron cuando se sometieron a temperaturas de 50 a 90° C. Sin embargo, la fitasa de *A. fumigatus* se desnaturalizó a 90° C y al enfriarse regresó a su estructura original y completamente funcional. Por el contrario, la fitasa de *A. niger* se desnaturalizó irreversiblemente a temperaturas entre 50 y 90° C. Los productores de fitasa que la comercializan recomiendan la aplicación de la enzima en forma líquida posterior al peletizado del alimento.

La proteólisis en el estómago e intestino es otro factor importante que determina la actividad *in vivo* de fitasa. Las fitasas al ser proteínas son susceptibles a la degradación causada por enzimas como tripsina y pepsina (Kerouvo et al. 1998). Las asas de la cadena molecular expuestas en la superficie de la enzima son las más susceptibles a la degradación por lo que éstas deben ser bloqueadas o modificadas usando mutagénesis directa (Wyss et al. 1999).

La actividad unitaria de fitasa (FTU) es la cantidad de enzima que libera 1 μ mol de Pi en 1 minuto de una solución de fitato de sodio 5.1 mM a 37° C y a un pH de 5.5. En los pollos la actividad de fitasa es mayor en el buche (69 a 86%) que en el proventrículo (31 a 38%). La actividad de fitasa en el resto del tracto digestivo del ave es nula.

ii. Utilización de fitasa en la producción animal

1. Pollos para engorda y gallinas ponedoras

Qian et al. (1997) investigaron el efecto de la suplementación de fitasa, vitamina D₃ y la razón dietética Ca:Pt en pollos para engorda. Se utilizó un arreglo factorial 4 x 4 x 2, con 4 razones Ca:Pt (1.1, 1.4, 1.7 y 2:1), 4 niveles de fitasa (0, 300, 600 y 900 FTU/kg) y dos niveles de vitamina D₃ (66 y 660 μ g de vitamina D₃/kg de alimento). También se evaluaron 4 dietas adicionales con las cuatro razones citadas de Ca:Pt y 6,600 μ g D₃/kg de alimento, sin suplementación de fitasa. La adición de fitasa aumentó linealmente la GPC, el CA, el contenido de ceniza del dedo y la retención de P y Ca. Estas variables se afectaron negativamente independientemente de la presencia de fitasa según se ampliaba la razón Ca:Pt y mejoraron con la adición de vitamina D₃. La suplementación de vitamina D₃ mejoró la utilización del P y el Ca del alimento y aumentó entre 5 y 12% la retención de Ca y P, obteniéndose una mayor deposición de minerales en el hueso. Los investigadores concluyeron que la fitasa, vitamina D₃ y razón Ca:Pt son factores importantes en la degradación de fitatos para mejorar la utilización de P y Ca en pollos para engorda.

Denbow et al. (1998) estudiaron la eficacia de fitasa microbiana en el desempeño productivo y en la utilización de nutrientes de pollos para engorda. En el primer experimento utilizaron pollos de 8 a 14 d de edad. Los tratamientos incluyeron un control positivo (0.50% PD), un control negativo (0.12% PD) y el control negativo más 500 ó 1,000 FTU/kg aportada por Phyzyme XP. La adición de fitasa aumentó la GPC, el CA, la eficiencia alimenticia y el contenido de ceniza de la tibia y el dedo. Además, aumentó la digestibilidad de P, triptófano y valina. El segundo experimento evaluó el desempeño productivo hasta los 42 d de edad. Las dietas consistieron en un control positivo (0.50% y 0.38% PD en las fases de inicio y terminación, respectivamente); un control negativo (0.24 y 0.18% en dichas fases); el control negativo más 500, 750 ó 1,000 FTU/kg aportada por Phyzyme XP[®]; y el control negativo más 500 FTU/kg aportada por Natuphos[®]. La adición de fitasa aumentó la GPC y el CA en ambas fases y mejoró la CAL, el PCT y el porcentaje de ceniza del dedo únicamente en el periodo de inicio. Se concluyó que el uso de la fitasa microbiana (Phyzyme[®]) puede mejorar el desempeño productivo, la mineralización del hueso y la utilización de P en pollos para engorda.

Sohail y Roland (1999) determinaron la eficacia de fitasa en pollos para engorda de 3 a 6 semanas de edad. Las dietas experimentales fueron formuladas para contener dos niveles de PD (0.225 ó 0.325%) y 3 niveles de fitasa (0, 300 y 600 FTU/kg) y 0.75% Ca. En adición se evaluó una dieta con 0.425% PD y 0.85% Ca (control positivo). De 0 a 3 semanas de edad las aves fueron alimentadas con una dieta comercial de inicio. La reducción de PD a 0.325% con 0.75% Ca no afectó el PC y la CAL en comparación con el control. La reducción a 0.225% PD impactó

negativamente todas las variables estudiadas. La adición de fitasa a dietas con bajos niveles de PD mejoró el PC. Este estudio demostró que durante la fase de crecimiento la suplementación de fitasa a dietas con bajo contenido de PD y Ca mejora el desempeño productivo y la integridad del hueso. Además, la adición de fitasa a 300 FTU/kg logra prevenir los síntomas de deficiencia de P, pero la inclusión de 600 FTU/kg no provee beneficio adicional al ave.

Lan et al. (2002) realizaron un experimento con el objetivo de determinar la eficacia de la inclusión en la dieta de cultivos activos de la bacteria productora de fitasa *Mitsuokella jalaludinii* (AMJC). Los tratamientos consistieron en una dieta control negativo baja en PD (0.24 y 0.232% en fases de inicio y terminación, respectivamente); cuatro dietas bajas en PD con adiciones de AMJC (equivalentes a 250, 500, 750 y 1000 FTU/kg) y una dieta control positivo (0.46% y 0.354% PD en la aludidas fases). La suplementación con el cultivo de microorganismo de AMJC mejoró la GPC, CA y CAL, en comparación con el control negativo y logró resultados similares al control positivo. La suplementación con fitasa aumentó la digestibilidad de materia seca y proteína cruda y aumentó la retención de P, Ca y Cu. Aves alimentadas con dietas deficientes en PD y suplementadas con AMJC obtuvieron un PCT similar a las del control positivo. Se concluyó que la eficiencia de suplementación con AMJC a dietas bajas en PD queda comprobada.

Keshavarz (2003) realizó un experimento de tres fases con gallinas ponedoras para determinar el efecto de diferentes niveles de PNF y fitasa sobre el desempeño productivo de cuatro líneas comerciales de gallinas ponedoras. Las mismas fueron alimentadas con una de siete dietas que consistían en 0.45, 0.25 ó 0.20% en la

primera fase, 0.45, 0.20 ó 0.10% en la segunda fase y 0.45, 0.15 ó 0.10% en la tercera fase y suplementación con 0, 150 ó 300 FTU/kg. Se verificó una interacción significativa entre línea comercial x dieta en la CAL, porcentaje de postura, masa del huevo producido y gravedad específica del huevo. Se concluyó que el requerimiento de PNF y de fitasa, para mantener un desempeño productivo y calidad del huevo aceptables varía según la línea comercial.

Jalal y Scheideler (2001) utilizaron gallinas ponedoras para evaluar la suplementación con dos diferentes fuentes de fitasa en la producción de huevos y la digestibilidad de nutrientes. Las nueve dietas usadas contenían 0.25, 0.15, ó 0.10% de PNF y 0, 250 ó 300 FTU/kg (Natuphos[®]) y la dieta control con 0.35% de PNF y sin fitasa. La suplementación de fitasa aumentó el CA, la digestibilidad de P y Ca y mejoró la CAL de las aves.

2. Otras especies

Las investigaciones realizadas sobre la eficiencia de la fitasa para compensar los bajos niveles de PD en las dieta y prevenir los problemas de deficiencia de P se extiende a otras especies utilizadas en la producción animal.

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 íleo como consecuencia de un pH neutro y la proteólisis que ocurre en estos segmentos intestinales (Jongbloed et al., 1992).

Zhang et al. (2000) determinaron que la adición de fitasa de origen vegetal (Phytaseed[®]) fue igualmente eficaz que la fitasa de origen microbiano (Natuphos[®]) para mejorar el desempeño productivo, medidas del hueso y digestibilidades de P, Ca y materia seca en cerdos jóvenes alimentados con dietas bajas en P. Al igual que en los pollos, la inclusión de fitasa junto a otros aditivos mejoró la utilización de Pf. Lei et al. (1994) observaron un mejor desempeño productivo en cerdos destetados al añadir fitasa a dietas basadas en harina de soya, con niveles normales de vitamina D₃ y un nivel de Ca más bajo que el recomendado. Baidoo et al. (2003) determinaron que la adición de fitasa a razón 500 FTU/kg a dietas para cerdas lactantes conteniendo 50% menos Pi que lo adecuado fue efectiva para mejorar la digestibilidad de P, proteína cruda y materia orgánica. El desempeño durante la lactación y los niveles de P en el suero no se vieron afectados. Además, se redujo la excreción de P fecal en un 27.2%.

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 íleo 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 de dietas a base de harina de soya.

Por otro lado, los rumiantes tienen la capacidad de digerir el Pf 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). En ovejas la degradación del fitato de

semilla de colza ocurre principalmente en el estómago, otra pequeña parte se degradada en el intestino grueso y cerca de un 10% es excretado en las heces (Park et al., 2002).

BIBLIOGRAFÍA

- Almquist, H. J. 1954. The phosphorus requirement of young chicks and poults - A review. *Poultry Sci.* 33:936-944.
- Angel, R. 2000. Agriculture feeding poultry to minimize manure phosphorus En: *Managing nutrients and pathogens from animal.* pp. 185-195. NRAES-130, Ithaca, NY.
- Angel, R., N. M. Tamim, T. J. Applegate, A. S. Dhandu y L. E. Ellestad. 2002. Phytic acid chemistry: influence on phytin-phosphorus availability and phytase efficacy. *J. Appl. Poult. Res.* 11:471-480.
- Baidoo, S. K., Q. M. Yang y R. D. Walter. 2003. Effects of phytase on apparent digestibility of organic phosphorus and nutrients in maize-soya bean diets for sows. *Anim. Feed Sci. Tech.* 104:133-141.
- Biehl, R. R. y D. H. Baker. 1997. Utilization of phytate and nonphytate phosphorus in chicks as affected by source and amount of vitamin D₃. *J. Anim. Sci.* 75:2986-2993.
- Carew, L. B., T. A. Gestone y F. A. Alster. 1985. Effect of phosphorus deficiency on thyroid function and growth hormone in the White Leghorn Male. *Poultry Sci.* 64:2010 – 2012.
- Cherydan, M. 1980. Phytic interaction in food system. *CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 13:297 – 335.
- Cobb-Vantress. 2003. Cobb broiler nutrition guide. Cobb-Vantress, Arkansas, 47 pp.
- Correl, D. L. 1999. Phosphorus: a rate limiting nutrient in surface waters. *Poultry Sci.* 78:674-682.
- CVB.1999. Veevoedertabel Centraal Veevoederbureau in Nederland, Lelystad.
- Dallorso, M. E. 2002. Discondroplasia tibial de los pollos barrilleros. *RIA.* 31:99-120.
- Denbow, D. M., E. A. Grabau, G. H. Lacy, E. T. Kornegay, D. R. Russell y P. F. Umbeck. 1998. Soybeans transformed with a fungal phytase gene improve phosphorus availability for broilers. *Poultry Sci.* 77:878-881.

- Douglas, M. W., C. M. Peter, S. D. Boling, C. M. Parson y D. H. Baker. 2000. Nutritional evaluation of low phytate and high protein corns. *Poultry Sci.* 79:1586 – 1591.
- Edens, F. W., C. H. Hill y S. Wang. 1992. Heat shock protein response in phosphorus-deficient heat-stressed broiler chickens. *Comp. Biochem. Physiol.* 103B:827-831.
- Edwards, H. M. y J. R. Veltmann. 1983. The role of phosphorus in the etiology of tibial dyschondroplasia in young chicks. *J. Nutr.* 113:1568-1575.
- Edwards, H. M. 1993. Dietary 1, 25-Dihydroxycholecalciferol supplementation increases natural phytate phosphorus utilization in chickens. *J. Nutr.* 123:567-577.
- Fuller, T. J., N. W. Carter, C. Barcenas y J. P. Knochel. 1976. Reversible changes of muscle cell in experimental phosphorus deficiency. *J. Clin. Invest.* 57:1019-1024.
- Garret, R. H. y C. M. Grishman. 1999. *Biochemistry*. Saunders College Publishing, FL, 1127 pp.
- 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.
- Hall, G.E. y E.J. King. 1931. Calcium-phosphorus metabolism in the chicken. I. The effect of irradiated ergosterol (vitamin D). *Poultry Sci.* 10:132-153.
- Hart, E. B., J. G. Halpin y H. Steenbock. 1922. The nutritional requirements of baby chicks. II. Further study of leg weakness in chickens. *J. Biol. Chem.* 52:379-386.
- Hulan, H. W., G. Groote, G. Fontaine, G. Munter, K. B. McRae y F. G. Proudfoot. 1985. The effect of different totals and ratios of dietary calcium and phosphorus on the performance and incidence of leg abnormalities of male and female broiler chickens. *Poultry Sci.* 64:1157-1169.
- Jalal, M. A. y S. E. Scheideler. 2001. Effect of supplementation of two different sources of phytase on egg production parameters in laying hens and nutrient digestibility. *Poultry Sci.* 80:1463 – 1471.

- Johnston, S. L., S. B. Williams, L. L. Southern, T. D. Bidner, L. D. Bunting, J. O. Matthews y 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., Z. Mroz y P. A. Kemme. 1992. The effect of supplementary *Aspergillus niger* phytase in diets for pigs on concentration and apparent digestibility of dry matter, total phosphorus, and phytic acid in different sections of the alimentary tract. *J. Anim. Sci.* 70:1159-1168.
- Jongbloed, A. W. y N. P. Lenis. 1998. Environmental concerns about animal manure. *J. Anim. Sci.* 76:2641-2648.
- Julian, R. J., J. Summers y J. B. Wilson. 1985. Right ventricular failure and ascites in broiler chickens caused by phosphorus-deficient diets. *Avian Dis.* 30:453-459.
- Kerovuo, J., M. Lauraeus, P. Nurminen, N. Kalkkinen y J. Apajalahti. 1998. Isolation, characterization, molecular gene cloning, and sequencing of a novel phytase from *Basillus subtilis*. *Appl. Environ. Microbiol.* 64:2079-2085.
- Keshaverz, K. 2003. The effect of different levels of nonphytate phosphorus with and without phytase on the performance of four strains of laying hens. *Poultry Sci.* 82:71-91.
- Kornegay, E. T. 1996. Nutritional, environmental, and economic considerations for using phytase in pig and poultry. En: E. T. Kornegay (ed.). *Nutritional management of food animals to enhance and protect the environment.* pp. 277-301. Lewis Publishers.
- Kornegay, E. T. 2001. Digestion of phosphorus and other nutrients: the role of phytases and factors influencing their activity. En: M. R. Bedford y G. G. Partridge (ed.). *Enzymes in Farm Animal Nutrition.* pp 237-271. CABI Publishing, New York.
- Lan, G. Q., N. Abdullah, S. Jalaludin, y Y. W. Ho. 2002. Efficacy of supplementation of a phytase-producing bacterial culture on the performance and nutrient use of broiler chickens fed corn-soybean meal diets. *Poultry Sci.* 81:1522-1532.
- 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.
- Li, Y. C., D. R. Ledoux, T. L. Veum, V. Raboy y D. S. Ertl. 2000. Effect of low phytic acid corn on phosphorus utilization, performance and bone mineralization in broiler chick. *Poultry Sci.* 79:1444 – 1450.
- Maenz, D. D. 2001. Enzymatic characteristics of phytases as they relate to their use in animal feeds. En: M. R. Bedford y G. G. Partridge (ed.). *Enzymes in Farm Animal Nutrition*. pp 61-84. CABI Publishing, New York.
- Martínez, G. S., L. Olivieri, J. A. Castro, O. Muñiz-Torres y J. L. Guzmán. 1999. Phosphorus status of soils from the poultry zone in Puerto Rico. *J. Agric. Univ. P.R.* 83:1-17.
- McChesney, E. W. 1943. Studies of calcium and phosphorus metabolism in the chick. I. The comparative effect of vitamins D2 and D3 and dihydrotachysterol given orally and intramuscularly. *J. Nutr.* 26:81-94.
- Miles, D. M. y K. R. Sistani. 2002. Broiler phosphorus intake versus broiler phosphorus output in the United States: nutrition or soil science? *World's Poult. Sci. J.* 58:493-99.
- National Research Council (NRC). 1994. *Nutrient Requirements of Poultry*. 9th rev. ed. National Academy Press, Washington, D.C.
- Oh, B., B. S. Chang, K. Park, N. Ha, H. Kim, B. Oh y T. Oh. 2001. Calcium-dependent catalytic activity of novel phytase from *Bacillus amyloliquefaciens* DS11. *Biochemistry.* 40:9669-9676.
- Park, W. Y., T. Matsui y H. Yano. 2002. Post-ruminal phytate degradation in sheep. *Anim. Feed Sci. Tech.* 101:55-60.
- Parmer, T. G., L. B. Carew y F. A. Alster. 1987. Thyroid function, growth hormone, and organ growth in broiler deficient in phosphorus. *Poultry Sci.* 66:1195-2004.
- Parry, R. 1998. Agricultural phosphorus and water quality: a US Environmental Protection Agency perspective. *J. Environ. Qual.* 27:258-261.
- Qian, H., E. T. Kornegay y D. M. Denbow. 1996. Phosphorus equivalence of microbial phytase in turkey diets as influenced by calcium to phosphorus ratios and phosphorus levels. *Poultry Sci.* 75:69-81.

- Qian, H., E. T. Kornegay y D. M. Denbow. 1997. Utilization of phytate phosphorus and calcium as influenced by microbial phytase, cholecalciferol, and the calcium: total phosphorus ratio in broiler diets. *Poultry Sci.* 76:37-46.
- Selle, P. H., V. Ravindran, P. H. Pittolo y W. L. Bryden. 2003. Effects of phytase supplementation of diets with two tiers of nutrient specifications on growth performance and protein efficiency ratios of broiler chickens. *Asian-Aust. J.*
- Sohail, S. S. y D. A. Roland, Sr. 1999. Influence of supplemental phytase on performance of broilers four to six weeks of age. *Poultry Sci.* 78:550-555.
- 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.
- 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.
- Underwood, E. J. y N. F. Suttle. 2001. *The mineral nutrition of livestock.* 3rd ed. CABI Publishing, New York, NY. 614 pp.
- Waldroup, P. W. 1999. Nutritional approaches to reducing phosphorus excretion by poultry. *Poultry Sci.* 78:683-691.
- Wedekind, K. J. y D. H. Baker. 1990. Effect of varying calcium and phosphorus levels on manganese utilization. *Poultry Sci.* 69:1156-1164.
- Wyss, M., L. Pasamontes, R. Rémy, J. Kohler, E. Kuszniir, M. Gadiant, F. Müller y A. P. G. M. van Loon. 1998. Comparison of the thermostability properties of three acid phosphatases from molds: *Aspergillus fumigatus* phytase, *A. niger* phytase, and *A. niger* pH 2.5 acid phosphatase. *Appl. Environ. Microbiol.* 64:4446-4451.
- Wyss, M., L. Pasamontes, A. Friedlein, R. Rémy, M. Tessier, J. Kohler, A. Kronenberger, A. Middendorf, M. Lehmann, L. Schnoebelen, U. Röthlisberger, E. Kuszniir, G. Whal, F. Müller, H. Lahm, K. Vogel y A. P. G. M. van Loon. 1999. Biophysical characterization of fungal phytases (*myo*-inositol hexakisphosphate phosphohydrolases): molecular size, glycosylation pattern, and engineering of proteolytic resistance. *Appl. Environ. Microbiol.* 65:359-366.

- 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 poults fed corn-soybean meal diets. *Poultry Sci.* 75:979-990.
- Zhang, Z. B., E. T. Kornegay, J. S. Radcliffe, D. M. Denbow, H. P. Veit y C. T. Larsen. 2000. Comparison of genetically engineered microbial and plant phytase for young broilers. *Poultry Sci.* 79:709-717.

CAPÍTULO I

**EFFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN DE FITASA A DIETAS
CON NIVELES REDUCIDOS DE FÓSFORO DISPONIBLE
SOBRE EL DESEMPEÑO PRODUCTIVO Y CARACTERÍSTICAS
DE LA CANAL DE POLLOS DE ENGORDA**

ABSTRACT

Phosphorus is an essential mineral for growth and development of broiler chickens. The addition of phytase enzyme increases the availability of P and other minerals in corn-soybean meal-based diets. An experiment was conducted to determine the effects of graded levels of phytase supplementation to diets with modified available phosphorus (AP) contents relative to NRC requirements on performance and carcass traits. Ten dietary treatments consisted of: a control (NRC AP), and 9 diets with a factorial arrangement combining 300, 600, and 900 FTU/kg feed of phytase and AP reductions of 0.05, 0.10, and 0.15% below NRC requirements in each of the starter (1-21 d), grower (22-35 d), and finisher (36-49 d) diets. Six hundred chicks were assigned to 40 floor pens with four replicate pens per treatment. Feed intake (FI), bodyweight (BW), BW gain (BWG), and feed conversion (FC) were determined. At 49 d, a total of 200 birds were processed and carcass traits recorded. No significant differences in FI were observed among treatments. Nor were differences in BWG observed up to 35 d. During the finisher phase, control birds had similar BWG to that of all chicks supplemented with phytase combined. However, birds fed diets containing 300 and 900 FTU/kg had higher BWG than those fed diets with 600 FTU/kg. Broilers of all treatments had similar BW in the starter and finisher phases. However, in the growing period birds fed diets containing a 0.05% AP reduction and 300 FTU/kg of phytase were significantly heavier than birds fed diets with 300 and 600 FTU/kg and a 0.15 and 0.10% AP reduction, respectively. From 22 to 35 d, broilers fed diets with reductions of 0.05 and 0.10% AP and 600 FTU/kg had significantly better FC than the controls. Whereas from 36 to 49 d, birds receiving

diets with a 0.10% AP reduction and 900 FTU/kg had better FC than controls. No differences among treatments were observed in the weight and percentage yield of major cuts and excised muscles. Carcass yield (CY) was significantly higher in birds fed diets with a .10% AP reduction and 600 FTU/kg than in those under the 0.15% AP reduction and 300 FTU/kg treatment. The results suggest that inclusion of phytase in the diet at levels of 600 and 900 FTU/kg has a positive effect on variables such as FC and CY, in combination with below recommended levels of AP.

RESUMEN

El fósforo es un mineral esencial para el crecimiento y desarrollo de pollos para engorda. La adición de fitasa aumenta la disponibilidad de P y otros minerales en dietas formuladas con maíz y harina de soya. Se realizó un experimento con el propósito de determinar el efecto de la inclusión de diferentes niveles de fitasa en dietas con niveles modificados de fósforo disponible (PD) relativo a los requerimientos del NRC sobre el desempeño productivo y las características de la canal. Se utilizaron 10 dietas experimentales que consistieron en: un control (PD, recomendado por el NRC), y 9 dietas combinando 300, 600 y 900 FTU/kg de fitasa a dietas formuladas para reducir el contenido de PD por debajo de lo recomendado por el NRC 0.05, 0.10, y 0.15% en las dietas de inicio (1-21 d), crecimiento (22-35 d) y terminación (36-49 d). Seiscientas aves fueron asignadas a 40 jaulas con 4 repeticiones por tratamiento. El consumo de alimento (CA), peso corporal (PC), ganancia en PC (GPC) y la conversión alimenticia ajustada (CAA) fueron determinadas. A los 49 d, un total de 200 aves fueron procesadas para evaluar las características de la canal. No se observaron diferencias significativas en el CA entre tratamientos. Tampoco se observaron diferencias en la GPC hasta los 35 d. Durante la fase de terminación, el grupo control obtuvo una GPC similar a las aves suplementadas con fitasa. Sin embargo, las aves suplementadas con 300 y 900 FTU/kg obtuvieron una mayor GPC que aquellas suplementadas con 600 FTU/kg. En el periodo de crecimiento las aves alimentadas con 0.05% RPD y 300 FTU/kg obtuvieron un PC superior a aquellas alimentadas con 300 FTU/kg, 0.15% RPD y 600 FTU/kg, 0.10% RPD. De los 22-35 d, los pollos alimentados con 0.05 y 0.10% RPD

y 600 FTU/kg tuvieron una mejor CAA que el grupo control, mientras que de los 36-49 d, las aves alimentadas con 0.10% RPD y 900 FTU/kg tuvieron una mejor CAA que el control. No se observaron diferencias significativas entre tratamientos en el peso y rendimiento de los cortes principales y los músculos de la pechuga. Las aves alimentadas con 600 FTU/kg, 0.10% RPD obtuvieron un mayor rendimiento de la canal (RC) que las aves alimentadas con 300 FTU/kg, 0.15% RPD. Los resultados obtenidos sugieren que la inclusión de fitasa en la dieta a niveles de 600 y 900 FTU/kg posee un efecto positivo en variables como CAA y RC en combinación a niveles reducidos de PD a los recomendados por el NRC.

INTRODUCCIÓN

La alimentación es uno de los renglones de mayor costo en la industria avícola y la misma suele basarse en maximizar la producción del animal, no así en optimizarla. Esto se debe a que se ofrecen dietas que sobrepasan los requerimientos nutricionales de las aves (Klopfenstein et al., 2002). Esta práctica resulta en la excreción fecal de nutrientes debido a que estos son ofrecidos en exceso y no utilizados completamente por el ave. Esto representa una pérdida de inversión monetaria y los nutrientes excretados se convierten en potenciales contaminantes del suelo y los cuerpos de agua (Martínez et al., 1999) si no se dispone adecuadamente de las heces fecales. De esta manera se crea un problema de uso correcto o disposición de residuos, lo que implica un gasto adicional para el avicultor.

La comunidad científica se ha dado a la tarea de buscar alternativas que logren equilibrar aspectos económicos con los nutricionales para mejorar el desempeño productivo de las aves y obtener una producción más eficiente. Entre las alternativas más utilizadas están: la utilización de variedades de maíz genéticamente modificados para contener bajos niveles de Pf (Miles et al., 2003; Huff et al., 1998), la reducción de los niveles de P en la dieta y la adición de la enzima fitasa (Onyango et al., 2005; Applegate et al., 2003; Ravindran et al., 1999, 2001). Varios investigadores han reportado que la adición de fitasa a dietas con niveles reducidos de PD, mejora la utilización de P de los ingredientes. Además, aumenta la retención de P y otros minerales, y disminuye su excreción (Augsburger y Baker, 2004; Rutherford et al., 2004; Biehl y Baker, 1997). La adición de fitasa aumenta la disponibilidad del P en la dieta y permite economizar parte del PD dietético normalmente requerido.

REVISIÓN DE LITERATURA

Dada la importancia de la disponibilidad de minerales en los alimentos para animales, los nutricionistas llevan a cabo una serie de prácticas al respecto con el fin de mejorar la producción. Algunas de las estrategias utilizadas son el procesamiento mecánico de los ingredientes, la suplementación con ingredientes inorgánicos de alta disponibilidad y la inclusión de aditivos a la dieta. El procesamiento mecánico tiene como propósito aumentar el área de superficie de ingredientes como maíz, soya y trigo. De esta manera las enzimas y otras sustancias químicas digestivas tienen mayor participación en la degradación del alimento y absorción de los nutrientes. Los suplementos inorgánicos como el fosfato dicálcico, fosfato monocálcico, carbonato calizo y diversas premezclas de minerales son populares por su alta disponibilidad biológica (Wendt y Rodehutschord, 2004; Mabe et al., 2003). Sin embargo, estos deben ser utilizados con discreción por su alto costo y para evitar desbalances nutricionales entre minerales. Los aditivos dietéticos facilitan la utilización de los nutrientes por los animales. Por tal razón, la inclusión de aditivos que mejoren la absorción de minerales como el P ha tomado gran auge en las operaciones de producción animal. Actualmente, han sido utilizados con este propósito suplementos orgánicos como antibióticos y enzimas (Meng et al., 2005; Dibner y Richards, 2005; Lázaro et al., 2003; Parks et al., 2001; Al-Marzooqi y Leeson, 1999).

Los ingredientes principales en las dietas de aves son generalmente granos cereales y semillas oleaginosas y sus derivados como el maíz y la soya, los cuales poseen un alto contenido de P pero de disponibilidad limitada (Douglas et. al., 2000). Sólo de un 10 a un 30% del P presente en estos granos es utilizado por aves y cerdos

(Calvert et al., 1978; Nelson, 1967), debido a que la mayor parte del P está presente en forma de ácido fítico. Este último es considerado un compuesto antinutritivo dado su alto potencial como agente quelante. El ácido fítico es capaz de enlazar iones de minerales como el P, Ca, Zn, Cu y Mn (Cherydan, 1980) los cuales son esenciales para los animales. La baja disponibilidad de P en los granos hace imprescindible la inclusión de Pi en la dieta. Tanto el Pi en exceso como el P orgánico no utilizado son eliminados en las heces contribuyendo a la contaminación del medioambiente y resultando en la pérdida de costosos nutrientes.

Viveros et al. (2002) estudiaron el efecto de la suplementación con fitasa microbiana en pollos alimentados con diferentes niveles de PNF, sobre el desempeño productivo y retención de minerales, utilizando 240 aves de la línea Cobb. Suministraron cinco dietas incluyendo el control y otras cuatro que incorporaron dos niveles de PNF (0.35 y 0.22%, hasta los 21 d de edad; y 0.27 y 0.14%, entre los 22 – 28 d de edad) y dos niveles de fitasa (0 y 500 FTU/kg). Observaron que la disminución de PNF en la dieta redujo la GPC, CA y la CAL, a las 3 y 6 semanas de edad. La adición de 500 FTU/kg mejoró la GPC a las 3 y 6 semanas de edad, mientras que aumentó el CA a las 3 semanas. La CAL no se vio afectada en ninguna etapa por la adición de fitasa, lo cual es resultado del incremento simultáneo de la GPC y CA. Las aves que consumieron los niveles más bajos de PNF obtuvieron una mayor retención de P y Mg, y una menor retención de Ca y Zn. La suplementación con fitasa en las dietas bajas en PNF mejoró la retención de Ca, P, Mg y Zn a las 3 y 6 semanas de edad. Sin embargo, la retención de Ca lograda por la adición de fitasa no alcanzó los niveles de retención obtenidos con una dieta con contenido normal de

PNF. Aves alimentadas con dietas bajas en PNF mostraron menores PCT que aquellas suplementadas con fitasa, pero esta característica no fue afectada por el nivel dietético de PNF. Los investigadores concluyeron que la suplementación con fitasa a dietas bajas en PNF mejora el desempeño productivo, la retención de minerales (P, Ca, Mg y Zn) y el PCT.

Punna y Ronald (2001) estudiaron el efecto de la suplementación de fitasa en la incidencia y severidad de la condición de discondroplasia tibial (DT) en pollos. Las aves utilizadas fueron seleccionadas divergentemente para baja y alta incidencia de discondroplasia tibial (DT). Las aves fueron alimentadas con una dieta deficiente en P con el propósito de seleccionar aves con alta y baja sensibilidad a la deficiencia de P, de acuerdo al porcentaje de mortalidad observado. Las dos líneas seleccionadas fueron alimentadas con una dieta control (0.50% de PNF) y dos dietas conteniendo 0.10% de PNF con o sin la adición de fitasa (Natuphos[®] 600). Se midió el consumo de alimento y la tasa de crecimiento durante tres semanas. Además, se asignó un valor de 1 a 3 para cuantificar la severidad de los casos de lesiones de DT. La adición de fitasa no influyó en la incidencia de DT y de lesiones tipo 3 en aves seleccionadas para alta incidencia de la condición. En cambio se observó una disminución en la puntuación promedio de la condición y el número de casos tipo 3 en aves seleccionadas para baja incidencia. Los resultados demostraron que la suplementación de fitasa a dietas deficientes en PNF disminuye significativamente la incidencia y severidad de la DT en aves seleccionadas para una baja incidencia de la condición, pero no así en aves seleccionadas para alta incidencia.

Ribeiro et al. (2003) investigaron la interacción entre los niveles de P en la dieta, suplementación de fitasa y peletizado sobre el desempeño productivo y la composición mineral del hueso de pollos para engorda alimentados con altos niveles de salvado de arroz, utilizando 350 aves (Cobb x Cobb). Se compararon diez diferentes combinaciones que variaron en los niveles de inclusión de PNF (0, 0.80 ó 1.6 g/kg de NaHPO_4 ó 0.80 g/kg de fosfato dicálcico), la adición de fitasa (0 ó 290 FTU/kg) y el proceso de peletización (presente o ausente). También se determinó el contenido de ceniza de la tibia y la elasticidad del hueso. Los resultados indicaron que las aves alimentadas con dietas bajas en PNF con inclusión de fitasa a 290 FTU/kg obtuvieron una mejor GPC, CA y CAL. Con la suplementación de 0.80 g de PNF como fosfato dicálcico se obtuvo un aumento similar en variables de desempeño productivo, que con la suplementación de fitasa a 290 FTU/kg. No se observaron interacciones significativas entre la inclusión de fitasa y el proceso de peletización para ninguna de las variables estudiadas, sugiriendo que el peletizado no afectó la actividad de fitasa en el alimento. Además, la utilización de NaHPO_4 como fuente de Pi en la dieta aumentó significativamente el PCT y la fuerza necesaria para quebrar el hueso.

Yan et al. (2003a) evaluaron dietas con niveles modificados de PNF con y sin la suplementación de fitasa en pollos para engorda. Los tratamientos consistieron en dietas con y sin suplementación de fitasa en combinación a niveles estimados de PNF para maximizar el PC y el PCT. En adición, se evaluaron dos dietas formuladas con niveles de PNF por encima (+0.05) y por debajo (-0.05) de los estimados. Pollos alimentados con niveles de PNF para maximizar el desempeño productivo y los

alimentados para maximizar el PCT, con o sin fitasa, obtuvieron un PC similar a aves alimentadas con niveles de PNF normales. No se encontraron diferencias entre medias de CAL para ninguno de los tratamientos. Estos autores concluyeron, que los niveles de P requeridos para maximizar la CAL son menores a los requeridos para maximizar el PC y el PCT. El PCT de las aves alimentadas con niveles de PNF para maximizar dicho porcentaje y suplementadas con fitasa, no fue significativamente diferente al PCT de las alimentadas con niveles normales de PNF. La implementación de cualquiera de las estrategias de alimentación estudiadas resultó en una reducción de 40 a 50% del contenido de P en las heces fecales.

Yan et al. (2003b) condujeron dos estudios para determinar los requerimientos de PNF en pollos para engorda de 43 a 63 d de edad usando dietas con y sin la adición de fitasa. A partir de los 42 d de edad, las aves fueron suplementadas con uno de dos niveles de fitasa (0 u 800 FTU/kg) y uno de seis niveles de PNF (0.10 a 0.35%, en incrementos sucesivos de 0.05%). El nivel más bajo de PNF (con o sin fitasa) fue suficiente para obtener un PC y CAL similares al control. La interacción entre fitasa y PNF en la dieta afectó significativamente el PCT. Los resultados sugieren que para maximizar el PCT en ausencia de fitasa son necesarios niveles de 0.31, 0.23, y 0.22% de PNF a los 49, 56 y 63 d de edad, respectivamente. En presencia de fitasa es necesario añadir 0.15% de PNF a los 49 d y no más de 0.10% a los 56 y 63 d. Además, la aplicación de niveles reducidos de PNF en conjunto con la suplementación de fitasa redujo la excreción de P sin afectar el desempeño productivo o el desarrollo óseo.

OBJETIVO

El propósito de esta investigación fue determinar el efecto de la inclusión de enzima fitasa a dietas con niveles reducidos de PD sobre el desempeño productivo y componentes de la canal de pollos para engorda.

MATERIALES Y MÉTODOS

A. Facilidades

La investigación se llevó a cabo en las facilidades de la Granja Experimental para Animales Pequeños, localizada en la Estación Experimental Agrícola de Lajas. Se utilizó un rancho de piso en hormigón, techo en planchas de zinc y con laterales de tela metálica cubiertos por cortinas cuya altura fue ajustada según las condiciones climáticas de lluvia y temperatura. El rancho contó con 4 abanicos industriales de 20" de diámetro sujetos al techo y lámparas fluorescentes. Se utilizaron un total de 40 jaulas de dimensiones 4' x 4' construidas con tubo galvanizado y tela metálica, con viruta como material de camada a un espesor de 3". Cada jaula estaba equipada con 5 bebederos de niple y un comedero con capacidad neta de 6.4 kg. Durante la primera semana de edad se proporcionó una criadora eléctrica con una lámpara de 15 vatios y un bebedero de galón por jaula.

B. Manejo

Un total de 600 aves vacunadas³ de la línea Cobb⁴ fueron utilizadas en el experimento. Quince pollitos sin sexar, seleccionados al azar fueron pesados y ubicados en cada jaula. Las cortinas, criadoras, bebederos y comederos fueron ajustados para mantener una temperatura adecuada y garantizar la accesibilidad al agua y alimento. Se utilizó un régimen de luz de 24 h durante todo el experimento. Las aves, el alimento ofrecido y el rechazado fueron pesados semanalmente hasta los 49 días de edad para calcular el CA, el PC, la GPC y la CAA. La mortalidad fue monitoreada diariamente y el peso de las aves muertas utilizado para ajustar la CAL.

³ Vacunadas para viruela, Marek, Newcastle y bronquitis infecciosa.

⁴ To-Ricos Hatchery, Aibonito PR 00705.

C. Procesamiento

Al finalizar el periodo de crianza 5 aves por repetición, para un total de 20 por tratamiento, fueron seleccionadas al azar, identificadas con una pantalla numerada en el ala derecha, pesadas individualmente y colocadas en huacales, sin acceso a agua y alimento, por 12 h previo a la matanza. Las aves fueron sacrificadas con un corte en la arteria carótida y la vena yugular, colocados en conos metálicos y desangrados por 2 minutos. Las aves fueron escaldadas⁵, desplumadas⁶ mecánicamente y evisceradas manualmente. Una vez evisceradas se registró el peso de la canal y el peso de la grasa abdominal. Las canales fueron mantenidas en agua y hielo por 24 h, previo al trozado y deshuese, siendo trozadas en las piezas principales: pechuga, alas, patas y torso. Cada pieza fue pesada y los músculos de la pechuga (*Pectoralis major* y *minor*) deshuesados para determinar su peso. El rendimiento de la canal, grasa abdominal, cortes principales y músculos de la pechuga fueron determinados como porcentaje del peso vivo.

D. Dietas experimentales

Los ingredientes utilizados en las dietas fueron sometidos a análisis proximal (Dairy One Forage Lab - Ithaca, NY) previo a la formulación y preparación de las mismas. Las dietas fueron formuladas utilizando el programa Visual Least Cost Formulation - PRO-4⁷. Los pollos fueron sometidos a un régimen de alimentación de tres fases: inicio (1 – 21 d), crecimiento (22 – 35 d) y terminación (36 – 49 d). Las

⁵ Brower Scalding Model SS36SS, Brower, Houghton, IA 52631.

⁶ Brower Picker Model BP30SS, Brower, Houghton, IO 52631.

⁷Least Cost Formulation Concept4 – S. Version 4.01. Creative Formulation Concepts, LLC. 1831 Forest Drive Suite H. Annapolis, Maryland 21401.

dietas fueron diseñadas para ser isocalóricas e isoproteicas y proveer o exceder las recomendaciones para pollos para engorda del NRC (1994), según la fase de alimentación.

Se utilizaron 10 dietas experimentales que consistieron en: un control (PD, recomendado por el NRC), y 9 dietas combinando 300, 600, y 900 FTU/kg y formulación para reducir el contenido de PD recomendado en 0.05, 0.10, y 0.15% en las fases sucesivas de inicio, crecimiento y terminación. La fuente de enzima utilizada fue Natuphos 10,000 en forma granular⁸. Las cantidades de vitaminas y minerales, de un subproducto de la industria avícola y de la enzima fueron pesadas, pre-mezcladas e incorporadas a las cantidades de maíz, harina de soya y aceite vegetal de acuerdo a cada dieta experimental. Las dietas fueron homogenizadas en una mezcladora y confeccionadas en forma de amasijo. Muestras de todas las dietas experimentales utilizadas en cada periodo fueron enviadas a laboratorios comerciales para análisis proximal⁹ y para determinar la actividad de la enzima⁸.

E. Diseño experimental

Seiscientas aves fueron asignadas a 40 jaulas, cada una representando una repetición. Para la evaluación del desempeño productivo de los pollos, cada tratamiento contó con 4 repeticiones de 15 aves. Mientras que para la determinación del rendimiento de la canal y sus componentes cada tratamiento contó con 20 observaciones (aves) por tratamiento.

⁸ BASF – Animal Nutrition Division, North Mount Olive, NJ.

⁹ Dairy One Forage Lab - Ithaca, NY.

F. Variables y análisis estadístico

a. Desempeño productivo

Semanalmente los animales, el alimento ofrecido y el rechazado de cada jaula fueron pesados. Se determinó:

- i. CA por ave = $[(\text{alimento ofrecido} - \text{alimento rechazado}) / \text{número de aves}]$
- ii. PC por ave = $(\text{peso de aves} / \text{número de aves en la jaula})$
- iii. GPC por ave = $\{[(\text{peso corporal al día Y} + \sum \text{peso de animales muertos al día Y}) - \text{peso corporal al día X}] / \text{número de aves al día Y}\}$
- iv. CAA = $[\text{consumo de alimento hasta día Y} / (\sum \text{peso de animales muertos hasta día Y} + \text{ganancia en peso corporal hasta día Y})]$.

b. Rendimiento de la canal y sus componentes

La canal y sus componentes fueron pesados. Se calculó el RC (peso de la canal x 100 / peso vivo a los 49 días) y el rendimiento de sus componentes (peso de componente x 100 / peso vivo a los 49 días).

Las variables de desempeño productivo y características de la canal fueron analizadas utilizando un Diseño Completamente Aleatorizado (Lyman y Longnecker, 2001). Los datos se sometieron a un Análisis de Varianza (ANAVA) usando el procedimiento Modelo Lineal General de SAS[®] (SAS Institute, 1990). Se realizó la prueba de comparación múltiple de Tukey, para comparar las medias de interés.

El modelo utilizado fue:

$$Y_i = \mu + \alpha_i + \varepsilon_i;$$

en donde

Y_i = CA por ave, PC por ave, GPC por ave, CAA, RC o rendimiento de los componentes de la canal en base al peso vivo;

μ = media poblacional;

α_i = efecto de la combinación del factor RPD disponible y factor enzima;

ε_i = error experimental asociado a las dietas

Contrastes ortogonales fueron utilizados para obtener el efecto principal e interacciones de los factores RPD e inclusión de fitasa. Todas las aseveraciones de significancia están basadas en una probabilidad ≤ 0.05 .

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Dietas, actividad enzimática y contenido de P

El Cuadro 1.1 muestra la fórmula y composición calculada de nutrientes de la dieta control y las dietas basales deficientes en PNF por fase de alimentación. El Cuadro 1.2 muestra la actividad de enzima de cada dieta por fase de alimentación. El análisis de actividad de fitasa reveló que la misma fue mayor a la esperada. En el periodo de inicio las dietas con 300, 600 y 900 FTU/kg de inclusión teórica arrojaron promedios de 364, 862 y 1,258 FTU/kg, respectivamente. Durante la fase de crecimiento las actividades enzimáticas correspondientes fueron en promedio 355, 762 y 1,210 FTU/kg y en la fase de terminación, 359, 713 y 1,247 FTU/kg. El contenido de P total calculado y analizado se muestra en el Cuadro 1.3. A pesar de la variación existente entre los niveles esperados y analizados, el aumento lineal en actividad de fitasa y disminución del contenido de P de la dieta fue consistente a través de los tratamientos.

B. Desempeño productivo

a. Consumo de alimento

El Cuadro 1.4 muestra el efecto de la adición de diferentes niveles de fitasa a dietas con RPD sobre el CA de pollos para engorda. No se encontraron diferencias significativas en el CA, al observar promedios de 1,044, 1,934 y 2,344 g/ave, a los 21, 35 y 49 d, respectivamente. Existe una leve tendencia a que las aves recibiendo dietas con 0.05% RPD consumieron más alimento que aquellas bajo dietas con 0.10% y 0.15% RPD de 1 a 21 d de edad. Además, las aves del grupo control tendieron a

Cuadro 1.1. Fórmula porcentual y contenido de nutrientes de la dieta control y dietas basales con fósforo disponible reducido.

	Inicio (0 – 21 d)				Crecimiento (22 - 35 d)				Terminación (36 – 49 d)			
	Control	-0.05 AP	-0.10 AP	-0.15 AP	Control	-0.05 AP	-0.10 AP	-0.15 AP	Control	-0.05 AP	-0.10 AP	-0.15 AP
Ingredientes	(%)				(%)				(%)			
Maíz	53.73	54.11	54.29	54.57	63.86	63.59	63.87	64.15	70.48	70.48	70.48	69.00
Harina de soya	32.99	32.71	32.90	32.86	25.00	25.87	25.83	25.78	21.40	21.40	21.40	21.00
Subproducto Ind. Avícola	8.00	8.00	8.00	8.00	7.42	7.00	7.00	7.00	6.00	6.00	6.00	6.00
Aceite Vegetal	2.13	2.06	1.94	1.84	0.78	0.86	0.77	0.67	0	0	0	0.68
Carbonato calizo	0.88	1.04	1.19	1.35	1.13	1.20	1.35	1.51	0.59	0.88	1.17	2.00
Premezcla Vitaminas y Minerales	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.500	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Sal	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Fosfato Dicálcico	1.52	1.23	0.93	0.64	0.86	0.72	0.43	0.13	0.79	0.49	0.198	0
DL-Metionina	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0.15
L-Lisina	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0.15
Calculado												
Proteína cruda (%)	23.00	23.00	23.00	23.00	20.00	20.00	20.00	20.00	18.00	18.00	18.00	18.00
Energía Metabolizable (kcal/kg)	3,200	3,200	3,200	3,200	3,200	3,200	3,200	3,200	3,200	3,200	3,200	3,200
Grasa Cruda (%)	6.72	8.06	6.82	6.89	5.75	6.80	5.75	5.72	5.10	5.74	4.93	5.00
Ca (%)	1.00	1.00	1.00	1.00	0.90	0.90	0.90	0.90	0.80	0.80	0.80	0.80
P Total (%)	0.76	0.70	0.65	0.59	0.60	0.58	0.52	0.47	0.57	0.51	0.46	0.42
P disponible (%)	0.45	0.40	0.35	0.30	0.33	0.30	0.25	0.20	0.30	0.25	0.20	0.16
Metionina (%)	0.58	0.68	0.58	0.58	0.65	0.55	0.55	0.55	0.53	0.53	0.53	0.67
Met & Cys (%)	0.98	0.98	0.98	0.99	0.89	0.90	0.90	0.90	0.83	0.83	0.83	0.82
Lisina (%)	1.29	1.28	1.29	1.29	1.14	1.08	1.08	1.07	0.94	0.94	0.937	1.04

¹ Composición de la premezcla de vitaminas y minerales por kilogramo de dieta: Fe, 9000 mg; Cu, 1500 mg; Zn, 12,000 mg; Mn, 15,000 mg; Se, 40 mg; I, 0.6 mg; vitamina A, 2000 IU/g; colecalciferol, 450 IUg; vitamina E, 3000 IU; vitamina K, 300 mg; biotina, 10 mg; colina, 80,000 mg; ácido fólico, 200 mg; niacina, 6000 mg; ácido pantoteico, 2200 mg; piridoxina, 100 mg; riboflavina, 1500 mg; tiamina, 100 mg; vitmina B12, 2 mg.

Cuadro 1.2. Nivel de fitasa (FTU/kg de alimento) de dietas según el análisis de actividad de enzima por fase de alimentación.

Fase de alimentación	Nivel teórico de fitasa (FTU/kg)	Reducción de fósforo disponible (%)		
		0.05	0.10	0.15
Inicio (1 – 21 d)	300	362	371	360
	600	789	885	914
	900	1,376	1,308	1,089
Crecimiento (22 – 35 d)	300	346	386	332
	600	762	753	772
	900	1,177	1,247	1,207
Terminación (36 – 49 d)	300	267	391	419
	600	523	686	931
	900	1,063	1,164	1,515

Cuadro 1.3. Contenido de P total calculado y analizado de dietas con diferentes niveles de fósforo no fitato.

Tratamiento (FTU, RPD)	Inicio (1 – 21 d)			Crecimiento (22 – 35 d)			Terminación (36 – 49 d)		
	PD	P total	P total	PD	P total	P total	PD	P total	P total
		Calculado	Analizado		Calculado	Analizado		Calculado	Analizado
	%								
Control	0.45	0.75	0.65	0.33	0.63	0.59	0.30	0.57	0.47
300, 0.05	0.40	0.70	0.59	0.30	0.58	0.57	0.25	0.51	0.44
300, 0.10	0.35	0.65	0.55	0.25	0.52	0.48	0.20	0.46	0.37
300, 0.15	0.30	0.60	0.51	0.20	0.47	0.44	0.16	0.37	0.30
600, 0.05	0.40	0.70	0.57	0.30	0.58	0.53	0.25	0.51	0.43
600, 0.10	0.35	0.65	0.56	0.25	0.52	0.50	0.20	0.46	0.40
600, 0.15	0.30	0.60	0.52	0.20	0.47	0.41	0.16	0.37	0.33
900, 0.05	0.40	0.70	0.59	0.30	0.58	0.54	0.25	0.51	0.45
900, 0.10	0.35	0.65	0.57	0.25	0.52	0.47	0.20	0.46	0.35
900, 0.15	0.30	0.60	0.58	0.20	0.47	0.42	0.16	0.37	0.33

Cuadro 1.4. Efecto de la adición de diferentes niveles de fitasa a dietas con contenido reducido de PD sobre el consumo de alimento de pollos para engorda¹.

Tratamiento (FTU ² , RPD ³)	Consumo de alimento (g/ave)		
	1-21	22-35	36-49
	d		
Control	1,125	2,130	2,487
300, 0.05	1,092	2,092	2,315
300, 0.10	1,025	2,002	2,330
300, 0.15	975	1,760	2,250
600, 0.05	1,017	1,720	2,232
600, 0.10	1,000	1,892	2,427
600, 0.15	985	1,992	2,132
900, 0.05	1,025	1,882	2,452
900, 0.10	1,075	1,840	2,335
900, 0.15	1,117	2,025	2,477
EE ⁴	38.3	88.9	107.6
Análisis de varianza		Probabilidades	
Fuente de variación			
TRT	0.07	0.04	0.33
Contrastes			
FTU	0.09	0.52	0.17
RPD	0.83	0.93	0.19
FTU x RPD	0.13	0.02	0.37

Letras distintas en una misma columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$).

¹n = 60 aves por media.

²FTU = cantidad de fitasa que libera 1 μ mol de Pi por minuto de .00015/L de fitato de sodio a pH 5.5 a 37°C.

³RPD = Reducción en P disponible de los requerimientos de NRC.

⁴EE = Error estándar

comer más que las de los demás tratamientos. Estos resultados concuerdan con los hallazgos de Beltrán-López et al. (2000) quienes no encontraron diferencias en el CA en aves hasta los 21 días, al utilizar dietas con contenidos variables de PD (0.15, 0.27, 0.39 y 0.51%) y suplementadas con fitasa (0, 200, 400, 600 FTU/kg). Al igual, Namkung y Leeson (1999) encontraron que aves alimentadas con dietas de RPD hasta en un 0.35% y suplementadas con 1,149 FTU/kg mostraron un CA similar a aves alimentadas con dietas con niveles de PNF normales y sin fitasa. Se observó una interacción entre los dos factores de estudio a los 35 d de edad (Figura 1.1). Las aves alimentadas con dietas con 0.15% RPD consumieron menos alimento al ser suplementadas con 300 FTU/kg y aumentaron su consumo con la suplementación a 600 y 900 FTU/kg. Las aves alimentadas con dietas con 0.05% RPD superaron el consumo de los grupos antes mencionados al ser suplementadas con 300 FTU/kg, contrario a las suplementadas con 600 y 900 FTU/kg y 0.05% RPD. Las aves alimentadas con dietas con 0.10% RPD mantuvieron valores intermedios entre los otros niveles de RPD, excepto al ser suplementadas con 900 FTU/kg donde el consumo fue menor al de las aves alimentadas con los otros dos niveles de RPD. Dilger et al. (2004) encontraron que la suplementación con 500 y 750 FTU/kg mejoró el CA en las aves hasta los 22 d. Por otro lado, Silversides et al. (2004) obtuvieron un mayor CA hasta los 21 d con dietas peletizadas conteniendo niveles adecuados de PD comparado a dietas deficientes en PD (0.23%) sin la adición de fitasa. Dicha diferencia pudo deberse a que en los estudios de Dilger et al. (2004) y Silversides et al. (2004) se utilizaron enzimas provenientes de *Escherichia coli*. Estudios recientes indican que la fitasa producida por *E. coli* puede ser más eficiente que la fitasa

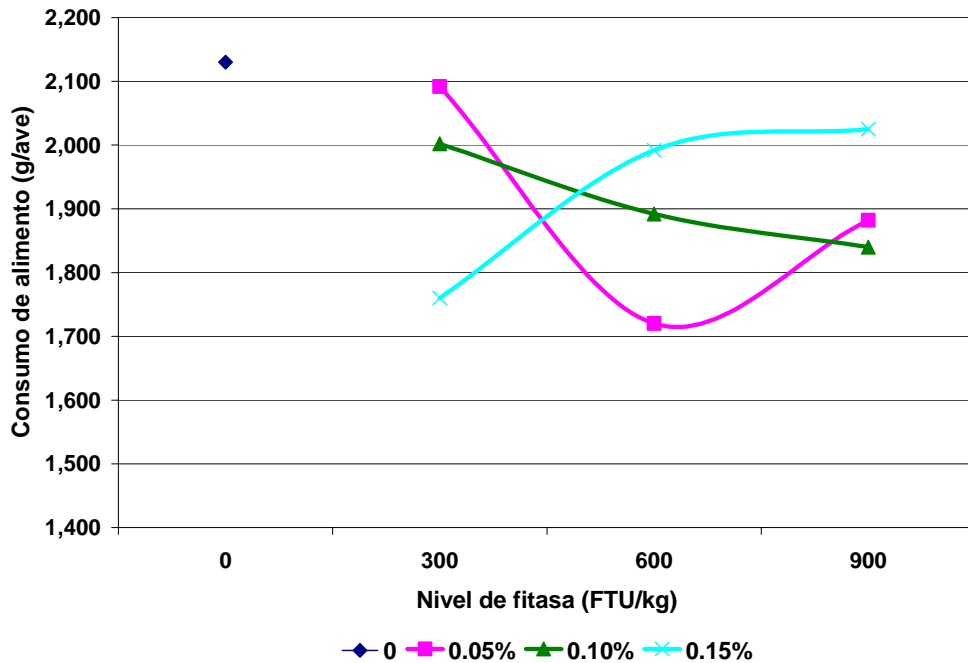


Figura 1.1. Interacción de la inclusión de fitasa y la reducción de PD en el consumo de pollos para engorda.

proveniente de hongos en la hidrólisis del enlace de P en la molécula de fitato. Augspurger et al. (2003) sugirieron que las diferencias en pH óptimo y en capacidad hidrolítica en el tracto digestivo exhibida por diferentes fitasas quizá expliquen las diferencias en el desempeño productivo observado cuando diferentes fuentes de fitasa son incluidas en dietas bajas en PD.

b. Peso corporal

El Cuadro 1.5 muestra el efecto de la adición de diferentes niveles de fitasa a dietas con RPD sobre el PC. En los periodos de inicio y terminación no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos en PC, promediando de 809 y 2,769 g/ave, respectivamente. Se verificó la interacción entre los factores de

Cuadro 1.5. Efecto de la adición de diferentes niveles de fitasa a dietas con contenido reducido de PD sobre el peso corporal de pollos para engorda¹.

Tratamiento (FTU ² , RPD ³)	Peso Corporal (g/ave)		
	1-21	22-35	36-49
	d		
Control	790	1,750 ^{AB}	2,667
300, 0.05	860	1,892 ^A	2,882
300, 0.10	793	1,777 ^{AB}	2,800
300, 0.15	750	1,700 ^B	2,747
600, 0.05	827	1,777 ^{AB}	2,647
600, 0.10	800	1,697 ^B	2,683
600, 0.15	822	1,867 ^{AB}	2,790
900, 0.05	822	1,800 ^{AB}	2,810
900, 0.10	795	1,747 ^{AB}	2,800
900, 0.15	827	1,812 ^{AB}	2,865
EE ⁴	25.1	37.0	68.0
Análisis de varianza		Probabilidades	
Fuente de variación			
TRT	0.22	0.01	0.22
Contrastes			
FTU	0.70	0.95	0.08
RPD	0.11	0.03	0.77
FTU x RPD	0.19	0.01	0.37

Letras distintas en una misma columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$).

¹n = 60 aves por media.

²FTU = cantidad de fitasa que libera 1 μmol de Pi por minuto de .00015/L de fitato de sodio a pH 5.5 a 37°C.

³RPD = Reducción en P disponible de los requerimientos de NRC.

⁴EE = Error estándar

estudio para el peso corporal a los 35d de edad (Figura 1.2). Sin embargo, se observó que las aves alimentadas con dietas con 0.15 y 0.10% RPD y suplementadas con 300 y 600 FTU/kg, respectivamente, pesaron menos. Por lo tanto, la inclusión de 300 y 600 FTU/kg no compensa la remoción de PD (0.15 y 0.10%, respectivamente) de las dietas. Lan et al. (2002) no encontraron diferencias en PC de aves alimentadas con dietas bajas en PD (0.24% de 1 – 21 d de edad y 0.23% de 22 – 42 d de edad) suplementadas con fitasa (0, 250, 500, 750 ó 1,000 FTU/kg) versus una dieta normal, hasta los 35 d de edad, pero a los 42 d las aves alimentadas con una dieta deficiente en PD y sin fitasa pesaron menos que las de los otros tratamientos. Mídillí et al. (2003) encontraron que al añadir 500 FTU/kg se alcanzó el mejor desempeño productivo, comparado a adiciones de 300 y 700 FTU/kg. Zhang et al. (2000) no encontraron diferencias en el PC de aves alimentadas con dietas bajas en PD (0.21%) y dos fuentes de fitasa (origen vegetal modificado genéticamente y de hongo) a niveles de 200, 500 y 2,500 FTU/kg.

Los resultados del presente experimento sugieren que el PC de las aves puede ser afectado de los 22 a los 35 d de edad por el porcentaje de PD en la dieta y la adición de fitasa, pero la adición de la enzima en las fases de inicio y terminación no resulta en un mayor PC.

c. Ganancia en peso corporal

En Cuadro 1.6 expone el efecto de la adición de diferentes niveles de fitasa a dietas con RPD sobre la GPC. No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos en la GPC al observar promedios de 767, 974, 991 g/ave hasta los 21, 35 y 49 días, respectivamente. Yonemochi et al. (2003) no encontraron diferencias en

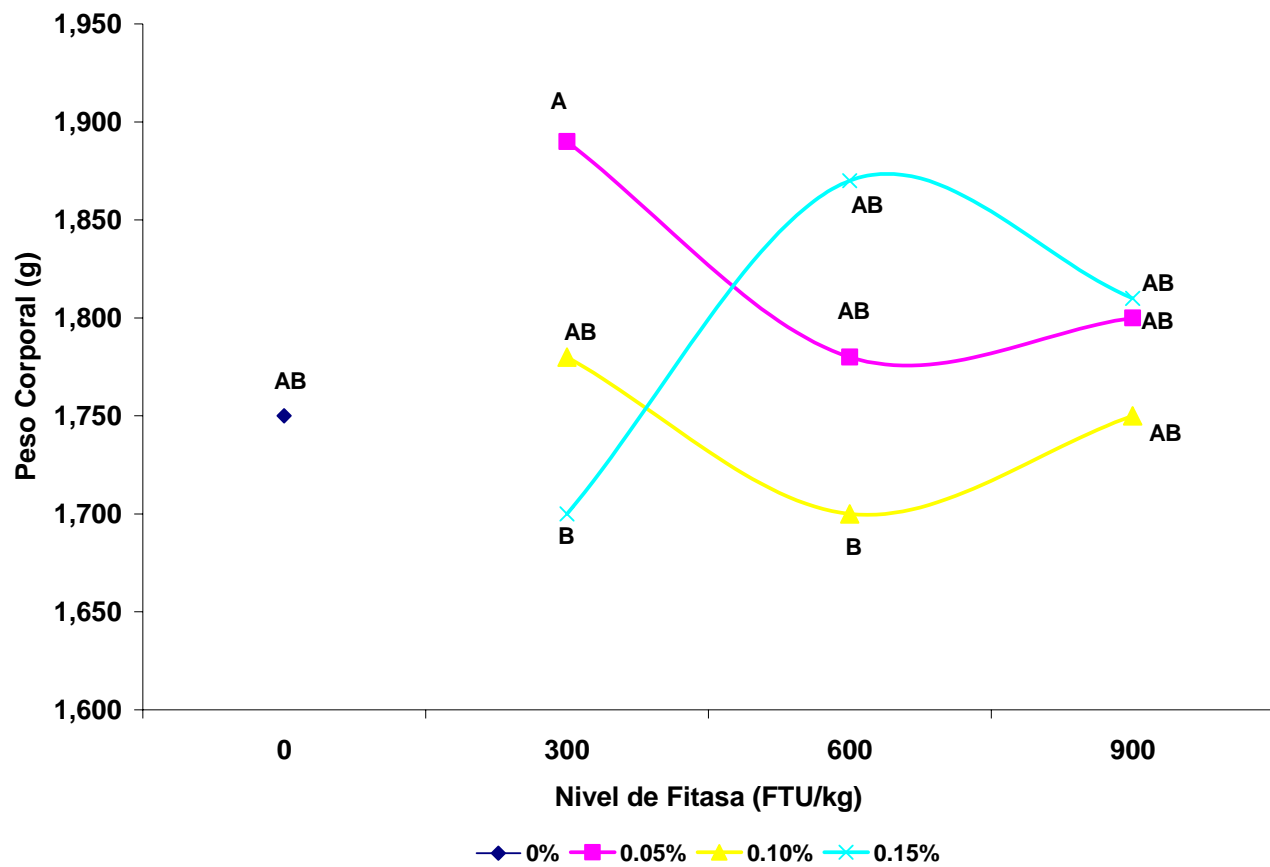


Figura 1.2. Interacción de la inclusión de fitasa y reducción de PD en el peso corporal de pollos para engorda.

Cuadro 1.6. Efecto de la adición de diferentes niveles de fitasa a dietas con contenido reducido de PD sobre la ganancia en peso corporal de pollos para engorda¹.

Tratamiento (FTU ² , RPD ³)	Ganancia en Peso Corporal (g/ave)		
	1-21	22-35	36-49
	d		
Control	747	945	917
300, 0.05	817	1,027	1,042
300, 0.10	750	1,005	1,055
300, 0.15	715	995	1,032
600, 0.05	783	942	823
600, 0.10	755	885	960
600, 0.15	782	1,045	923
900, 0.05	775	983	1,010
900, 0.10	757	925	1,090
900, 0.15	785	987	1,055
EE ⁴	25.2	35.1	61.3
Análisis de varianza		Probabilidades	
Fuente de variación			
TRT	0.32	0.08	0.10
Contrastes			
FTU	0.80	0.17	0.01
RPD	0.17	0.06	0.32
FTU x RPD	0.22	0.18	0.87

Letras distintas en una misma columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$).

¹n = 60 aves por media.

²FTU = cantidad de fitasa que libera 1 μ mol de Pi por minuto de .00015/L de fitato de sodio a pH 5.5 a 37°C.

³RPD = Reducción en P disponible de los requerimientos de NRC.

⁴EE = Error estándar

la GPC hasta los 49 días en aves alimentadas con niveles reducidos de PD (0.32 y 0.28% de los 0 – 21 d y 22 – 49 d, respectivamente) y la adición de 500 FTU/kg, comparadas con aves alimentadas con niveles de PD adecuados. Por otro lado, Yan et al. (2001) observaron que la GPC fue mayor en aves alimentadas con niveles dietéticos de PD mayores a 0.15%, en comparación con 0.10% de PD. Además, la presencia de 800 FTU/kg en la dieta ofrecida de 21 a 42 d aumentó la GPC, en comparación con la no suplementación. Sin embargo, de 42 a 63 d de edad la GPC no varió significativamente entre tratamientos dietéticos deficientes en PD (a diferentes niveles), con o sin la presencia de la enzima fitasa. Viveros et al. (2002) encontraron que la disminución en el contenido dietético de PD (0.35 y 0.22% de 1 a 21 d de edad) y (0.27 y 0.14% de 22 a 42 d) disminuyó la GPC en comparación con una dieta control, mientras la adición de 500 FTU/kg mejoró la GPC en ambos intervalos. Se observó un efecto principal de fitasa en la GPC durante la fase de terminación de los 36 a 49 d de edad, al obtener las aves alimentadas con 300 y 900 FTU/kg una mayor GPC (1,043 y 1,052 g, respectivamente) que las alimentadas con 600 FTU/kg (902 g), mientras el control no difirió de los demás tratamientos (917 g/ave) (Figura 1.3). Denbow et al. (1998) observaron una respuesta lineal en el GPC a aumentos en la inclusión de fitasa a 400, 800 y 1,200 FTU/kg a los 14 y 21 d.

Los resultados del presente experimento no muestran una tendencia clara en cuanto a la cantidad de fitasa que debe ser añadida a la dieta de RPD para aumentar la

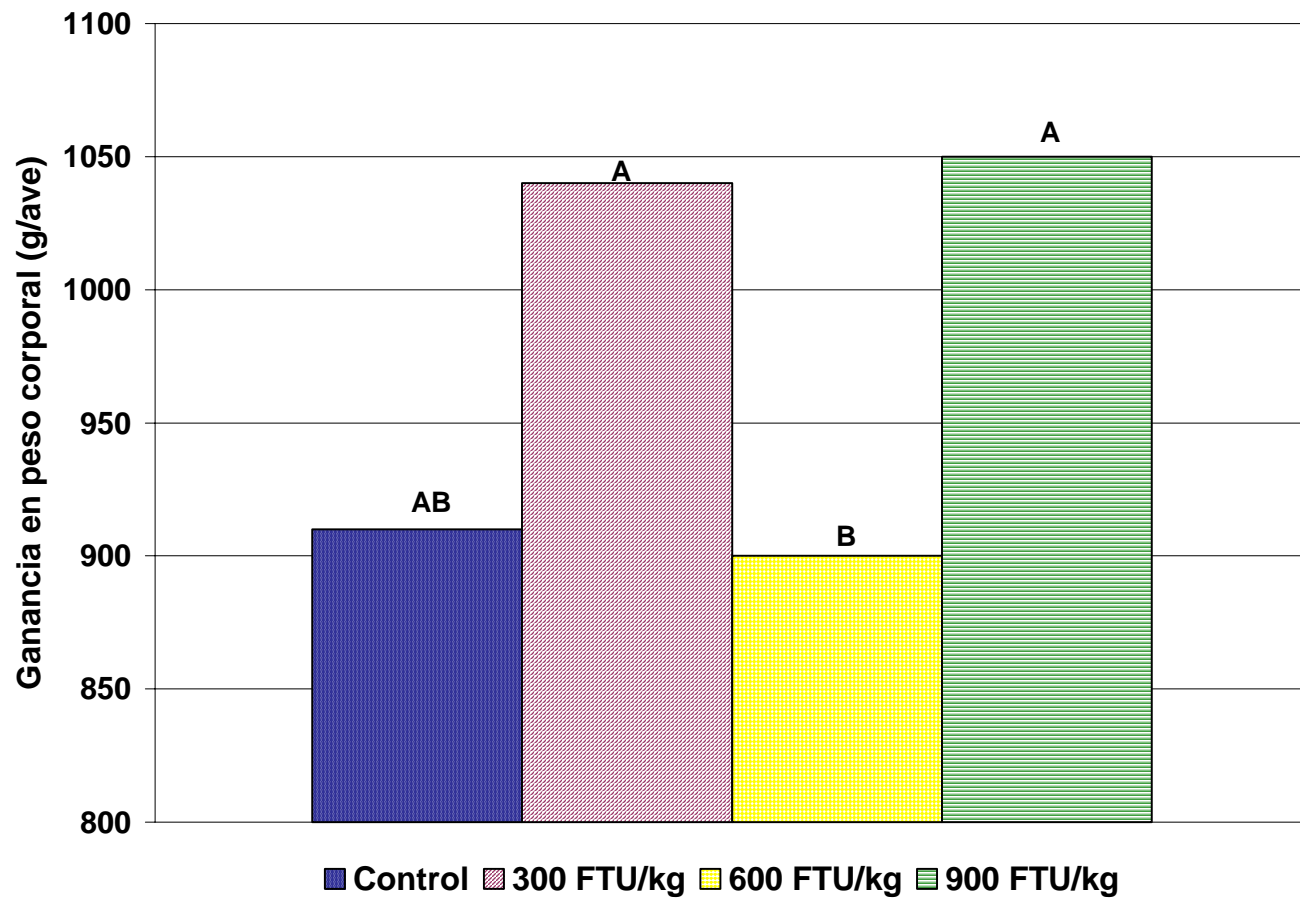


Figura 1.3. Efecto principal de la adición de fitasa a la dieta de pollos de engorda sobre la ganancia en peso corporal de los 36 a 49 d de edad.

GPC. Sin embargo, se obtuvo evidencia que la adición de fitasa a 300 FTU/kg puede ser suficiente para optimizar la GPC. Esta cantidad logró compensar el PD removido a la dieta hasta en un 0.15%. Presumiblemente esta mejoría en la GPC se debe a que la fitasa rompe los enlaces de P de la molécula de fitato. Además, varios autores indican un segundo modo de acción de la fitasa al aumentar la digestibilidad de almidón (Johnston et al., 2004), proteína (Selle et al., 2003) y otros minerales (Sebastian et al., 1997) necesarios para el crecimiento del animal.

d. Conversión alimenticia ajustada

El Cuadro 1.7 muestra el efecto de la adición de diferentes niveles de fitasa a dietas con RPD sobre la CAA de pollos para engorda. De los 1 a 21 d de edad la CAA no fue diferente entre tratamientos, aunque se observó una tendencia a peor conversión del control que en los demás tratamientos. De los 22 – 35 d la CAA fue significativamente mejor para las aves suplementadas con 600 FTU/kg (0.05, 0.10% RPD) en comparación con el control. En cambio, en el periodo de 36 – 49 d todos los otros tratamientos excepto los de 300 FTU/kg y 0.05 ó 0.10 de RPD tuvieron una mejor CAA que el control, destacándose la combinación dietética 900, 0.10. A los 35 d, se detectó un efecto principal de inclusión de fitasa, las aves suplementadas con 600 FTU/kg mostraron una mejor CAA (1.68) que el grupo control (1.92) (Figura 1.4), mientras los resultados obtenidos con 300 FTU/kg (1.78) y 900 FTU/kg (1.75) fueron similares los obtenidos con el control y 600 FTU/kg. A los 49 d la CAA de las aves que consumieron dietas conteniendo 600 y 900 FTU/kg (2.00 y 1.98, respectivamente) fue significativamente mejor que la de aquellas alimentadas con 300

Cuadro 1.7. Efecto de la adición de diferentes niveles de fitasa a dietas con contenido reducido de PD sobre la conversión alimenticia acumulativa ajustada de pollos para engorda¹.

Tratamiento (FTU ² , RPD ³)	Conversión alimenticia acumulativa ajustada (g / g)		
	1-21	22-35	36-49
	d		
Control	1.48	1.92 ^A	2.23 ^A
300, 0.05	1.36	1.78 ^{AB}	2.08 ^{ABC}
300, 0.10	1.41	1.84 ^{AB}	2.11 ^{AB}
300, 0.15	1.44	1.73 ^{AB}	2.00 ^{BC}
600, 0.05	1.34	1.65 ^B	2.04 ^{BC}
600, 0.10	1.35	1.69 ^B	1.98 ^{BC}
600, 0.15	1.32	1.71 ^{AB}	1.98 ^{BC}
900, 0.05	1.39	1.75 ^{AB}	2.04 ^{BC}
900, 0.10	1.39	1.72 ^{AB}	1.90 ^C
900, 0.15	1.43	1.78 ^{AB}	2.01 ^{BC}
EE ⁴	0.04	0.05	0.04
Análisis de varianza		Probabilidades	
Fuente de variación			
TRT	0.27	0.02	<0.01
Contrastes			
FTU	0.12	0.04	0.03
RPD	0.73	0.83	0.12
FTU x RPD	0.79	0.42	0.10

Letras distintas en una misma columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$).

¹n = 60 aves por media.

²FTU = cantidad de fitasa que libera 1 μ mol de Pi por minuto de .00015/L de fitato de sodio a pH 5.5 a 37°C.

³RPD = Reducción en P disponible de los requerimientos de NRC.

⁴EE = Error estándar

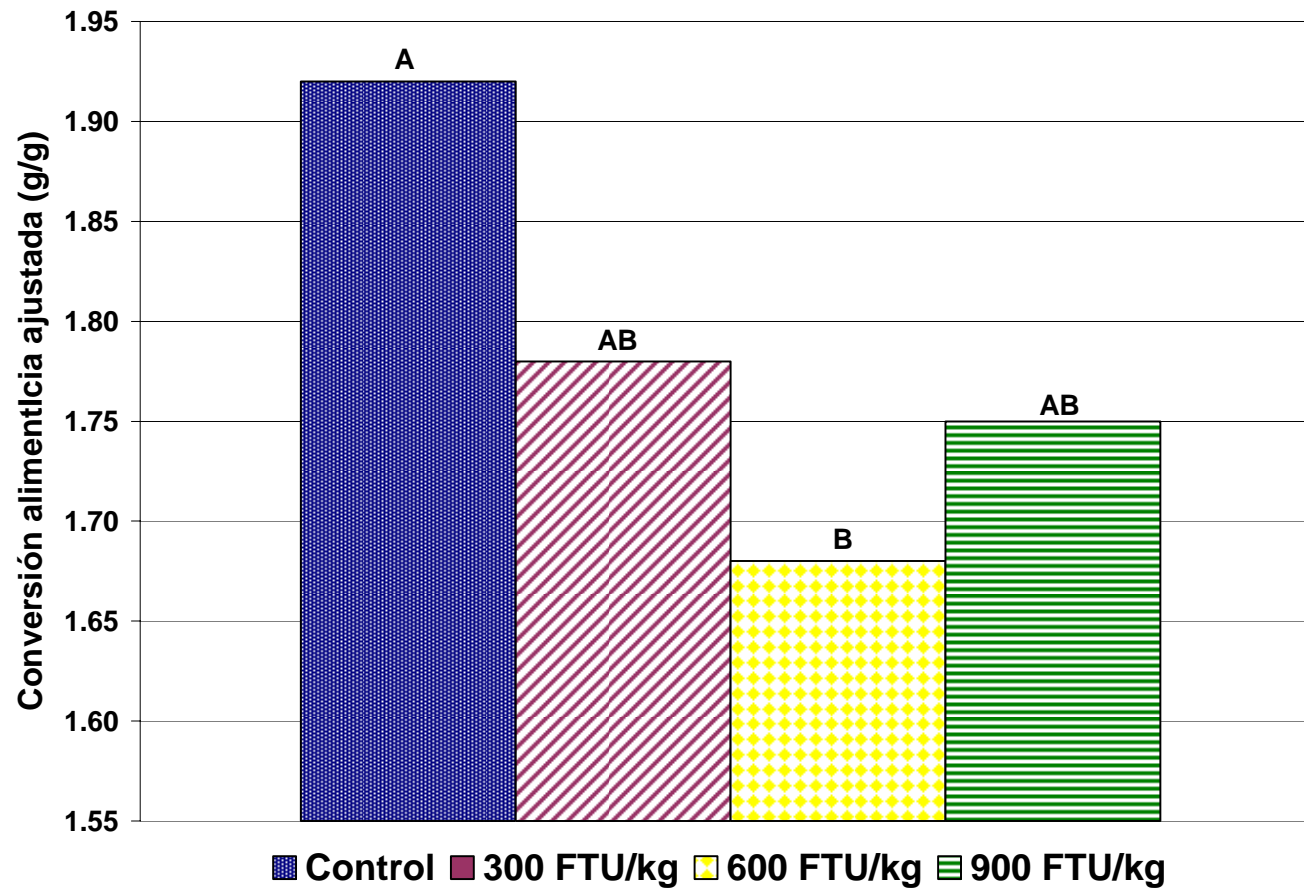


Figura 1.4. Efecto principal de inclusión de fitasa sobre la conversión alimenticia ajustada de pollos para engorda de 22 a 35 d de edad.

FTU/kg (2.06). El grupo control fue el menos eficiente con una CAA de 2.23 (Figura 1.5). Augspurger et al. (2003) reportaron que la CAL de pollos alimentados con 1000 FTU/kg fue mejor que la de aquellos alimentados con 500 FTU/kg. Sohail y Roland (1999) observaron que aves alimentadas con niveles de 0.325% PD en la dieta obtuvieron una mejor CAL a los 28 d que las alimentadas con 0.225 y 0.425%. Sin embargo, no observaron diferencias en la CAL con la adición de 300 ó 600 FTU/kg a las dietas. Además, a partir de los 35 d no encontraron diferencias en la CAL atribuibles al nivel de PD, nivel de fitasa o su interacción. Onyango et al. (2004) informaron que la adición de 1,000 FTU/kg a dietas con 0.12 y 0.24% PD mejoró la CAL, haciéndola similar a la de las aves del grupo control (0.50% PD). Sebastian et al. (1997) reportaron que la adición de 600 FTU/kg no influenció la CAL independientemente del sexo a los 7, 14 ó 19 d de edad, con respecto al control.

En el presente experimento la adición de fitasa a 600 FTU/kg fue adecuada para obtener una mejor CAA en comparación con el control. Esto significa que con dicha adición el contenido de PD en la dieta se puede reducir en un 0.15% sin afectar la CAA.

C. Rendimiento de la canal y sus componentes

Los Cuadros 1.8 y 1.9 muestran el efecto de la adición de diferentes niveles de fitasa a dietas con RPD sobre el peso y rendimiento porcentual de la canal y sus componentes de pollos para engorda. En los pollos sacrificados no se encontraron diferencias significativas en peso vivo, peso de la canal, ni peso de los cortes principales (Cuadro 1.8). Sin embargo, el RC fue mayor para las aves alimentadas con 600 FTU/kg, 0.10% RPD en comparación con las del tratamiento con 300 FTU/kg, 0.15% RPD, mientras el resto de los tratamientos fueron similares entre sí (Cuadro 1.9).

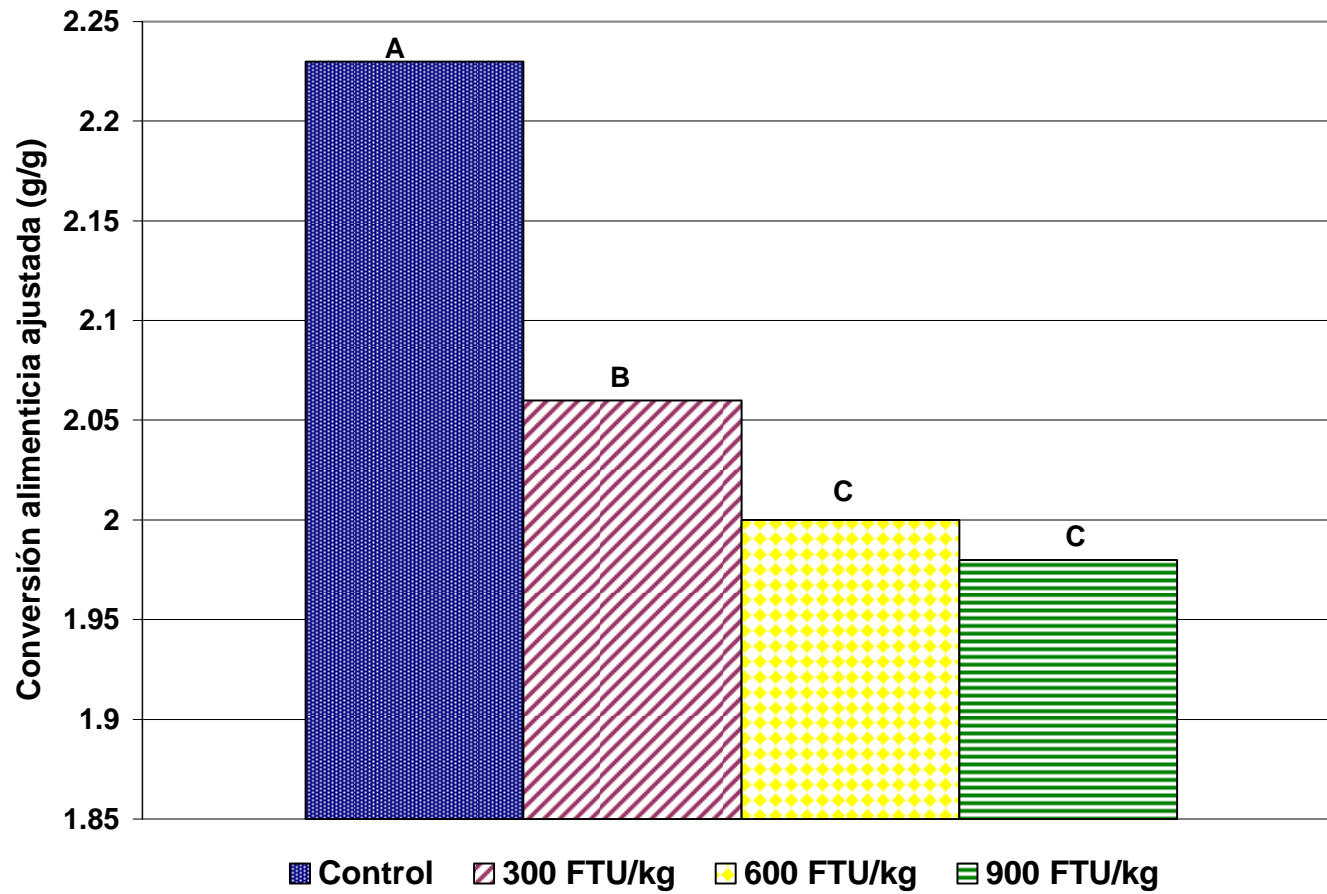


Figura 1.5. Efecto principal de inclusión de fitasa sobre la conversión alimenticia ajustada de pollos de engorda de 36 a 49 d de edad.

Cuadro 1.8. Efecto de la adición de diferentes niveles de fitasa a dietas con contenido reducido de PD sobre peso de la canal y sus componentes en pollos para engorda¹.

Tratamientos (FTU ² , RPD ³)	Peso Vivo ⁴	Peso LPC ⁵	Peso de pieza						
			<i>Pechuga</i>	<i>Carne pechuga</i> ⁶	<i>Alas</i>	<i>Muslos y caderas</i>	<i>Grasa Abdominal</i>	<i>Torso</i>	
									g
Control	2,905.91	2,246.25	712.38	513.09	243.81	643.87	54.61	405.74	
300, 0.05	3,030.68	2,365.00	777.17	557.80	253.31	689.01	58.02	416.57	
300, 0.10	2,930.91	2,288.75	740.61	546.76	250.27	666.80	57.77	407.59	
300, 0.15	3,008.18	2,301.25	744.33	533.83	251.46	683.81	45.50	387.14	
600, 0.05	2,894.09	2,283.75	744.95	548.77	243.16	671.25	48.87	394.99	
600, 0.10	2,856.36	2,277.50	730.62	518.18	240.88	672.86	53.48	385.72	
600, 0.15	3,010.45	2,338.75	763.39	556.20	252.78	684.36	48.17	407.80	
900, 0.05	2,987.73	2,362.50	758.93	539.83	251.78	703.49	55.77	417.38	
900, 0.10	2,980.46	2,318.75	737.61	540.23	251.40	685.25	47.52	416.33	
900, 0.15	3,016.82	2,352.50	764.47	560.00	255.15	689.66	51.85	411.85	
EE ⁷	76.94	61.39	20.98	15.87	6.65	21.41	3.44	13.57	
Análisis de varianza			Probabilidades						
Fuente de variación									
TRT	0.76	0.92	0.60	0.42	0.84	0.81	0.95	0.65	
Contrastes									
FTU	0.41	0.67	0.88	0.89	0.37	0.61	0.44	0.23	
RPD	0.36	0.66	0.31	0.44	0.58	0.73	0.11	0.80	
FTU x RPD	0.58	0.75	0.73	0.49	0.66	0.84	0.42	0.28	

Letras distintas en una misma columna son estadísticamente diferentes (p≤.05).

¹n = 20 aves por media.

²FTU = cantidad de fitasa que libera 1µmol de Pi por minuto de .00015/L de fitato de sodio a pH 5.5 a 37°C.

³RPD = Reducción en P disponible de los requerimientos de NRC.

⁴Peso corporal a los 49 d de edad, 12 h antes de la matanza.

⁵Peso canal caliente, libre de plumas, patas, pescuezo y vísceras.

⁶Peso del *Pectorales major + P. minor*.

⁷EE = Error estándar

Mídillí et al. (2003) encontraron que la adición de 500 FTU/kg mejoró el RC. El porcentaje de grasa abdominal y de músculo de la pechuga fueron similares en todos los tratamientos. Yonemochi et al. (2003) no observaron diferencias en el porcentaje de grasa abdominal entre las aves que recibieron la dieta control y aquellas suplementadas con 500 FTU/kg de fitasa.

D. Mortalidad

El Cuadro 1.10 muestra el efecto de la adición de diferentes niveles de fitasa a dietas con RPD sobre la mortalidad de pollos para engorda. El porcentaje de mortalidad no difirió entre los tratamientos individuales. Sin embargo, se observó un efecto principal de fitasa, al morir más de las aves que recibieron 300 FTU/kg de las de 900 FTU/kg. El porcentaje de mortalidad para el nivel suplementario de 600 FTU/kg no difirió de los otros dos niveles.

Las diferencias existentes en varios criterios de evaluación entre los resultados de la presente investigación y los de otros investigadores pueden atribuirse a diversos factores como: el origen y los niveles de enzima utilizados; los ingredientes empleados en las dietas; la presencia de otros aditivos, como vitaminas o minerales, como variables bajo estudio; el manejo de las aves, su línea genética y el clima, entre otros.

Cuadro 1.9. Efecto de la adición de diferentes niveles de fitasa a dietas con contenido reducido de PD sobre el rendimiento de la canal y de sus componentes en pollos para engorda¹.

Tratamientos (FTU ² , RPD ³)	Porcentajes ⁴						
	<i>Rendimiento</i> ⁵	<i>Pechuga</i>	<i>Carne pechuga</i> ⁶	<i>Alas</i>	<i>Muslos y caderas</i>	<i>Grasa abdominal</i>	<i>Torso</i>
	%						
Control	77.39 ^{AB}	24.59	17.76	8.42	22.13	1.89	13.94
300, 0.05	78.04 ^{AB}	25.60	18.36	8.35	22.65	1.94	13.77
300, 0.10	78.09 ^{AB}	25.27	18.69	8.55	22.76	2.00	13.87
300, 0.15	76.53 ^B	24.75	17.75	8.38	22.70	1.52	12.92
600, 0.05	78.91 ^{AB}	25.76	19.00	8.43	23.18	1.71	13.65
600, 0.10	79.74 ^A	25.62	18.20	8.44	23.57	1.89	13.47
600, 0.15	77.62 ^{AB}	25.35	18.47	8.43	22.70	1.58	13.50
900, 0.05	79.03 ^{AB}	25.42	18.09	8.45	23.49	1.88	13.96
900, 0.10	77.77 ^{AB}	24.84	18.21	8.44	22.90	1.63	13.93
900, 0.15	78.09 ^{AB}	25.43	18.63	8.47	22.85	1.72	13.65
EE ⁷	0.61	0.41	0.38	0.14	0.32	0.12	0.26
Análisis de varianza			Probabilidades				
Fuente de variación							
TRT	0.02	0.48	0.35	1.00	0.08	0.06	0.16
Contrastes							
FTU	0.06	0.46	0.60	0.97	0.19	0.60	0.23
RPD	0.03	0.41	0.81	0.84	0.33	0.03	0.08
FTU x RPD	0.53	0.78	0.21	0.67	0.59	0.44	0.24

Letras distintas en una misma columna son estadísticamente diferentes (p<0.05).

¹n = 20 aves por media.

²FTU = cantidad de fitasa que libera 1μmol de Pi por minuto de .00015/L de fitato de sodio a pH 5.5 a 37°C.

³RPD = Reducción en P disponible de los requerimientos de NRC.

⁴Todos expresados como porcentajes con respecto al peso vivo a los 49 d de edad, 12 h antes de la matanza.

⁵Rendimiento = (Peso canal caliente, libre de plumas, patas, pescuezo y viseras / peso vivo a los 49 d de edad, 12 h antes de la matanza)*100.

⁶ Porcentaje de carne de pechuga = (Peso del *Pectoralis major* + *P. minor* / Peso vivo a los 49 d de edad, 12 h antes de la matanza) * 100.

⁷EE = Error estándar

Cuadro 1.10. Efecto de la adición de diferentes niveles de fitasa a dietas con contenido reducido de PD sobre la mortalidad en pollos para engorda¹.

Tratamientos (FTU ² , RPD ³)	Mortalidad
	%
Control	6.7
300, 0.05	8.3
300, 0.10	13.4
300, 0.15	13.3
600, 0.05	5.0
600, 0.10	3.4
600, 0.15	11.7
900, 0.05	3.4
900, 0.10	6.7
900, 0.15	1.7
EE ⁴	3.4
Análisis de varianza	Probabilidades
Fuente de variación	
TRT	0.17
Contrastes	
FTU	0.03
RPD	0.48
FTU x RPD	0.37

Letras distintas en una misma columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$).

¹n = 60 aves por media.

²FTU = cantidad de fitasa que libera 1 μ mol de Pi por minuto de .00015/L de fitato de sodio a pH 5.5 a 37°C.

³RPD = Reducción en P disponible de los requerimientos de NRC.

⁴EE = Error estándar

CONCLUSIONES

A pesar de cierta falta de consistencia, los resultados de este experimento indican que:

- La adición de fitasa es útil si se desea reducir el contenido de Pi de la dieta de pollos de engorda sin afectar el CA, PC, GPC, CAA y composición de la canal.
- La adición de 300 FTU/kg de alimento puede ser suficiente para obtener un efecto de aumentar el CA y la GPC.
- El nivel dietético de fósforo disponible puede ser reducido hasta por un 0.15% por debajo del recomendado por el NRC, si se añade al menos 300 FTU/kg sin afectar el CA y la GPC.
- De los 22 – 35 d de edad (fase de crecimiento) el PC de las aves puede ser afectado por el porcentaje de PD en la dieta y el nivel de fitasa en la dieta.
- La adición de fitasa en las fases de inicio y terminación puede que no resulte en un mayor peso.
- Niveles de 600 y 900 FTU/kg pueden afectar positivamente la CAA y RC, en ausencia de niveles de PD adecuados.
- La mortalidad no está relacionada a la reducción de PD dentro de los límites estudiados.

BIBLIOGRAFÍA

- Al-Marzooqi, W. y S. Leeson. 1999. Evaluation of dietary supplements of lipase, detergent, and crude porcine pancreas on fat utilization by young broiler chicks. *Poultry Sci.* 78:1561-1566.
- Applegate, T. J., B. C. Joern, D. L. Nussbaum-Wagler, y R. Angel. 2003. Water-soluble phosphorus in fresh broiler litter is dependent upon phosphorus concentration fed but not on fungal phytase supplementation. *Poultry Sci.* 82:1024-1029.
- Augspurger, N. R., D. M. Webel, X. G. Lei, y D. H. Baker. 2003. Efficacy of an *E. coli* phytase expressed in yeast for releasing phytate-bound phosphorus in young chicks and pigs. *J. Anim. Sci.* 81: 474-483.
- Augspurger, N. R. y D. H. Baker. 2004. High dietary phytase levels maximize phytate-phosphorus utilization but do not affect protein utilization in chicks fed phosphorus- or amino acids-deficient diets. *J. Anim. Sci.* 82:1100-1107.
- Beltrán-López, J., M. Cuca-García, M. J. González-Alcorta, y A. Pró-Martínez. 2000. Estimated phosphorous requirement with and without added phytase of starting broiler chicks. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.* 8(1):1-7.
- Biehl, R. R. y D. H. Baker. 1997. Utilization of phytate and nonphytate phosphorus in chicks as affected by source and amount of vitamin D₃. *J. Anim. Sci.* 75:2986-2993.
- Calvert, C. C., R. J. Besecker, M. P. Plumlee, T. R. Cline y D. M. Forsyth. 1978. Apparent digestibility of phosphorus in barely and corn for growing swine. *J. Animal Sci.* 47:420 - 426.
- Cherydan, M. 1980. Phytic interaction in food system. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition.* 13:297-335.
- Denbow, D. M., E. A. Grabau, G. H. Lacy, E. T. Kornegay, D. R. Russell y P. F. Umbeck. 1998. Soybeans transformed with a fungal phytase gene improve phosphorus availability for broilers. *Poultry Sci.* 77:878-881.
- Dibner, J. J. y J. D. Richards. 2005. Antibiotic growth promoters in agriculture: history and mode of action. *Poultry Sci.* 84:634-643.
- Dilger, R. N., E. M. Onyango, J. S. Sands y O. Adeola. 2004. Evaluation of microbial phytase in broiler diets. *Poultry Sci.* 83:962-970.

- Douglas, M. W., C. M. Peter, S. D. Boling, C. M. Parson y D. H. Baker. 2000. Nutritional evaluation of low phytate and high protein corns. *Poultry Sci.* 79:1586 – 1591.
- Huff, W. E., P.A. Moore, P. W. Waldroup, A. L. Waldroup, J. M. Balog, G. R. Huff, N. C. Rath, T. C. Daniel, y V. Raboy. 1998. Effect of dietary phytase and high available phosphorus corn on broiler chicken performance. *Poultry Sci.* 77:1899-1904.
- Johnston, S. L., S. B. Williams, L. L. Southern, T. D. Binder, L. D. Bunting, J. O. Matthews y 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.
- Klopfenstein, T., R. Angel, G. L. Cromwell, G. E. Erickson, D. G. Parson, L. D. Satter y A. L. Sutton. 2002. Issue Paper: Animal diet modification to decrease the potential for nitrogen and phosphorus pollution. Council for Agricultural Science and Technology. 21:1-16.
- Lan, G. Q., N. Abdullah, S. Jalaludin, y Y. W. Ho. 2002. Efficacy of supplementation of a phytase-producing bacterial culture on the performance and nutrient use of broiler chickens fed corn-soybean meal diets. *Poultry Sci.* 81:1522-1532.
- Lázaro, R., M. García, P. Medel y G. G. Mateos. 2003. Influence of enzymes on performance and digestive parameters of broilers fed rye-based diets. *Poultry Sci.* 82:132-140.
- Lyman, R. y M. Longnecker. 2001. An introduction to Statistical methods and data analysis. 5th ed. Duxbury. Pacific Grove. CA 1152 p.
- Mabe, I., C. Rapp, M. M. Bain y Y. Nys. 2003. Supplementation of corn-soybean meal diet with manganese, copper and zinc from organic or inorganic sources improves eggshell quality of aged laying hens. *Poultry Sci.* 82:1903-1913.
- Martínez, G. S., L. Olivieri, J. A. Castro, O. Muñiz-Torres y J. L. Guzmán. 1999. Phosphorus status of soils from the poultry zone in Puerto Rico. *J. Agric. Univ. P.R.* 83(1-2):1-17.
- Meng, X., B. A. Slominski, C. M. Nyachoti, L. D. Campbell y W. Guenter. 2005. Degradation of cell wall polysaccharides by combinations of carbohydrase enzymes and their effect on nutrient utilization and broiler chicken performance. *Poultry Sci.* 84:37-47.

- Mıdillı, M., Ö. H. Muđlali, M. Alp, N. Kocabađlı, M. A. Tanör, y G. S. Toklu. 2003. The effect of dietary phytase supplementation of fattening performance and mineral balance of broilers (Abstract). *Turk. J. Vet. Anim. Sci.* 27:751-759.
- Miles, D. M., P. A. Moore, Jr., D. R. Smith, D. W. Rice, H. L. Stilborn, D. R. Rowe, B. D. Lott, S. L. Branton, y J. D. Simmons. 2003. Total and water-soluble phosphorus in broiler litter over three flocks with alum litter treatment and dietary inclusion of high available phosphorus corn and phytase supplementation. *Poultry Sci.* 82:1544-1549.
- Namkung, H. y S. Leeson. 1999. Effect of phytase enzyme on dietary nitrogen-corrected apparent metabolizable energy and the ileal digestibility of nitrogen and amino acids in broiler chicks. *Poultry Sci.* 78:1317-1319.
- National Research Council (NRC). 1994. *Nutrient Requirements of Poultry*. 9th rev. ed. National Academy Press, Washington, D.C.
- Nelson, T. S. 1967. The utilization of phytate P by poultry - a review. *Poultry Sci.* 46:862 - 869.
- Onyango, E. M., J. S. Sands, O. Adeola, y R. N. Dilger. 2004. Evaluation of microbial phytase in broiler diets. *Poultry Sci.* 83:962-970.
- Onyango, E. M., M. R. Bedford, y O. Adeola. 2005. Efficacy of an evolved *Escherichia coli* phytase in diets of broiler chicks. *Poultry Sci.* 84:248-255.
- Parks, C. W., J. L. Grimes, P. R. Ferket y A. S. Fairchild. 2001. The effect of mannanoligosaccharides, bambarmycin, and virginiamycin on performance of large white male market turkeys. *Poultry Sci.* 80:718-723.
- Punna, S. y D. A. Roland. 2001. Influence of dietary phytase supplementation on incidence and severity in broilers divergently selected for tibial dyschondroplasia. *Poultry Sci.* 80:735-740.
- Ravindran, V., S. Cabahug, G. Ravindran, y W. L. Bryden. 1999. Influence of microbial phytase on apparent ileal amino acid digestibility of feedstuffs for broilers. *Poultry Sci.* 78:699-706.
- Ravindran, V., P. H. Selle, G. Ravindran, P. C. H. Morel, A. K. Kies y W. L. Bryden. 2001. Microbial phytase improves performance, apparent metabolizable energy, and ileal amino acid digestibility of broilers fed a lysine-deficient diet. *Poultry Sci.* 80:338-344.

- Ribeiro, I. A. M. L., A. J. Mireles y K. C. Klasing. 2003. Interactions between dietary phosphorus level, phytase supplementation and pelleting on performance and bone parameters of broilers fed high levels of rice bran. *Anim. Feed Sci. Tech.* 103(1-4):155-161.
- Rutherford, S. M., T. K. Chung, P. C. H. Morel y P. J. Moughan. 2004. Effect of microbial phytase on ileal digestibility of phytate phosphorus, total phosphorus, and amino acids in a low-phosphorus diet for broilers. *Poultry Sci.* 83:61-68.
- SAS Institute. 1990. SAS® / STAT guide for personal computers. Version 6.12 edition. SAS Institute Inc. Cary, NC.
- Sebastian, S., S. -P. Touchburn, E. R. Chávez, y P. C. Lague. 1997. Apparent digestibility of protein and amino acids in broiler chickens fed a corn-soybean diet supplemented with microbial phytase. *Poultry Sci.* 76:1760-1769.
- Selle, P. H., V. Ravindran, P. H. Pittolo y W. L. Bryden. 2003. Effects of phytase supplementation of diets with two tiers of nutrient specifications on growth performance and protein efficiency ratios of broiler chickens. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 16:1158 – 1164.
- Silversides, F. G., T. A. Scott, y M. R. Bedford. 2004. The effect of phytase enzyme and level on nutrient extraction by broilers. *Poultry Sci.* 83:985-989.
- Sohail, S. S. y D. A. Roland, Sr. 1999. Influence of supplemental phytase on performance of broilers four to six weeks of age. *Poultry Sci.* 78:550-555.
- Viveros, A., A. Brenes, I. Arija y C. Centeno. 2002. Effects of microbial phytase supplementation on mineral utilization and serum enzyme activities in broiler chicks fed different levels of phosphorus. *Poultry Sci.* 81:1172-1183.
- Wendt, P. y M. Rodehutsord. 2004. Investigations on the availability of inorganic phosphate from different sources with growing White Pekin ducks. *Poultry Sci.* 83:1572-1579.
- Yan, F., J. H. Kersey y P. W. Waldroup. 2001. Phosphorus requirements of broiler chicks three to six weeks of age as influenced by phytase supplementation. *Poultry Sci.* 80:455-459.

- Yan, F., C. A. Fritts y W. Waldroup. 2003a. Evaluation of modified dietary phosphorus levels with and without phytase supplementation on live performance and fecal phosphorus levels in boiler diets. 1. Full-term feeding recommendations. *J. Appl. Poult. Res.* 12:174-182.
- Yan, F., J. H. Kersey, C. A. Fritts y P. W. Waldroup. 2003b. Phosphorus requirements of broiler chicks six to nine weeks of age as influenced by phytase supplementation. *Poultry Sci.* 82:294-300.
- Yonemochi, C., H. Fujisaki y H. Takagi. 2003. Effect of amino acid, enzyme mixture and phytase added to low protein and low phosphorus diet on performance and excretion of nitrogen and phosphorus in broilers. *Poultry Sci.* 40:114-120.
- Zhang, Z. B., E. T. Kornegay, J. S. Radcliffe, J. H. Wilson y H. P. Veit. 2000. Comparison of phytase from genetically engineered *Aspergillus* and canola in weanling pig diets. *J. Anim Sci.* 78: 2868-2878.

CAPÍTULO II

**EFFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN DE FITASA A
DIETAS CON NIVELES REDUCIDOS DE FÓSFORO
DISPONIBLE SOBRE LA CENIZA DE LA TIBIA Y
CONTENIDO FECAL DE MINERALES EN POLLOS
PARA ENGORDA**

ABSTRACT

The availability of phosphorus and other essential minerals in broiler diets are limited by phytic acid, resulting in an excess of mineral excretion. Recent studies had found alternatives to reduce phosphorus excretion, one of which is supplementation with phytase enzymes. An experiment was conducted to evaluate the effects of supplementation of phytase to broiler diets with AP levels reduced below NRC requirements on tibia ash and mineral fecal content. Treatments consisted of a control diet formulated to contain 0.45, 0.40, and 0.35% AP for the periods of 1 - 21, 22 - 35, and 36 - 49 d, respectively, and diets with the AP reduced by 0.05, 0.10 and 0.15% from that of the control with phytase addition of 300, 600, and 900 FTU/kg in each of the three growth phases. A total of 600 chicks were randomly distributed to 40 floor pens with 4 replicate pens of 15 birds. At 21, 28, 35, 42, and 49 d, two birds per replicate pen were wing banded and placed in stainless steel metabolic cages and used for determination of mineral fecal content. Total fecal output was collected for 72 h from 3 to 7 wk of age and analyzed for total content of P, Ca, Mn, and Zn. At 49 d, a total of 200 birds were processed and the right tibia excised and used for bone ash determination. Tibia ash content was similar for all treatments imposed, averaging 36.2%. Fecal P content was significantly higher in birds fed control diets than in those fed diets with reduced AP and supplemented with phytase. However, P fecal content was observed to decrease significantly in a linear fashion as AP decreased regardless of phytase level. No differences in total fecal content of Mg, and Zn were observed among treatments. There was a significant and concomitant increase in Ca fecal content as the dietary AP decreased, which can be attributed to undesirable increases

in the Ca:P ratio resulting from the reduction in dietary AP. There was a significant quartic response in excretion of all minerals with age, which remained constant from 21 to 35 d, peaked at 42 d, and was lowest at 49 d of age. The data suggest that diets formulated to contain 0.15% AP less than NRC recommendations and with phytase addition of 300 FTU/kg significantly reduce mineral excretion without compromising bone integrity.

RESUMEN

La disponibilidad de fósforo y otros minerales esenciales en dietas de pollos para engorda son limitados por el ácido fítico, resultado excreción excesiva de minerales. Estudios recientes han encontrado alternativas para reducir la excreción de P, una de las cuales es la suplementación con la enzima fitasa. Se realizó un experimento para evaluar los efectos de la suplementación de fitasa a las dietas de pollos para engorda con RPD relativo a los requisitos del NRC, sobre el contenido fecal de minerales y PCT. Los tratamientos consistieron en una dieta control formulada para contener 0.45, 0.40, y 0.35% PD en los periodos de 1 – 21, 22 - 35, y 36 - 49 d de edad, respectivamente, y dietas con niveles de PD reducido en 0.05, 0.10 y 0.15% por debajo de la dieta control y con la adición de 300, 600 y 900 FTU/kg en cada una de las tres fases de crecimiento. Un total de 600 pollos fueron distribuidos aleatoriamente en 40 jaulas de piso con 4 repeticiones de 15 aves. A los 21, 28, 35, 42 y 49 d, dos aves por repetición fueron identificadas y colocadas en jaulas metabólicas para la determinación de la excreción fecal de minerales. Desde la tercera hasta la séptima semana de edad, las heces fueron recolectadas por 72 h y analizadas para el contenido total de P, Ca, Mg y Zn.

A los 49 d, un total de 200 aves fueron procesadas, la tibia derecha extraída y utilizada para la determinación del contenido de ceniza del hueso. El PCT fue similar para todos los tratamientos, con promedio de 36.2%. La excreción fecal de P fue mayor en aves alimentadas con la dieta control al compararlas con aquellas alimentadas con dietas RPD y suplementadas con fitasa. Además, el contenido fecal de P disminuyó linealmente según aumentó la reducción de PD en la dieta. No se

observaron diferencias en el contenido fecal Mg y Zn entre tratamientos. Hubo un aumento significativo en el contenido fecal de Ca según disminuyó el PD en la dieta, lo cual se puede atribuir al aumento indeseable en el coeficiente de Ca:P resultado de la reducción en el PD de la dieta. Se observó una respuesta cuártica significativa en el contenido fecal de todos los minerales con la edad. El contenido fecal de minerales se mantuvo constante a partir de los 21 a los 35 d, alcanzó un máximo a los 42 d, y luego un mínimo a los 49 d de edad. Los resultados sugieren que dietas formuladas con 0.15% RPD relativo a lo recomendado por el NRC y suplementadas con 300 FTU/kg reducen significativamente la excreción mineral sin comprometer la integridad del hueso.

INTRODUCCIÓN

El maíz y la soya son los recursos alimenticios más utilizados en pollos para engorda. Sin embargo, sólo de un 10 a un 30% del fósforo (P) de estos granos es utilizado eficazmente. El P restante no puede ser utilizado por las aves, debido a la carencia de las enzimas endógenas necesarias. Por consiguiente, la baja disponibilidad del P en los granos hace imprescindible la inclusión de Pi en las dietas. Esta práctica trae como consecuencia una mayor excreción fecal de P y ciertos otros minerales, los cuales se incorporan a la camada. El alto contenido de nutrientes conferido por la excreción fecal, hace de la camada un fertilizante comúnmente utilizado para diversos cultivos.

Por otro lado, el problema de contaminación por P de suelos y cuerpos de agua a causa de la utilización agronómica de camada como fertilizante se ha convertido en un problema internacional. En el año 2000, en los Estados Unidos de América se produjeron alrededor de 10 millones de toneladas métricas de camada proveniente de la industria de pollos para engorda (Miles y Sistani, 2002). El exceso de ácido fítico y Pi de la camada llega a los cuerpos de agua a través de las escorrentías, promoviendo el proceso de eutrofización.

Un método alternativo para reducir la cantidad de P excretado en las heces de los animales es la suplementación con enzima fitasa. La enzima fitasa hidroliza los enlaces creados entre el ácido fítico y el P, otros minerales y proteínas (Sebastian et al., 1997), haciendo disponibles estos nutrientes para el animal. Por lo tanto, es posible reducir el contenido de PD en la dieta por debajo de lo recomendado por el

NRC (1994), sin afectar el crecimiento, desarrollo o desempeño productivo de las aves.

REVISIÓN DE LITERATURA

Mundialmente la gallinaza es utilizada como fertilizante debido a su alto contenido de P y N (Parker y Perkins, 1959). Sin embargo, las escorrentías llevan el P no utilizado por las plantas a los lagos y embalses aumentando el contenido de P en el agua. De esta manera prolifera la vegetación acuática, provocando la disminución del oxígeno disuelto y privando a la fauna del mismo hasta causar su muerte (Chapman, 1996).

Los gobiernos, alertados por la situación, se han dado a la tarea de regular la disposición de este tipo de desecho con el propósito de restaurar y mantener la integridad biológica y química del agua. Investigaciones recientes han encontrado soluciones económicamente viables para disminuir la contaminación por P. Entre éstas se encuentra el uso de fitasa microbiana como suplemento en alimentos para aves (Jalal y Scheideler, 2001; Punna y Roland et al., 2001; Viveros et. al., 2002; Keshavarz, 2000); otra solución es la utilización de ingredientes con bajo contenido de P (Douglas et al. 2000; Li et al. 2000; Ceylan et al. 2003) como también la combinación de ambas estrategias.

Las fitasas son enzimas capaces de hidrolizar el ácido fítico hasta inositol, liberando P y otros minerales (Kornegay, 2001). Estas enzimas pueden provenir de plantas, microorganismos o tejido animal. La fitasa de origen microbiano más utilizada en la actualidad es producida por el hongo *Aspergillus* y posee dos pH óptimos de actividad: 2.5 y 5.5. Esta propiedad la hace más efectiva por unidad de actividad que la fitasa de origen vegetal. Una unidad de fitasa activa (FTU) equivale a la cantidad de fitasa que libera 1 μ mol de Pi en 1 minuto de 5.1 mmol de solución de

fitato de Na a 37° C y un pH de 5.5. Tanto en pollos como en cerdos se ha probado que la fitasa es efectiva para aumentar la disponibilidad del P en dietas basadas en harina de maíz y soya (Qian et al., 1997; Lan et al., 2002; Viveros et al., 2002).

Onyango et al. (2005) estudiaron una fitasa derivada de *Escherichia coli* para evaluar su eficacia mejoradora del desempeño productivo y utilización de nutrientes de pollos para engorda de 8 a 22 d de edad. Un total de 449 aves fueron alimentadas con una de seis dietas. Se utilizó una dieta con 0.50% PD (adecuada) y una dieta con 0.12% PD (baja), además, de 4 dietas bajas en PD, suplementadas con 0.75 ó 1.5 g de Pi procedente de fosfato monosódico, o suplementadas con 500 ó 1,000 FTU/kg. Se midió el CA, GPC, CAA, PCT y de digestibilidad amino ácidos. La alimentación con fitasa resultó en mayor GPC, CA y PCT, pero no afectó la CAA en comparación con la dieta baja en PD. El PCT mostró una respuesta lineal a la suplementación con fitasa. La adición de fitasa mejoró la retención de P, al compararse con el resultado en las aves alimentadas con la dieta baja en PD, mostrando la retención de P y Ca una respuesta lineal. La suplementación con fitasa también aumentó la retención de arginina, histidina, treonina, triptófano, valina, aspartato y prolina.

Augspurger y Baker (2004) llevaron a cabo tres ensayos para investigar el efecto de altos niveles de tres tipos de fitasa en la utilización de P. Las tres fitasas se derivaban de *Aspergillus* (FP1), *Peniophora* (FP2) y *E. coli* (ECP). En el primer ensayo, se comparó la eficacia de FP1 y ECP a diferentes niveles de la enzima (500, 1,000, 5,000 y 10,000 FTU/kg) en dietas suplementadas con uno de cinco niveles de Pi (0, 0.05, 0.10, 0.15 y 0.20%). El segundo ensayo se realizó para confirmar los resultados de PCT del primer ensayo. Se utilizaron los tres tipos de fitasa, los cinco

niveles de PD del primer ensayo y tres niveles de fitasa (1,000, 5,000 y 10,000 FTU/kg). En el tercer ensayo, se utilizaron dietas basales deficientes en PD con o sin suplementación de 0.35% PD. Los otros tratamientos consistieron de dietas deficientes en PD en combinación con la adición de 5,000 FTU/kg de ECP ó 10,000 FTU/kg de ECP, FP1 o FP2. En los tres ensayos se determinó la GPC, CAA y PCT. En el primer ensayo, la GPC y la CAA a los 21 d de edad fueron mejor en aves suplementadas con ECP que en aquellas alimentas con FP1 a 500 y 1,000 FTU/kg. Aves alimentadas con dietas suplementadas con 5,000 y 10,000 FTU/kg de ambas fitasas obtuvieron GPC y CAA similares. El PCT fue mayor en aves suplementadas con ECP que en aves que recibieron con FP1 hasta 5,000 FTU/kg. A 10,000 FTU/kg no se observaron diferencias en el PCT entre ECP Y FP1. El PCT fue superior en aves alimentadas con 10,000 FTU/kg que en aquellas alimentadas con 0.20% de PD en la dieta. En el segundo ensayo la GPC y la CAA aumentaron cuadráticamente en respuesta a la suplementación con PD. Se verificó una interacción entre el tipo de fitasa (ECP vs. FP1 y FP2) y el nivel de actividad enzimática (1,000 vs. > 1,000 FTU/kg) para todas las variables, maximizando ECP su respuesta a 1,000 FTU/kg. Las fitasas derivadas de hongos fueron más eficientes según aumentaba el nivel de la enzima. La ECP fue más eficiente que FP1 y FP2 cuando todos los tipos de enzimas se incluyeron a niveles similares. La suplementación con ECP, independientemente del nivel, produjo una mayor respuesta en PCT que la suplementación con 0.20% PD. En el tercer ensayo la adición de ECP y FP1 produjo una mayor GPC que la adición de FP2. El PCT fue mayor al suplementar con ECP, que con FP1 o FP2. De estas dos, FP1 fue más eficaz que FP2. Los investigadores concluyeron que la adición a la

dieta de una fitasa eficaz para liberar P de ácido fítico logra mejorar el desempeño productivo y el PCT. Además, la adición de 5,000 a 10,000 FTU/kg de fitasa derivada de ECP logra hidrolizar el 100% de los enlaces de Pf.

Waldroup et al. (2000) estudiaron la habilidad de aves de 0 a 21 d de edad para utilizar el P proveniente de MAPD y del MBPD. Además, determinaron el nivel de fitasa adecuado para reducir la demanda de P en la dieta y disminuir la excreción de P. Se suplementó con niveles de 0.10 a 0.50% de PD a las dietas con MBPD, y niveles de 0.18 a 0.50% a las dietas con MAPD. También se suplementó o no con 800 FTU/kg. Se determinó el PC, la CAA y el PCT. La adición de fitasa a las dietas bajas en PD mejoró el PC. Sin embargo, la adición de fitasa a dietas con niveles apropiados de PD no afectó el PC de las aves. La CAA mejoró con la suplementación de fitasa a las dietas, pero fue similar entre ambos tipos de maíz. Contrario a la GPC, la CAA resultó mejor con dietas basadas en MAPD y suplementadas con fitasa que con la combinación fitasa y MBPD. El PCT aumentó cuando los pollos fueron alimentados con bajos niveles de PD y suplementados con fitasa, pero no al usar altos niveles de PD. La suplementación de fitasa aumentó significativamente el PCT, independientemente del tipo de maíz utilizado en la dieta. Sin embargo, el incremento fue mayor para las aves alimentadas con MBPD, especialmente a bajos niveles de PD. El contenido de P en las heces fecales aumentó según aumentó el nivel de PD necesario para maximizar el PCT. Los investigadores concluyeron que la utilización de MAPD más fitasa a un nivel que pueda optimizar el PCT, puede reducir el P de las heces hasta por un 47%. En el caso de la utilización de MBPD más fitasa, la reducción de P en las heces puede llegar hasta un 28%.

Además, la excreción de P puede ser reducido sin menoscabo del desempeño productivo mediante la reducción de PNF en la dieta, suplementación con fitasa y utilización de ingredientes genéticamente modificados como el MAPD.

Sebastian et al. (1997) investigaron la eficacia de una fitasa de origen microbiano en el desempeño productivo, retención relativa de P, Ca, Cu y Zn, y contenido de minerales del plasma sanguíneo y el hueso. Los tratamientos consistieron de una dieta con nivel adecuado de PD (control), una dieta baja en PD y otra dieta baja en PD suplementada con fitasa a razón de 600 FTU/kg. El PC de las aves alimentadas con 600 FTU/kg fue similar al control. Aves suplementadas con fitasa mostraron un mayor CA, que las que recibieron la dieta baja en PD. Sin embargo, la CAA fue similar entre las tres dietas estudiadas. La suplementación con fitasa mejoró la retención relativa de P, Ca, Cu y Zn, mientras resultó en un mayor contenido de P pero menor contenido de Ca en el plasma. No se encontraron diferencias significativas en el PCT entre el grupo control y las aves suplementadas con fitasa. Se concluyó que la suplementación de fitasa a dietas bajas en P es eficaz para lograr mejorar el crecimiento, la retención mineral y la mineralización del hueso en pollos para engorda de 21 d de edad.

Zhang et al. (2000) compararon la eficacia de una fitasa de origen microbiano (Natuphos®) y una de origen vegetal (Phytaseed®) sobre la utilización de P en dietas basadas en maíz y harina de soya en aves de 35 d de edad. Los niveles de actividad evaluados fueron: 250, 500 y 2,500 FTU/kg. Los tratamientos consistieron en una dieta basal deficiente en PD (0.21%) y la incorporación de ambas enzimas a niveles de 250, 500 y 2,500 FTU/kg a la misma. Semanalmente, hasta los 35 d de

edad, se midió el PC, CA y la excreción de P y Ca. No se encontraron diferencias significativas entre los tipos de fitasa para ninguna de las variables evaluadas. La GPC y el CA mostraron un aumento cuadrático según aumentaba el nivel de fitasa. La CAA mostró un comportamiento lineal negativo con respecto al nivel de fitasa añadido. La excreción de P y Ca disminuyó con la suplementación de fitasa de un modo cuadrático, pero no hubo efecto significativo en cuanto al Ca. Los investigadores concluyeron que tanto Natuphos® como Phytaseed® son igualmente eficaces para mejorar el desempeño productivo y disminuir la excreción de P fecal en pollos para engorda. Además, la mayor adición de fitasa a 2,500 FTU/kg resultó más efectiva que las menores de 250 ó 500 FTU/kg.

OBJETIVO

Determinar el efecto de la adición de diferentes niveles de fitasa a dietas con niveles reducidos por debajo de PD establecido por el NRC sobre el contenido fecal de minerales (P, Ca, Mg y Zn) y el porcentaje de ceniza de la tibia de pollos para engorda.

MATERIALES Y MÉTODOS

Detalles sobre las facilidades, manejo y procesamiento de los pollos utilizados se describen en el Capítulo I.

Los ingredientes utilizados fueron analizados (Dairy One Forage Lab - Ithaca, NY) previo a la formulación y preparación de las dietas. La formulación de las dietas se llevó a cabo con el programa Visual Least Cost Formulation - PRO-4¹⁰. Los pollos fueron sometidos a un régimen de alimentación de tres fases: inicio (1 – 21 d), crecimiento (22 – 35 d) y terminación (36 – 49 d).

Se utilizaron 10 dietas experimentales que consistieron en: un control (PD, recomendado por el NRC), y 9 dietas que combinaron 300, 600, y 900 FTU/kg (Natuphos 10,000 G) de fitasa y de reducciones de 0.05, 0.10, y 0.15% del contenido de PD recomendado por el NRC en en las fases sucesivas de inicio, crecimiento y terminación. Las dietas fueron homogenizadas en una mezcladora y ofrecidas en forma de amasijo. Muestras de todas las dietas experimentales utilizadas en cada periodo fueron analizadas para análisis proximal¹¹ y actividad enzimática¹².

Seiscientas aves fueron asignadas a 40 jaulas, cada jaula representando una repetición.

A. Determinación de ceniza de la tibia

A los 49 d de edad, 5 aves por repetición seleccionadas al azar para un total de 20 por tratamiento fueron procesadas según descrito en el Capítulo I. El porcentaje de ceniza de la tibia fue determinado según el procedimiento descrito por la AOAC

¹⁰Least Cost Formulation Concept4 – S. Version 4.01. Creative Formulation Concepts, LLC. 1831 Forest Drive Suite H. Annapolis, Maryland 21401.

¹¹ Dairy One Forage Lab - Ithaca, NY.

¹² BASF – Animal Nutrition Division. North Mount Olive, NJ.

de 1990. El muslo derecho de cada ave fue removido y el hueso de la tibia extraído. La grasa adherida a los huesos fue removida sumergiendo los mismos en acetona por 24 h, secados al horno a 110°C. El hueso seco libre de grasa fue calcinado en una incineradora a 750° C por 48 h. El peso de las cenizas fue calculado como un porcentaje del peso del hueso seco libre de grasa.

B. Contenido de P, Ca, Mg y Zn en las heces

Con el propósito de determinar la contenido fecal de minerales, a los 21, 28, 35, 42 y 49 d de edad, 2 aves por repetición, para un total de 8 aves por tratamiento, fueron seleccionadas al azar, identificadas con una pantalla numerada y colocadas en jaulas metabólicas. El ensayo se realizó en jaulas de acero inoxidable con piso de alambre, equipadas con dos bebederos de copa, un comedero tipo canoa. Las heces fecales fueron recolectadas en placas de zinc por 72 h, homogenizadas, trasladadas a bandejas de aluminio y secadas en un horno a 110° C por 72 h. Luego de secadas, submuestras fueron molidas en un procesador¹³ y mantenidas a 0° C en un congelador hasta ser analizadas para el contenido total de P, Ca, Mg y Zn.

El contenido de minerales de las heces se determinó por Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente. En el mismo la materia orgánica fue incinerada por 2 h a 500°C. Los minerales en las cenizas fueron extraídos con una solución de HCl 1.8 N y HNO₃ 0.3 N y digeridos a una temperatura de 100 - 120°C. Luego fue filtrada a través de papel Whatman 4 en un matraz volumétrico usando una solución de HNO₃ 1.5 N y HCl 0.5 N. El contenido P, Ca y Mg fue determinado como un porcentaje de las heces, mientras que el contenido de Zn se determinó en partes por millón.

¹³Prep Start Food Processor. Hamilton Beach. Southern Pines, NC 28378.

C. Variables y análisis estadístico

a. Ceniza de la tibia

Luego de incinerar los huesos, las cenizas fueron pesadas. Se determinó:

$$\text{PCT} = (\text{peso de cenizas} / \text{peso del hueso seco libre de grasa}) \times 100.$$

b. Contenido fecal de minerales

Las muestras de heces secas y granuladas fueron enviadas a un laboratorio comercial¹⁴ para determinar el contenido total de P, Ca, Mg y Zn.

c. Análisis estadístico

Las variables de PCT y contenido fecal de minerales fueron analizadas utilizando un Diseño Completamente Aleatorizado (Lyman y Longnecker, 2001). Los datos fueron analizados por un Análisis de Varianza (ANAVA) usando el procedimiento Modelo Lineal General de SAS[®] (SAS Institute, 1990). Se realizó la prueba de comparación múltiple de Tukey y la prueba de DMS de Fisher para comparar las medias de interés del PCT y contenido fecal de minerales, respectivamente.

El modelo utilizado fue:

$$Y_i = \mu + \alpha_i + \varepsilon_i;$$

en donde

Y_i = porcentaje de ceniza de la tibia, contenido de P, Ca, Mg o Zn en las heces;

μ = media poblacional;

α_i = efecto de la combinación del factor reducción de PD y el factor enzima;

¹⁴ Dairy One Forage Lab - Ithaca, NY.

ε_i = error experimental asociado a las dietas

Contrastes ortogonales fueron utilizados para recobrar el efecto principal e interacciones de los factores RPD e inclusión de fitasa. Todas las aseveraciones de significancia están basadas en una probabilidad ≤ 0.05 .

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Determinación de ceniza de la tibia

El Cuadro 2.1 muestra el efecto de la adición de diferentes niveles de fitasa a dietas con RPD sobre el PCT en pollos para engorda. No se observaron diferencias significativas entre los tratamientos en esta característica, promediando 36.1%. Estos resultados indican que es posible mantener la integridad mineral del hueso al reducir hasta en un 0.15% el PD por debajo del recomendado por el NRC, si se suplementa la dieta con al menos 300 FTU/kg. Sin embargo, no se obtiene beneficio adicional en el PCT utilizando mayores niveles de adición de fitasa. Onyango et al. (2004) encontraron que en aves de 22 d de edad, la suplementación con fitasa a 1,000 FTU/kg a dietas bajas en PD (0.24%) aumentó el PCT comparado a dietas deficientes en PD (0.12 y 0.24%) sin adición de la enzima. Por otro lado, el PCT de las aves suplementadas con fitasa fue similar al de aquellas alimentadas con niveles adecuados de PD (0.50%). Lan et al. (2002) observaron que la suplementación de dietas deficientes en PD (0.24%) con 250 y 1,000 FTU/kg mejoraba el PCT versus dietas deficientes en PD (0.24%). Similar a los hallazgos de esta investigación, Onyango et al. (2004) y Lan et al. (2002) no encontraron diferencias significativas en el PCT entre la suplementación con fitasa y con la dieta control (0.46% PD). Waldroup et al. (2000) no hallaron diferencias en PCT entre aves alimentadas con dietas con PD (0.50 y 0.45%) y aves alimentadas con dietas RPD (0.35 y 0.40%) suplementadas con fitasa (800 FTU/kg) a los 21 d de de edad. Onyango et al. (2005) no observaron diferencias significativas entre aves alimentadas con dietas RPD (0.12%) suplementadas con

Cuadro 2.1. Efecto de la adición de diferentes niveles de fitasa a dietas con contenido reducido de PD sobre el PCT de pollos para engorda¹.

Tratamiento (FTU ² , RPD ³)	Ceniza de la tibia (PCT ⁴)
	%
Control	35.8
300, 0.05	37.2
300, 0.10	36.2
300, 0.15	35.2
600, 0.05	36.0
600, 0.10	35.5
600, 0.15	35.9
900, 0.05	36.7
900, 0.10	36.7
900, 0.15	36.1
EE ⁵	0.54
ANAVA	Probabilidades
Tratamiento	0.32
Contrastes	
FTU	0.35
RPD	0.12
FTU x RPD	0.44

Letras distintas en una misma columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$).

¹n = 20 aves por media.

²FTU = cantidad de fitasa que libera 1 μ mol de Pi por minuto de .00015/L de fitato de sodio a pH 5.5 a 37°C.

³RPD = Reducción en P disponible de los requerimientos de NRC.

⁴PCT = (Peso de las cenizas / Peso del hueso seco libre de grasa) * 100

⁵EE = Error estándar

fitasa (500 y 1,000 FTU/kg) y las aves alimentadas con un nivel de PD adecuado (0.50%). Sin embargo, Timmons et al. (2004) observaron que pollos alimentados con niveles adecuados de PD (0.45%) obtuvieron un mayor PCT que pollos alimentados con niveles deficientes de PD (0.25%) y suplementadas con fitasa (2,875 a 23,000 FTU/kg). Por otro lado, Kocabağlı (2001) encontró que la adición de 300 FTU/kg a dietas conteniendo niveles adecuados de PD (0.42%) aumentó el PCT comparado a dietas normales sin adición de fitasa.

B. Ensayo metabólico y contenido de minerales en las heces

a. Fósforo

El Cuadro 2.2 muestra el efecto de la adición de diferentes niveles de fitasa a dietas con RPD sobre el contenido de minerales en las heces de pollos para engorda. El contenido fecal de P fue mayor con la dieta control que con los otros tratamientos excepto el de la dieta 300 FTU/kg, 0.05% RPD (Cuadro 2.2). Se observó una interacción entre los factores de estudio (Figura 2.1) donde, a pesar de que la menor excreción de P se obtiene con la RPD de 0.15%, el tratamiento con 300 FTU/kg y 0.10% RPD obtuvo una excreción similar. La reducción de un 0.15% del PD relativo a los requerimientos del NRC, redujo en un 41.1% la excreción de P en las heces al compararse con el grupo control, independientemente del nivel de fitasa. Por el contrario, Zhang et al. (2000) observaron que la adición de fitasa entre límites de 250 y 2,500 FTU/kg a dietas conteniendo 0.21% PD disminuyó el contenido fecal de P en comparación con dietas no suplementadas con fitasa (0.21% PD) en pollos a los 35 d de edad. Qian et al. (1997) reportaron que la adición de fitasa a niveles de

Cuadro 2.2. Efecto de la adición de diferentes niveles de fitasa a dietas con contenido reducido de PD sobre el contenido de minerales en las heces de pollos para engorda¹.

Tratamiento (FTU ² , RPD ³)	Minerales			
	<i>P</i>	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Zn</i>
		%		ppm
Control	1.68 ^A	1.66 ^{BC}	0.60	483
300, 0.05	1.55 ^B	1.92 ^A	0.63	637
300, 0.10	1.08 ^F	1.64 ^C	0.57	439
300, 0.15	1.04 ^F	2.02 ^A	0.64	648
600, 0.05	1.39 ^{CD}	1.66 ^{BC}	0.59	613
600, 0.10	1.28 ^{DE}	1.88 ^A	0.64	705
600, 0.15	1.01 ^F	1.95 ^A	0.61	595
900, 0.05	1.45 ^{CD}	1.90 ^A	0.62	687
900, 0.10	1.24 ^E	1.89 ^A	0.61	556
900, 0.15	0.99 ^F	1.87 ^{AB}	0.64	556
EE ⁴	0.04	0.07	0.02	60
ANAVA				
		Probabilidades		
Tratamiento	<0.0001	0.02	0.17	0.15
Replicación(Tratamiento)	0.53	0.15	0.33	0.04
Día	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Tratamiento x Día	0.66	0.01	0.89	0.95
Contrastes				
Cúbico	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0002
Cuártico	0.0004	<0.0001	0.17	0.36
FTU	0.99	0.45	0.85	0.17
RPD	<0.0001	0.008	0.20	0.07
FTU x RPD	0.0006	0.0002	0.01	0.001

Letras distintas en una misma columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$).

¹ n = 8 aves por media.

² FTU = cantidad de fitasa que libera 1 μ mol de Pi por minuto de .00015/L de fitato de sodio a pH 5.5 a 37°C.

³ RPD = Reducción en P disponible de los requerimientos de NRC.

⁴ EE = Error estándar

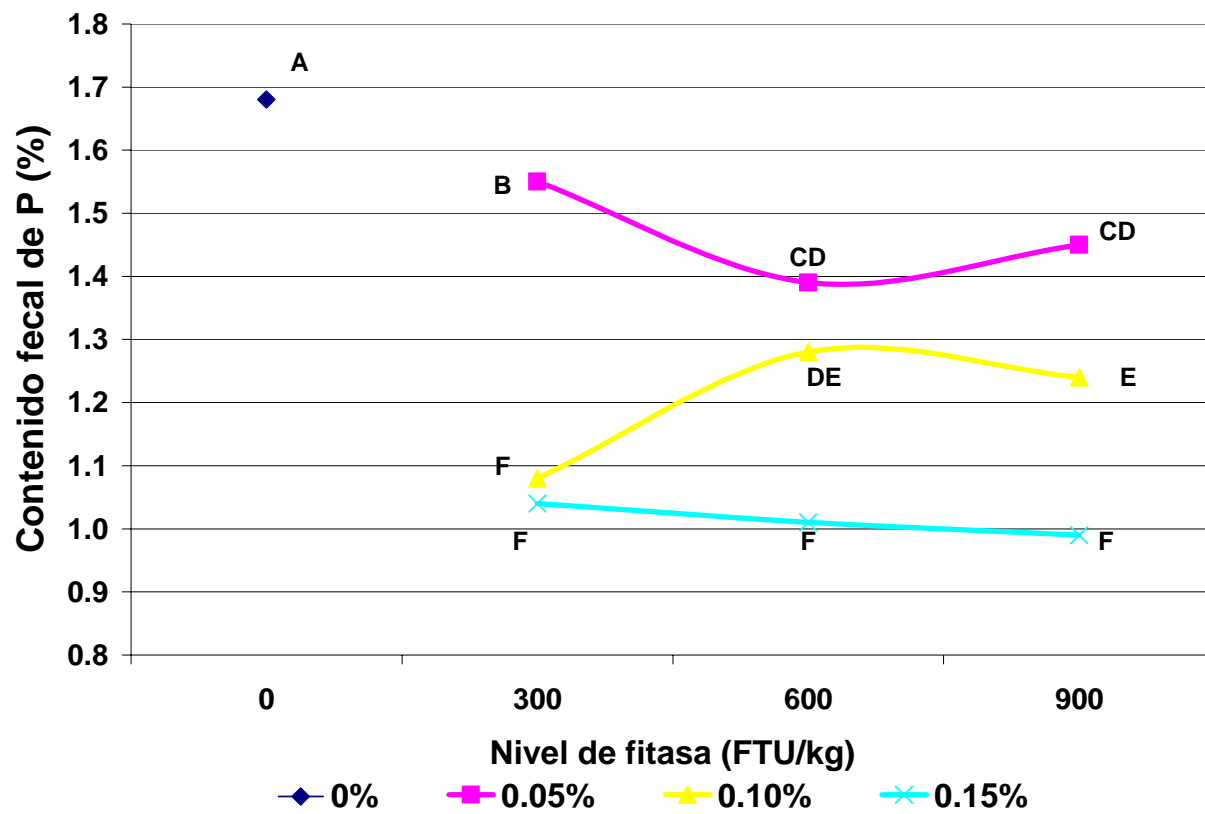


Figura 2.1. Interacción entre el nivel de fitasa y reducción de PD en el contenido fecal de P.

300, 600 y 900 FTU/kg aumentó linealmente la retención de P. Lan et al. (2002) observaron que aves alimentadas con dietas RPD (0.24%) suplementadas con fitasa a niveles entre 250 y 1000 FTU/kg excretaron menos P que aves alimentadas con niveles adecuados de PD (0.46%).

b. Calcio

Se observaron diferencias significativas en el contenido fecal de Ca entre tratamientos (Cuadro 2.2). El contenido fecal de Ca de las aves de los tratamientos control, 300, 0.10 y 600, 0.05 fue significativamente menor a la de los demás tratamientos. Se observó una interacción significativa entre nivel de fitasa y RPD (Figura 2.2). Las aves que consumieron dietas con RPD de 0.15% tendieron a excretar más calcio. Sin embargo, con una suplementación de 900 FTU/kg, la excreción fue similar independientemente la RPD. Este comportamiento puede atribuirse al aumento en el coeficiente Ca:P como resultado de una mayor RPD en la dieta. Esto ocurre debido a que el ave excreta más Ca para mantener el balance fisiológico adecuado entre los dos minerales. Qian et al. (1997) encontraron que al suplementar con fitasa (300, 600 y 900 FTU/kg) las aves retenían mayor cantidad de Ca, sobre todo cuando el coeficiente Ca:P era bajo (1.1:1 versus 1.4:1, 1.7:1 y 2:1). Zhang et al. (2000) no observaron diferencias significativas en la excreción de Ca entre aves suplementadas con fitasa y las del grupo control (0.21% PD). Onyango et al. (2004) encontraron que la adición de fitasa a 1,000 FTU/kg a dietas bajas en PD (0.24%) mejoraba la retención de Ca comparado con dietas adecuadas y deficientes en PD sin la utilización de fitasa.

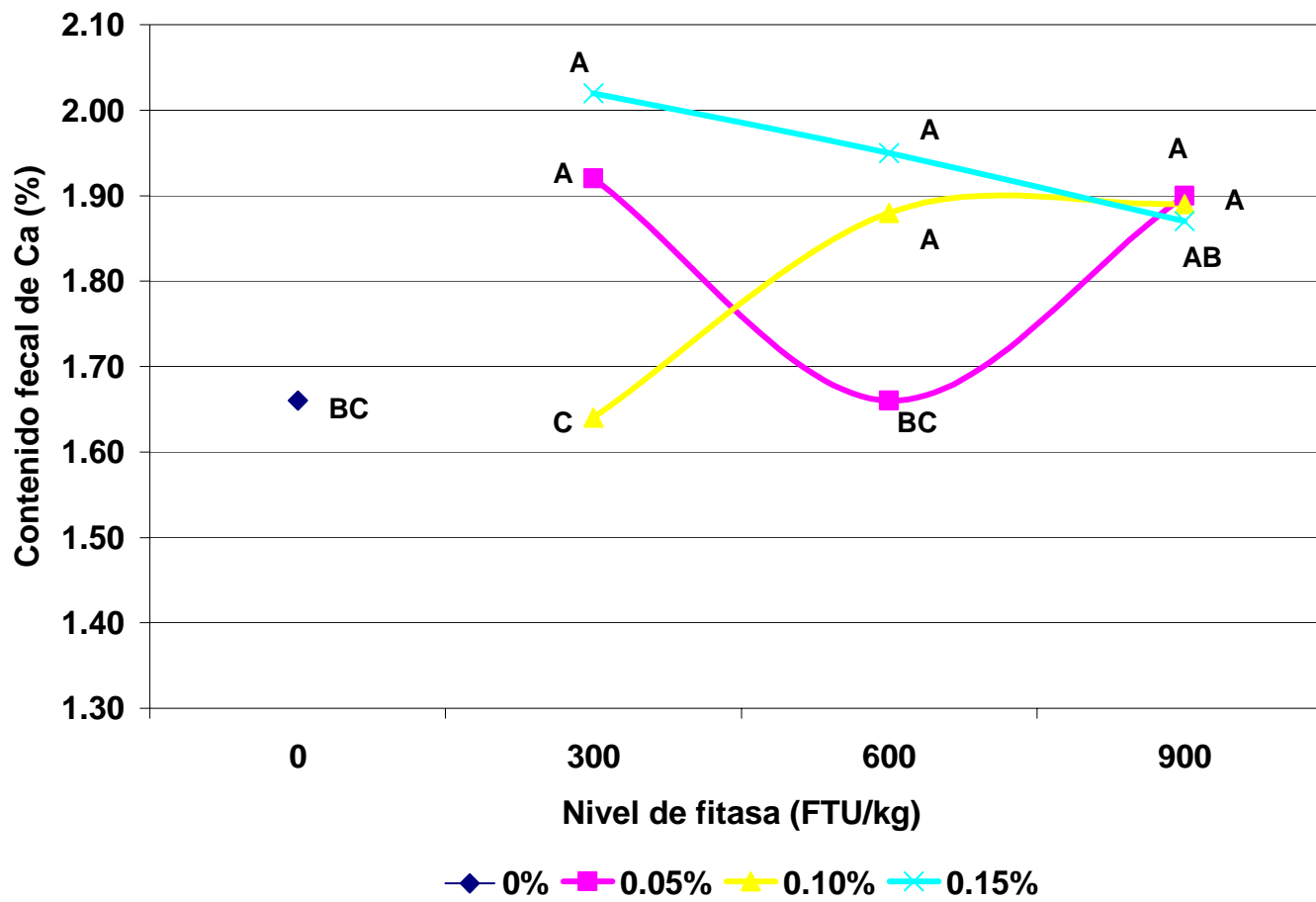


Figura 2.2. Interacción entre el nivel de fitasa y reducción de PD en el contenido fecal de Ca.

c. Magnesio y Zinc

No se observaron diferencias significativas entre tratamientos en el contenido de Mg y Zn en las heces, con promedios de 0.61% y 592 ppm, respectivamente (Cuadro 2.2). La suplementación con fitasa junto a la reducción de PD en la dieta no afectó la excreción de Mg o Zn. Sin embargo, se verificó una interacción significativa entre los factores estudiados (Figuras 2.3 y 2.4). El patrón de excreción de ambos minerales fue similar. Las heces de las aves que consumieron dietas con RPD de 0.05 y 0.15% contenían un mayor contenido de Mg y Zn cuando se les suplementó con 300 y 900 FTU/kg (con excepción de las aves del tratamiento 900, 0.15 en la excreción Zn). Las aves que consumieron dietas con RPD de 0.10% tuvieron un patrón de excreción inverso, conteniendo más Mg y Zn las heces de las aves suplementadas con 600 FTU/kg. Sin embargo, Viveros et al. (2002) encontraron que al suplementar fitasa a 500 FTU/kg a dietas RPD (0.35, 0.22% y 0.27, 0.14% PD de 0 – 21 y 22 – 42 d de edad, respectivamente) aumentó la retención de Mg y Zn a los 21 y 42 d de edad. Yi et al. (1996) reportaron que la retención de Zn aumentó linealmente con la adición de fitasa a niveles entre 150 y 600 FTU/kg en dietas de pollos para engorda de 21 d de edad. Lan et al. (2002) observaron en pollos a los 13 y 20 d de edad una mayor retención de Zn con dietas RPD (0.24%) y suplementación con fitasa a niveles entre 250 y 1,000 FTU/kg que con una dieta control con niveles adecuados de PD (0.46%) a los 13 y 20 d de edad. Sebastian et al. (1997) observaron que la suplementación con fitasa a 600 FTU/kg a dietas RPD aumentó la retención de Zn.

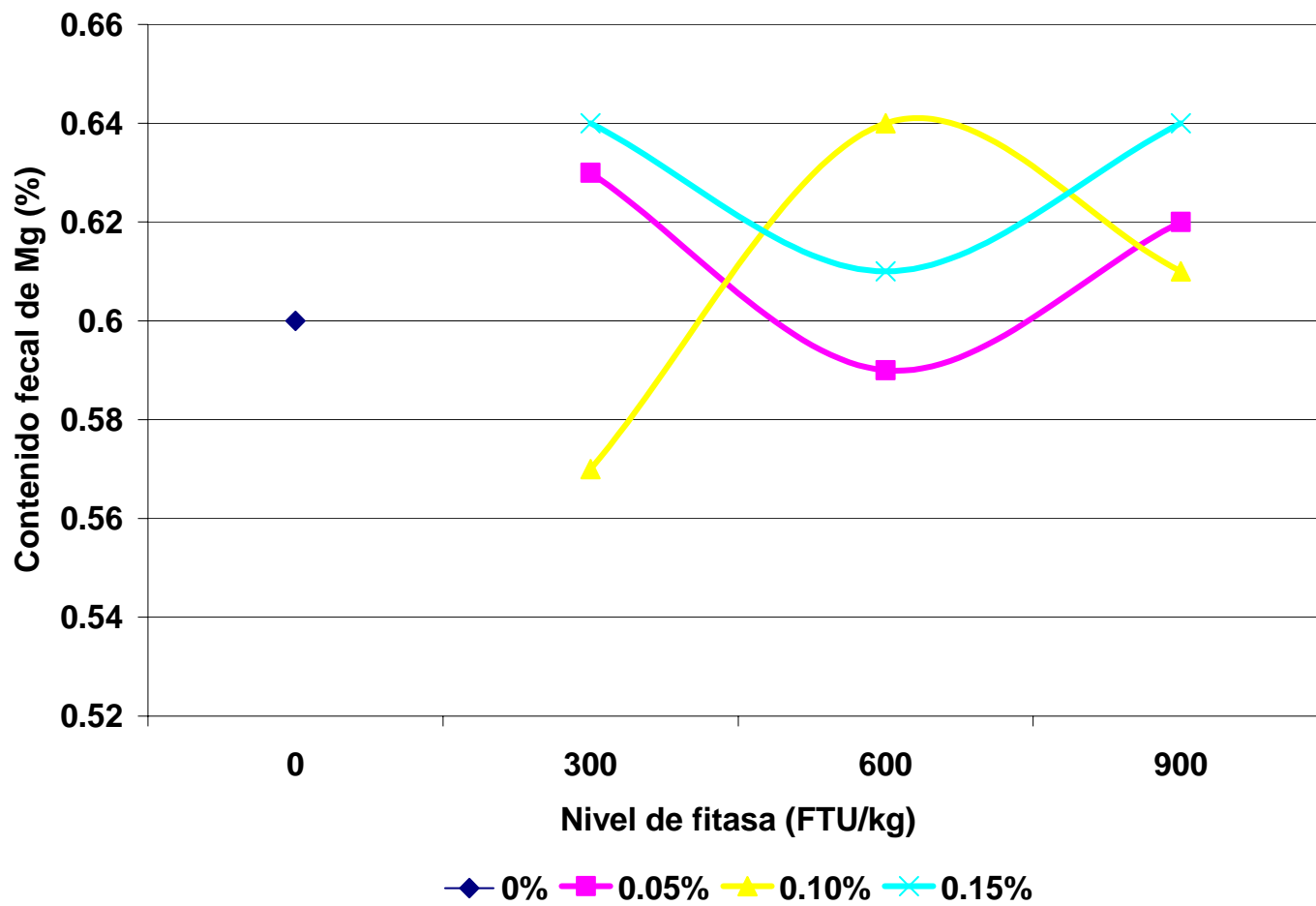


Figura 2.3. Interacción entre el nivel de fitasa y reducción de PD en el contenido fecal de Mg.

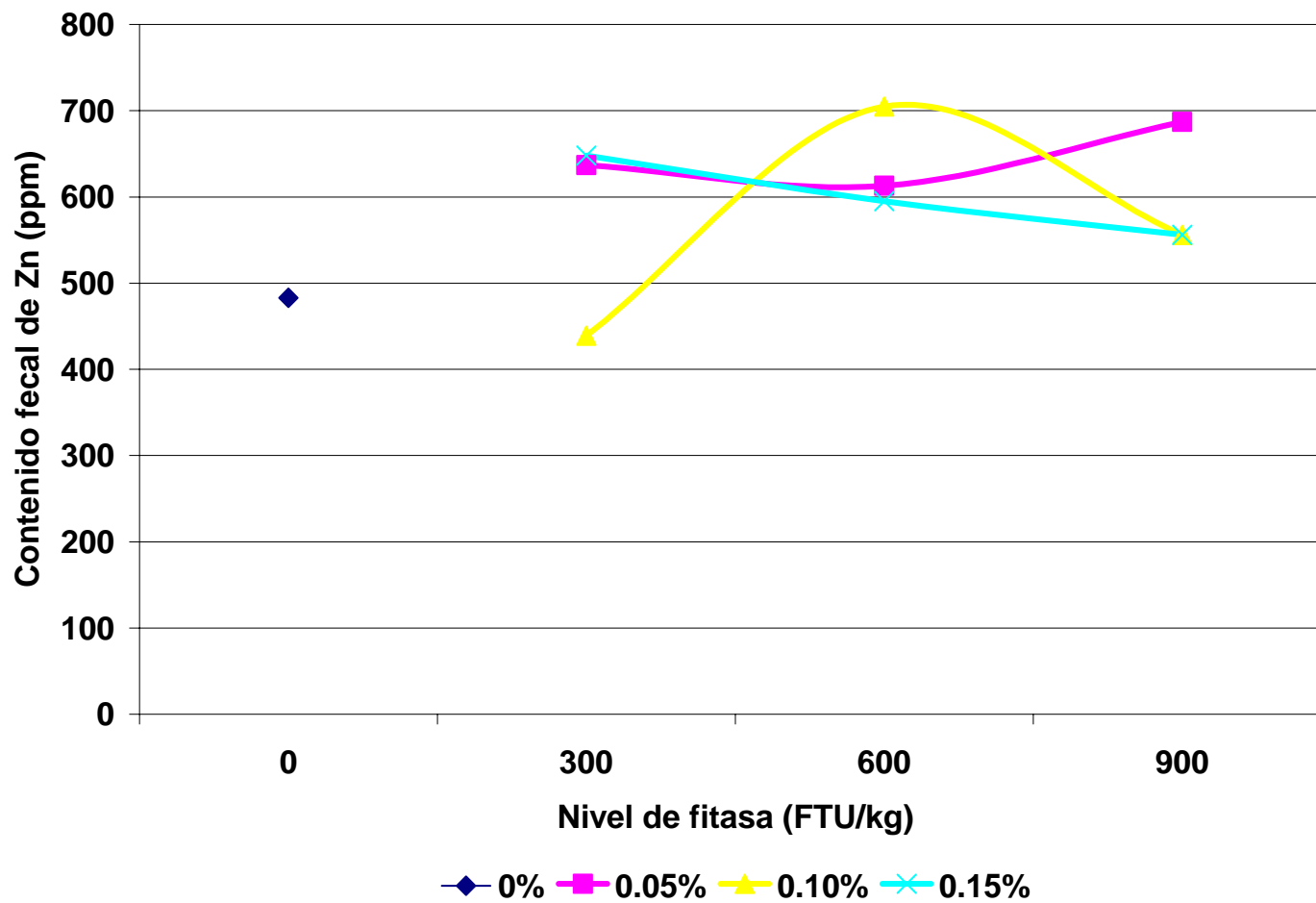


Figura 2.4. Interacción entre el nivel de fitasa y reducción de PD en el contenido fecal de Zn.

Se obtuvo una respuesta cuártica para el contenido fecal de minerales a través de los días independientemente del nivel de fitasa y RPD (Figuras 2.5 y 2.6). El contenido fecal de los minerales se mantuvo constante de los 21 a los 35 d, aumentó a los 42 d y disminuyó significativamente a los 49 d de edad. No se encontró literatura que sustente los resultados encontrados en la presente investigación para dicho parámetro. Por lo tanto, el contenido fecal de minerales pudo haber sido afectado por factores externos tales como la temperatura ambiental, humedad relativa, estrés de manejo, entre otros.

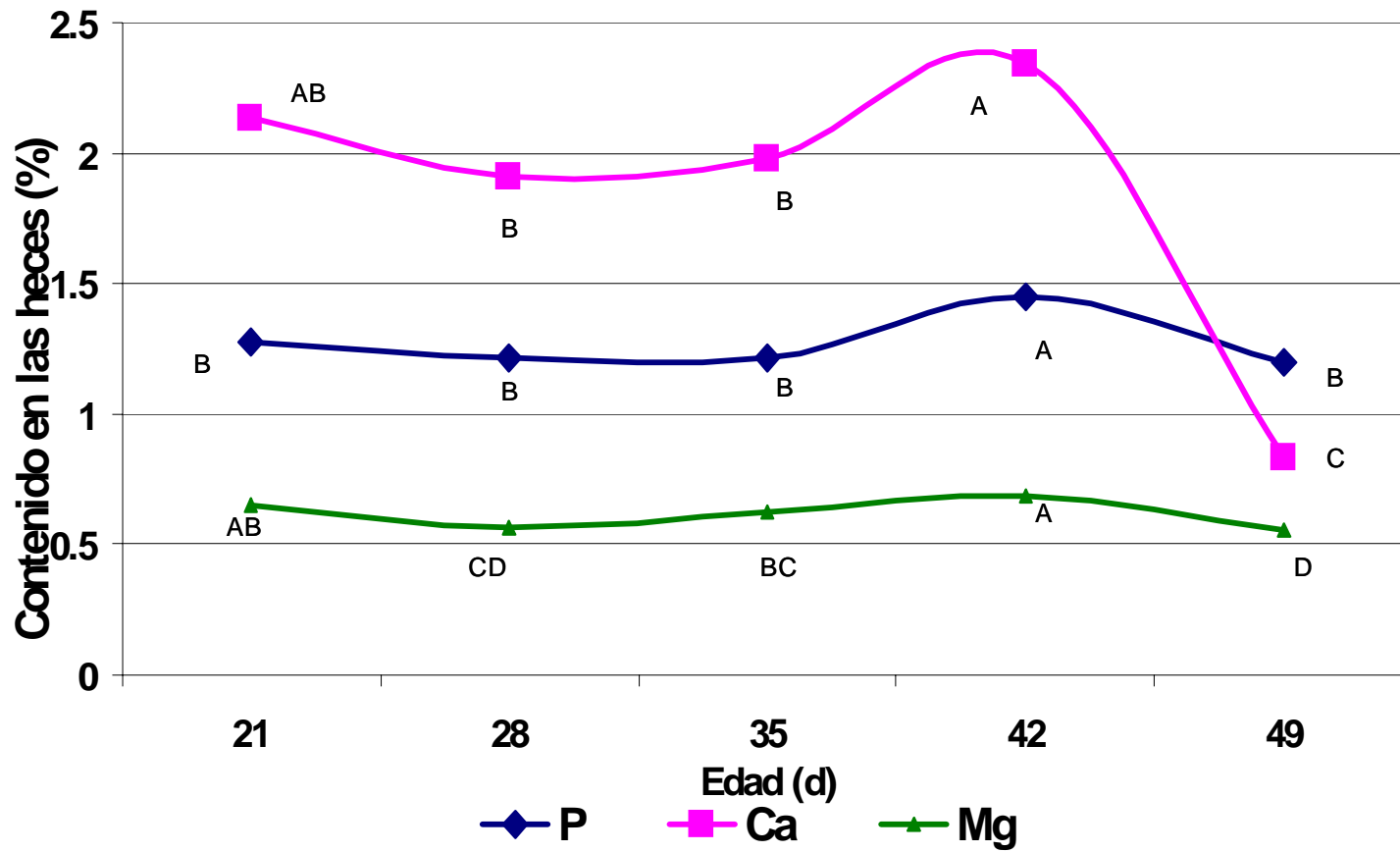


Figura 2.5. Contenido de P, Ca y Mg en las heces de pollos para engorda de los 21 a 49 d de edad.

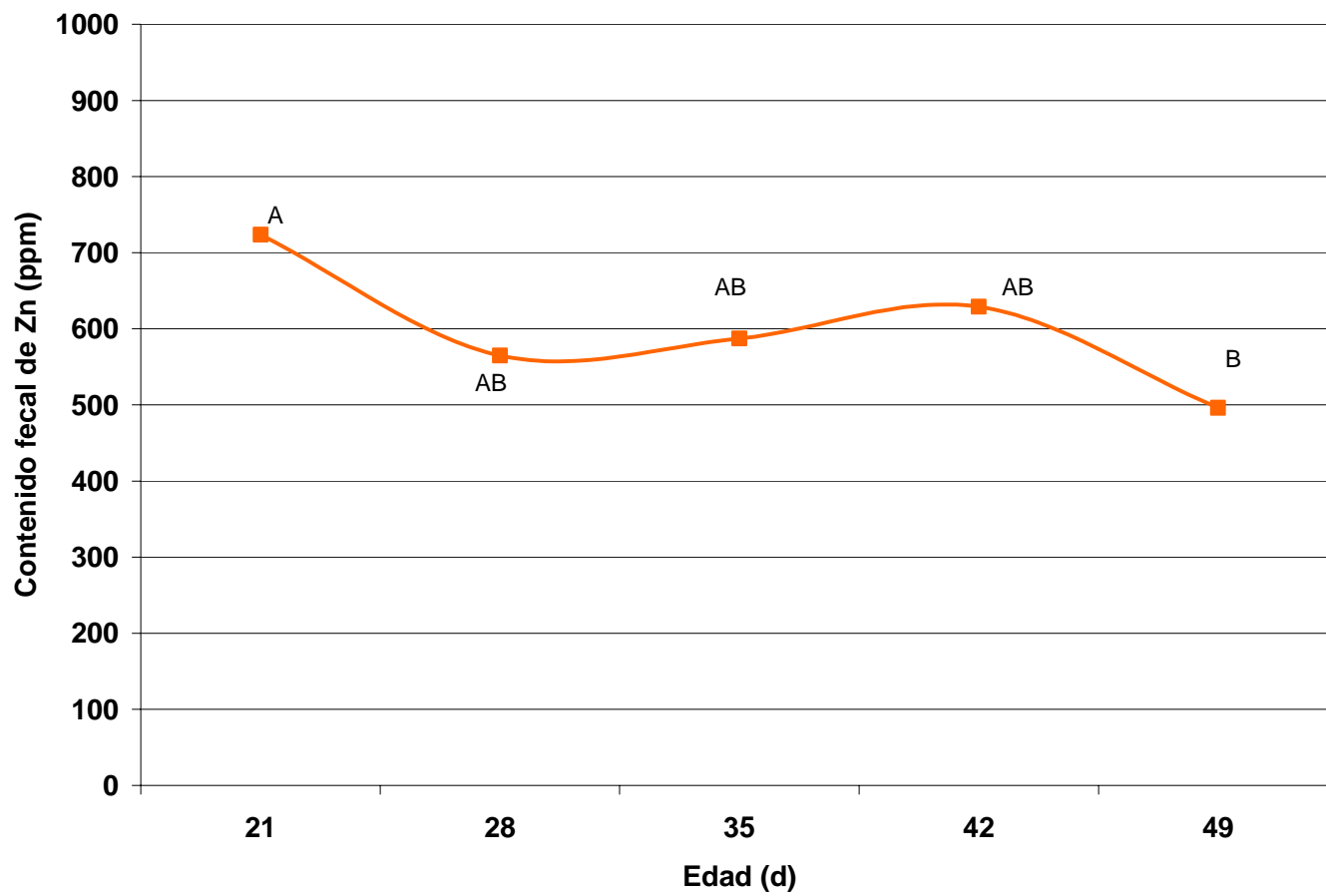


Figura 2.6. Contenido de Zn en las heces de pollos para engorda de los 21 a 49 d de edad.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos con pollos de engorda en este experimento sugieren que:

- La inclusión dietética de fitasa a 300 FTU/kg, puede reducir la cantidad de PD en la dieta hasta en un 0.15% referente a los requerimientos de NRC sin afectar la integridad mineral del hueso.
- Suplementación más intensiva de dietas deficientes en PD a niveles de 600 y 900 FTU/kg no resulta en un mayor PCT.
- Con la adición de fitasa a 300 FTU/kg y una RPD de 0.10% se logra una excreción de P similar a aquella obtenida cuando se reduce un 0.15% el PD de la dieta, independientemente del nivel de fitasa.
- La disminución de PD en la dieta resulta en una disminución progresiva en contenido fecal de P.
- La reducción de PD en un 0.15% en relación de los requerimientos establecidos por el NRC reduce el contenido fecal de P en un 41.1%.
- El aumento en la severidad de la RPD en la dieta resulta en un aumento progresivo del contenido de Ca en las heces.
- La excreción fecal de Mg y Zn no es afectada por la disminución de PD o la adición de fitasa a la dieta.

BIBLIOGRAFÍA

- Association of Official Analytical Chemists. AOAC. 1990. Official Methods of Analysis. 15th edition. Association of Analytical Chemists, Whashington, DC.
- Augspurger, N. R. y D. H. Baker. 2004. High dietary phytase levels maximize phytate-phosphorus utilization but do not affect protein utilization in chicks fed phosphorus- or amino acid-deficient diets. *J. Anim. Sci.* 82:1100-1107.
- Ceylan, N., S. E. Scheideler y H. L. Stilborn. 2003. High available phosphorus corn and phytase in layer diets. *Poultry Sci.* 82:789-795.
- Chapman, S. L. 1996. Soil and Poultry waste nutrient management and water quality. *Poultry Sci.* 75:862-866.
- Douglas, M. W., C. M. Peter, S. D. Boling, C. M. Parson y D. H. Baker. 2000. Nutritional evaluation of low phytate and high protein corns. *Poultry Sci.* 79:1586-1591.
- Jalal, M. A. y S. E. Scheideler. 2001. Effect of supplementation of two different sources of phytase on egg production parameters in laying hens and nutrient digestibility. *Poultry Sci.* 80:1463-1471.
- Keshavarz, K. 2000. Nonphytate phosphorus requirements of laying hens with and without phytase on a phase feeding program. *Poultry Sci.* 79:748-763.
- Kocabağlı, N. 2001. The effect of dietary phytase supplementation at different levels on tibial bone characteristics and strength in broilers. *Turk. J. Vet. Anim. Sci.* 25:797-802.
- Kornegay, E. T. 2001. Digestion of phosphorus and other nutrients: the role of phytases and factors influencing their activity. En: M. R. Bedford y G. G. Partridge (ed.). *Enzymes in Farm Animal Nutrition*. pp 237-271. CABI Publishing, New York.
- Lan, G. Q., N. Abdullah, S. Jalaludin y Y. W. Ho. 2002. Efficacy of supplementation of a phytase-producing bacterial culture on the performance and nutrient use of broiler chickens fed corn-soybean meal diets. *Poultry Sci.* 81: 1522-1532.
- Lyman, R. y M. Longnecker. 2001. *An introduction to Statistical methods and data analysis*. Fifth Edition. Duxbury. Pacific Grove. CA 1152 p.

- Li, Y. C., D. R. Ledoux, T. L. Veum, V. Raboy y D. S. Ertl. 2000. Effect of low phytic acid corn on phosphorus utilization, performance and bone mineralization in broiler chick. *Poultry Sci.* 79:1444-1450.
- Miles, D. M. y K. R. Sistani. 2002. Broiler phosphorus intake versus broiler phosphorus output in the United States: nutrition or soil science? *World's Poult. Sci. J.*, 58:493-99.
- National Research Council (NRC). 1994. *Nutrient Requirements of Poultry*. 9th rev. ed. National Academy Press, Washington, D.C.
- Onyango, E. M., J. S. Sands, O. Adeola y R. N. Dilger. 2004. Evaluation of microbial phytase in broiler diets. *Poultry Sci.* 83:962-970.
- Onyango, E. M., M. R. Bedford y O. Adeola. 2005. Efficacy of an evolved *Escherichia coli* phytase in diets of broilers chicks. *Poult. Sci.* 84:248-255.
- Parker, M. B. y H. K. F. Perkins. 1959. Nitrogen, phosphorus and potassium content of poultry manure and some factors influencing its composition. *Poultry Sci.* 38: 1154-1158.
- Punna, S. y D. A. Roland. 2001. Influence of dietary phytase supplementation on incidence and severity in broilers divergently selected for tibial dyschondroplasia. *Poultry Sci.* 80: 735-740.
- Qian, H., E. T. Kornegay y D. M. Denbow. 1997. Utilization of phytate phosphorus and calcium as influenced by microbial phytase, cholecalciferol, and the calcium: total phosphorus ratio in broiler diets. *Poultry Sci.* 76:37-46.
- SAS Institute. 1990. *SAS[®] / STAT guide for personal computers*. Version 6.12 edition. SAS Institute Inc. Cary, NC.
- Sebastian, S., S. P. Touchburn, E. R. Chávez y P. C. Lague. 1997. Apparent digestibility of protein and amino acids in broiler chickens fed a corn-soybean diet supplemented with microbial phytase. *Poultry Sci.* 76:1760-1769.
- Silversides, F.G., T.A. Scott, y M.R. Bedford. 2004. The effect of phytase enzyme and level on nutrient extraction by broilers. *Poultry Sci.* 83: 985-989.
- Timmons, J. R., J. M. Harter-Dennis y A. E. Sefton. 2004. Evaluation of nonuniform application of phytase (simulated) on growth performance and bone quality in broiler chicks. *J. Appl. Poult. Res.* 13:311-318.

- Viveros, A., A. Brenes, I. Arija y C. Centeno. 2002. Effects of microbial phytase supplementation on mineral utilization and serum enzyme activities in broiler chicks fed different levels of phosphorus. *Poultry Sci.* 81:1172-1183.
- Waldroup, P. W., J. H. Kersey, E. A. Saleh, C. A. Fritts, F. Yan, H. L. Stiborn, R. C. Crum y V. Raboy. 2000. Nonphytate phosphorus requirement and phosphorus excretion of broiler chicks fed diets composed of normal or high available phosphate corn with and without microbial phytase. *Poult. Sci.* 79:1451-1459.
- Yi, Z., T. Kornegay y D. M. Denbow. 1996. Supplemental microbial phytase improves zinc utilization in broilers. *Poult. Sci.* 75:540-546.
- Zhang, Z. B., E. T. Kornegay, J. S. Radcliffe, J. H. Wilson y H. P. Veit. 2000. Comparison of phytase from genetically engineered *Aspergillus* and canola in weanling pig diets. *J. Anim Sci.* 78: 2868-2878.

SÍNTESIS GENERAL

Los objetivos de este experimento se concentraron en determinar el efecto de la adición de fitasa a dietas reducidas en PD sobre el desempeño productivo de las aves, contenido fecal de minerales y mineralización del hueso. Se estudiaron las variables de producción: CA, PC, GPC y CAA. Se midió el contenido fecal de P, Ca, Mg y Zn y se determinó el PCT.

Los reclutados indican, que la adición de 300 FTU/kg aparenta ser suficiente para obtener efectos positivos en el CA y la GPC. A su vez, el PD puede ser reducido hasta por 0.15% del recomendado por el NRC, si se suplementa la dieta con al menos 300 FTU/kg sin afectar el CA y la GPC. En la fase de crecimiento el PC de las aves puede ser afectado por el porcentaje de PD en la dieta. En cambio, la adición de fitasa en las fases de inicio y terminación puede que no resulte en un mayor PC. Adiciones de 600 y 900 FTU/kg pueden afectar positivamente la CAA y RC, en ausencia de niveles de PD adecuados. La mortalidad no se relacionó a las RPD estudiadas.

Es posible mantener la integridad mineral del hueso con la inclusión de fitasa a 300 FTU/kg y un 0.15% RPD del nivel recomendado. Suplementar dietas deficientes en PD a niveles de 600 y 900 FTU/kg no resulta en un mayor PCT.

La disminución de PD en la dieta resulta en una progresiva disminución en el contenido fecal de P. El P fecal se puede reducir hasta en un 41.1% con la RPD en un 0.15% debajo de los requerimientos del NRC. La disminución de PD en la dieta aumenta el contenido fecal de Ca. El contenido fecal de Mg y Zn no es afectado por la disminución de PD o la adición de fitasa a la dieta.

En conclusión, es posible lograr una reducción en el contenido fecal de P en pollos para engorda, sin afectar la integridad ósea y de manera significativa el desempeño productivo, al reducir el PD en un 0.15% de lo recomendado por el NRC junto con la adición de 300 FTU/kg.