

EFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN DE FITASA MICROBIAL EN LA UTILIZACIÓN DE FÓSFORO FÍTICO EN POLLOS DE ENGORDE ALIMENTADOS CON DIETAS A BASE DE MAÍZ –SOYA

Effect of Supplemental Microbial Phytase on the Utilization of Phosphorus Phytate in Broiler Chickens fed Corn-Soybean Diets

Susmira Godoy, Glenn Hernández y Claudio Chicco
Instituto de Investigaciones Zootécnicas (INIA)
Maracay

RESUMEN

Para mejorar la utilización del fósforo fítico presente en granos de cereales, se determinó el efecto de incorporar fitasas exógenas en dietas a base de maíz-soya en pollos de engorde. Se utilizaron 520 aves de un día de nacidas, del híbrido comercial Cobb x Cobb, siguiendo un arreglo factorial de tratamiento 3 x 4 con cuatro replicas de 10 aves cada uno. A las dietas, a base de maíz-soya, se incluyeron niveles crecientes de fitasas sintéticas de *Aspergillus niger* (0, 300, 400 y 500 U/Kg), con niveles crecientes de fósforo total (0,45; 0,55 y 0,65%). La suplementación de fitasa incremento la ganancia de peso, el consumo de alimento y la cenizas del hueso, cuando se comparó con la dieta sin fitasa. Los resultados de este experimento indican que, para liberar un g de fósforo fítico se requieren 540 U/Kg y 1290 U/Kg para 0,25% y 0,35% Pd, respectivamente.

Palabras Claves: fósforo fítico, maíz, soya, fitasa, pollos.

ABSTRACT

To determine the effect exogenous phytases incorporated to a corn-soybean diet for growing and finishing broilers, 520 one day-old birds of the commercial hybrid CobbxCobb were used. A factorial arrangements (3 x 4) with four repetitions of 10 birds each was used. Increasing levels of *Aspergillus niger* synthetic phytases (0, 300, 400 y 500 U/Kg), and total phosphorous (0.45; 0.55 y 0.65%) were added to a corn-soybean diet. Phytase supplementation increased weight gain, feed intake, and bone ash, when compared to phytase-free diets. The results indicate that the liberation of one g of phytic phosphorous varied with the content of available phosphorous (aP) in the diet (540 U/Kg and 1290 U/Kg for 0.25% y 0.35% aP, respectively).

Key words: Phytic phosphorous, corn, soybean, phytase, chicken.

INTRODUCCIÓN

Para mejorar la biodisponibilidad del fósforo fítico en dietas para aves, actualmente se incorporan fitasas sintéticas. La enzima fitasa degrada el fósforo fítico, produciendo ortofosfato inorgánico, esteres fosfóricos y mioinositol, lo que permite que una fracción mayor de fósforo sea transformado en una forma aprovechable para el animal. Con ello además, se disminuye el uso de fosfatos inorgánicos y la contaminación ambiental, por excreción de fósforo.

Consecuentemente, para mejorar la utilización del fósforo fítico presente en granos de cereales contenidos en dietas para aves se determinó el efecto de incorporar fitasas exógenas para mejorar la utilización del fósforo fítico. Además, debido a que poco se conoce sobre los valores equivalentes de la fitasa microbiana para fósforo inorgánico en dietas para aves, alimentadas con niveles crecientes de fitasa, se determinó la liberación de fósforo por unidad de fitasa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Prueba de crecimiento

Para evaluar el efecto de las fitasas comercial sobre la utilización del fósforo fítico, se utilizaron pollos de engorde en etapa de crecimiento, para evaluar los índices productivos: peso, consumo de alimento, conversión alimenticia y la mineralización del tejido óseo.

Para este estudio se utilizaron 480 aves de un día de nacidas, del híbrido comercial Cobb x Cobb, las cuales fueron distribuidas según un arreglo factorial de tratamientos 3 x 4, (3 niveles de fósforo total y 4 niveles de fitasa) con cuatro replicas de 10 aves cada una alimentadas hasta la cuarta semana de edad.

Las dietas experimentales fueron formuladas incluyendo niveles crecientes de fitasas sintéticas de *Aspergillus niger* (0, 300, 400 y 500 U de fitasa/kg de dieta), para cada nivel creciente de fósforo total (0,45, 0,55 y 0,65%) Además contenían harina de soya, aceite vegetal, vitaminas y minerales resultando isoproteicas (24% PC), isocaloricas (3100 kcal EM/kg) con un nivel constante de calcio de 1%, el cual fue mantenido constante en todos los tratamientos dietéticos (TABLA I).

Semanalmente, se llevaron registros de peso individual de los animales y de consumo por grupo. A la cuarta semana se sacrificaron, por dislocación cervical, según peso promedio por grupo, 10 aves por tratamiento, para la extracción de ambas tibias. En las tibias se determinó peso húmedo y seco a 105°C, durante 48 horas, y peso seco desgrasado por reflujo con éter de petróleo al 100% en caliente, durante 4 horas. Los huesos fueron incinerados a 600°C durante 24 horas. Las cenizas resultantes fueron expresadas como porcentaje del peso seco libre de grasa, determinándose además el contenido de cenizas y fósforo porcentaje.

Los análisis de las diferentes raciones experimentales y de L tejido óseo se realizaron de acuerdo a las metodologías: proteína (N x 6,25) por el método de Kjeldahl AOAC, [1], calcio por espectrofotometría de absorción atómica (Perkin-Elmer, AOAC, [1], fósforo por colorimetría, actividad fitasica por el método propuesto por Bitar y Reinhold [2].

Calculo de los valores equivalentes de fósforo para la fitasa

Para estimar la proporción de fósforo liberado por cada unidad (U) de fitasa, se establecieron ecuaciones de regresión lineales y no lineales. El modelo de las funciones lineales fue $Y = a + bx$ y, para los modelos no lineales $Y = a \ln(x) - \ln b$, donde Y = la repuesta medida (peso corporal y ceniza del hueso), X = niveles de adición de fitasa (U/kg), o niveles de adición de fósforo disponible porcentaje de las dietas. Las ecuaciones de respuestas lineales o no lineales para ganancia de peso (Y) con valores de r^2 más alto, para el fósforo disponible adicionado (X) y, la ecuación de niveles de fitasa (X), fueron integradas y resueltas. Para cada nivel de fitasa (300, 400 y 500 U/kg de dieta), se calculó el fósforo disponible equivalente y el porcentaje P liberado. El promedio de la ganancia de peso y el porcentaje de cenizas en el hueso se utilizaron a fin de generar una ecuación equivalente de fitasa microbiana para fósforo disponible, y así estimar la cantidad de fitasa equivalente a un g de fósforo liberado Y_i y col . [12].

Análisis estadístico

Los datos fueron sometidos a análisis de varianza utilizando un modelo estadístico correspondiente a un arreglo factorial y la prueba de F fue aplicada para verificar la significancia de los cuadrados medios de las fuentes de variación. Se realizaron análisis de varianza (ANAVAR) y las medias fueron comparadas por el método de amplitudes múltiples de Duncan. Los modelos incluyen los efectos principales de nivel de fósforo, nivel de fitasa y la interacción de fósforo por fitasa.

TABLA I
COMPOSICIÓN DE LA DIETA UTILIZADA PARA POLLOS DE ENGORDE CON DIFERENTES NIVELES DE FITASA Y FÓSFORO TOTAL

Ingredientes	Niveles de fósforo total (%)		
	0,45	0,55	0,65
Maíz	48,6	48,2	47,8
Soya	40,6	40,7	40,7
Sal	0,5	0,5	0,5
Carbonato	1,9	1,5	1,1
Metionina	0,27	0,27	0,27
Aceite	7,2	7,4	7,5
Vit/min ¹	0,5	0,5	0,5
Fosfato	0,47	1,03	1,6
EM ² , kcal/kg	3100	3100	3100
PC ³ , %	24	24	24
Ca, %	1	1	1
Ptotal, %	0,45	0,55	0,65
Pd, % ⁴	0,24	0,35	0,45
Fitasa (U/kg) ⁵	0	0	0
	300	300	300
	400	400	400
	500	500	500

¹Vitaminas y minerales (por Kg de alimento): Vitamina A, 4000UI; Vitamina D, 200 UI, Riboflavina, 3mg; Ácido Pantoténico, 5mg; Niacina, 20 mg; Colina, 450 mg; Vitamina B12, 10 Ug; Vitamina E, 2 mg; Mn, 65 mg; Cu, 8 mg; Zn, 50 mg; Fe, 25mg; Mg, 500 mg.

²EM: Energía metabolizable estimada

³PC: proteína cruda (N X 6.25).

⁴Biodisponibilidad estimada por calculo (NRC, 1998)

⁵U/kg: unidad de fitasa es la cantidad de Pi liberado por min de 5 mM de una solución de fitato de sodio a 1µmol min⁻¹ a un pH de 5.5 a 37°C.

RESULTADOS

El peso corporal de las aves (g), a la cuarta semana de edad, aumentó ($P < 0,05$) con el nivel de fósforo total (Pt) y numéricamente ($P > 0,05$) con la incorporación de fitasa en la dieta (TABLA II). Para el nivel de 0,45% Pt, el peso corporal (g/ave) fue de 1104, 1137, 1232 y 1222, para 0, 300, 400 y 500 U/kg, respectivamente, con diferencias ($P < 0,05$) entre los dos primeros niveles de fitasas y los dos últimos. Con 0,55% Pt, no se observaron diferencias significativas con la adición de fitasa a los niveles de 300 (1329), 400 (1335) y 500 U/kg (1346), sin embargo, en el caso de la combinación 0,55 Pt y 0 U/kg de fitasa, el peso corporal (1289 g/ave) fue similar a los tratamientos de fitasa al nivel de 0,45% Pt. Las mejores respuestas de pesos (g/ave) se alcanzaron con el nivel de 0,65% Pt, con valores de 1357, 1362, 1394 y 1403 para 0, 300, 400 y 500 U/kg, significativamente superior ($P < 0,05$) al nivel de 0,55% Pt y este último al de 0,45%.

El consumo de alimento (g/ave) fue más elevado ($P < 0,05$) con el nivel de 0,65% Pt a los diferentes niveles de adición de fitasa con valores de 1856, 1878, 1893, y 1834 para 300, 400, 500 y 0 U/kg respectivamente. Los niveles de 0,45% Pt y 0,55% Pt mostraron una tendencia a incrementar ($P > 0,05$) con la adición de fitasas, con consumos (g/ave) de 1520 y 1749, 1611 y 1744, 1556 y 1812, para 300, 400 y 500 U/kg, respectivamente, para el mismo orden de los tratamientos.

La conversión alimenticia para los diferentes tratamientos en los niveles de 0,65 y 0,55% Pt fue más alta ($P < 0,05$) con relación al nivel de 0,45% Pt.

Para las variables de peso y consumo se registró una interacción ($P < 0,05$) entre niveles de Pt y de fitasas, lo que se debió a una mayor respuesta a la enzima en el nivel más bajo de Pt de la dieta.

TABLA II
PESO, CONSUMO Y CONVERSIÓN ALIMENTICIA DE AVES ALIMENTADAS CON DIFERENTES NIVELES DE FÓSFORO TOTAL Y DE FITASAS EN LA DIETA¹

TRATAMIENTOS		VARIABLES		
Fósforo total (%)	Fitasas (U/kg)	Peso, (g/ave)	Consumo (g/ave)	Conversión alimenticia ²
0.45	0	1104 ± 55.51 ^{Ca}	1370 ± 189 ^{Ca}	1,24 ± 0.1 ^{Ba}
	300	1137 ± 72.34 ^{Ca}	1520 ± 143 ^{Ca}	1,34 ± 0.1 ^{Ba}
	400	1232 ± 30.92 ^{Cb}	1611 ± 37 ^{Ca}	1,31 ± 0.1 ^{Ba}
	500	1222 ± 33.11 ^{Cb}	1556 ± 41 ^{Ca}	1,28 ± 0.1 ^{Ba}
Promedio		1173.75 ± 47.97^{Ca}	1514 ± 102.5^{Ca}	1.29 ± 0.1^{Ba}
0.55	0	1289 ± 68.48 ^{Ca}	1766 ± 116 ^{Ba}	1,34 ± 0.03 ^{ABa}
	300	1329 ± 21.83 ^{Ba}	1749 ± 91 ^{Ba}	1,36 ± 0.1 ^{ABa}
	400	1335 ± 60.34 ^{Ba}	1744 ± 80 ^{Ba}	1,32 ± 0.01 ^{ABa}
	500	1346 ± 32.54 ^{Ba}	1812 ± 39 ^{Ba}	1,35 ± 0.01 ^{ABa}
Promedio		1325 ± 45.80^{Ba}	1768 ± 81.5^{Ba}	1.34 ± 0.04^{ABa}
0.65	0	1357 ± 26.51 ^{Aa}	1834 ± 15 ^{Aa}	1,38 ± 0.04 ^{Aa}
	300	1362 ± 22.36 ^{Aa}	1856 ± 59 ^{Aa}	1,34 ± 0.03 ^{Ab}
	400	1394 ± 22.36 ^{Aa}	1878 ± 44 ^{Aa}	1,33 ± 0.04 ^{Ab}
	500	1403 ± 41.64 ^{Aa}	1893 ± 61 ^{Aa}	1,35 ± 0.02 ^{Ab}
Promedio		1379 ± 28.22^{Aa}	1865 ± 44.75^{Aa}	1.35 ± 0.03^{Ab}
ANOVA				
Fuente de variación		P		
Efecto Fósforo total		0,0001	0,0001	0,0140
Efecto Fitasa		0,0865	0,5702	0,5272
Fósforo x Fitasa		0,0244	0,0098	0,1878

A,B,C diferencias significativas ($P < 0,05$) entre niveles de fósforo

a,b diferencias significativas ($P < 0,05$) entre niveles de fitasas

¹cuatro semanas de edad

² Conversión alimenticia= kg de alimento/kg ganancia de peso

± Desviación estándar (n= 10)

El contenido de ceniza, porcentaje del tejido óseo (TABLA III) de las aves alimentadas con diferentes niveles de fósforo y de incorporación de fitasas (300, 400 y 500 U/kg) aumentó ($P < 0,05$) de 37,17 a 40,11, de 41,87 a 42,26 y, de 42,66 a 43,76 respectivamente, con los niveles de 0,45, 0,55 y 0,65% de Pt. Dentro de cada nivel de P, el efecto de la fitasa mostró un incremento con el aumento del nivel de la misma, siendo este más evidente con el nivel más bajo de P (0,45%). En este caso la amplitud de la diferencia entre el nivel 0 y el de 500 U/kg fue de 2,94%, mientras que para el nivel de 0,65% de Pt la diferencia fue de 1,1%, siendo más bajo el nivel de 0,55% Pt, con una diferencia de 0,39%.

El contenido de fósforo en el tejido óseo mostró el mismo patrón que el de ceniza, incrementando con el nivel de P de la dieta con valores promedios de 14,18, 16,37 y 17,63 % P, para 0,45, 0,55 y 0,65% Pt respectivamente. El incremento del nivel de fitasa, para cada nivel de P dietético total, no afectó el contenido de P del tejido óseo, siendo únicamente más bajo ($P < 0,05$) para el tratamiento sin adición de fitasa.

Los valores equivalentes de fósforo disponible (Pd) por adición de fitasa, calculados en base a la ganancia de peso y el porcentaje de cenizas en el tejido óseo, fueron similares en los diferentes niveles de fósforo disponible (TABLA IV) mostrando, sin embargo, una tendencia a mayor efecto con los niveles más bajo de fósforo. El fósforo disponible (g) fue estimado a partir del fósforo liberado a todos los niveles de fitasa, siendo para 0,45% Pt, 0,151; para 0,55% Pt, 0,047 y, para 0,65% Pt, 0,040. El porcentaje de P liberado por 100 U/kg de fitasa para 0,45% Pt fue de 0,0041, para 0,55% Pt de 0,0068 y, para 0,65% Pt de 0,0019. Los resultados indican que se requieren 540 U/kg y 1290 U/kg de fitasa para reemplazar un g de P inorgánico, a los niveles de 0,45% y 0,55% Pt, respectivamente. La cantidad total de fósforo liberado aumentó pero la eficacia de la actividad fitásica por 100 U/kg fue disminuida a los niveles más altos de fósforo disponible.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este estudio indican que la incorporación de fitasas sintéticas (*Aspergillus niger*) en dietas para aves en crecimiento mejora la respuesta productiva y mineralización del tejido óseo, por incremento en la disponibilidad del fósforo fítico presente en una dieta a base de maíz-soya. La suplementación de fitasa de 0, 300, 400 y 500 U/kg, con niveles creciente de fósforo total (0,45; 0,55 y 0,65%) incrementó ($P < 0,05$) la ganancia de peso, el consumo de alimento y las cenizas del hueso, aún con el nivel más bajo de fitasa (300 U/kg) y, más evidente, con la adición de 0,45% de fósforo total. La suplementación con fitasas, en dietas para aves, provocan: liberación del fósforo de la molécula de fitato Qian y col., [8]; Sebastián y col., [9], la utilización de inositol por los animales Simons y col., [10]; incremento de la digestibilidad del almidón Knuckles y Betschart, [5]; y/o incremento en la utilización de proteínas Farell y col., [4]. Sin embargo, a medida que aumenta el fósforo inorgánico en la ración se inhibe la actividad de la enzima fitasa, cuando este se encuentra en cantidades suficientes para cubrir las necesidades del animal Power y Khon,[7]

TABLA III
CONTENIDO DE CENIZAS Y FOSFORO EN EL TEJIDO ÓSEO DE AVES ALIMENTADAS CON DIFERENTES NIVELES DE FÓSFORO Y DE FITASAS¹

TRATAMIENTO		MEDIDA	
Fósforo total (%)	Fitasas (U/kg)	Cenizas %	P %
0.45	0	37,17 ± 1.51 ^{Cc}	13,90 ± 0.1 ^{Cb}
	300	38,81 ± 1.84 ^{Cb}	13,63 ± 0.86 ^{Ca}
	400	38,50 ± 1.15 ^{Ccb}	14,61 ± 1.01 ^{Ca}
	500	40,11 ± 1.61 ^{Ca}	14,59 ± 0.58 ^{Ca}
Promedio		38,65 ± 1.53^{Ccb}	14,18 ± 0.64^{Ca}
0.55	0	41,87 ± 1.55 ^{Bc}	16,10 ± 0.65 ^{Bb}
	300	41,19 ± 1.22 ^{Bab}	16,19 ± 0.57 ^{Ba}
	400	42,00 ± 1.75 ^{Bbc}	16,83 ± 0.64 ^{Ba}
	500	42,26 ± 0.96 ^{Ba}	16,34 ± 1.03 ^{Ba}
Promedio		41,83 ± 1.37^{Bc}	16,37 ± 0.72^{Ba}
0.65	0	42,66 ± 1.05 ^{Ac}	17,34 ± 0.15 ^{Ab}
	300	42,99 ± 0.95 ^{Aab}	17,54 ± 0.35 ^{Aa}
	400	42,60 ± 1.05 ^{Abc}	17,66 ± 0.49 ^{Aa}
	500	43,76 ± 0.95 ^{Aa}	17,96 ± 0.29 ^{Aa}
Promedio		43,00 ± 1.00^{Aab}	17,63 ± 0.32^{Aa}
ANOVA			
Fuente de variación		P	
Efecto fósforo total		0,0001	0,0001
Efecto de Fitasa		0,0200	0,0001
Fósforo x Fitasa		0,0078	0,0001

A,B,C diferencias significativas ($P < 0,05$) entre niveles de fósforo

a,b diferencias significativas ($P < 0,05$) entre niveles de fitasas

± Desviación estándar (n= 10)

¹cuatro semanas de edad

Se conoce, además, que las enzimas aumentan la absorción de los nutrientes en el tracto intestinal del ave, debido a que favorecen la actividad bacteriana y la producción de ácidos grasos volátiles (buche, intestino delgado y ciego), con aumento de la tamaño de la vellosidad intestinal Wise, [11].

La tendencia general de que la adición de fitasa, a los diferentes niveles de fósforo total, no afectó la conversión alimenticia, coincide con lo reportado por Kornegay *et al.* [6], evaluando una dieta semipurificada en pollos de engorde con niveles de 0,27, 0,36 y 0,45% de fósforo disponible, con o sin la adición de fitasa. Por otro lado, Sebastián *et al.*, [9] establecen que no existen mejoras en los índices de conversión, pues, si bien hay mayor crecimiento corporal al utilizar fitasas, los consumos también aumentan.

Los resultados de este experimento muestran que el fósforo equivalente fue de 540 U/kg= 1 g P para 0,25 % Pd; 1290 U/kg= 1 g P para 0,35 %Pd. Resultados similares fueron obtenidos por Denbow *et al.* [3], donde los valores de fósforo equivalente por nivel de fitasa fueron para 1 g de P de 614 y 1128 U/kg, para 0,20% y 0,27%Pd, respectivamente.

La cantidad de fósforo fítico estimado que pudiera ser liberado por la adición de fitasa (300, 400 y 500 U/kg) en dietas a base de maíz-soya, varía según el nivel de fósforo disponible en la dieta, siendo para 0,25%; 0,35% y 0,45% Pd, de 23% a 37%; 31% a 40% y 0,386% a 1,087%, respectivamente. Los mejores resultados fueron para el nivel de 0,25% Pd con un nivel de 500 U/kg de fitasa. Yi *et al.*[12] encontraron valores entre 21 y 50%, a un nivel de 0,27 % Pd, y con 250, 500, 750 y 1000 U/kg de fitasa.

CONCLUSIONES

La adición de fitasas sintéticas en la dieta maíz-soya, tuvo su efecto más evidente en las dietas bajas en fósforo y fue necesaria la adición de 540 U/kg para la liberación de un g de fósforo con un nivel de 0,25% de fósforo disponible en la dieta y de 1290 U/kg cuando el nivel de fósforo disponible se incrementó a 0,35%.

La conveniencia de la utilización de fitasas exógenas dependerá de los avances biotecnológicos que se realizarán en este ámbito y de la relación costo beneficio que se deriven de su uso. El componente ambiental puede jugar un papel determinante que podría obviar en cierta medida las limitadas ventajas económicas que bajo los conocimientos y tecnologías actuales se están logrando mediante el uso de fitasas exógenas.

TABLA IV
EQUIVALENCIA DE FITASA A FÓSFORO DISPONIBLE PARA AVES ALIMENTADAS CON DIETAS A BASE DE MAÍZ-SOYA.

Variables	Valores Equivalentes			Ecuaciones Equivalentes ¹⁵
	300	400	500	
Pd (Pt)= 0.25 (0.45) %				
Equivalencia de Pd, %				
Ganancia de peso ¹	0.138	0.183	0.229	Y = 0.0013 + 0,0005X
Contenido de cenizas ²	0.156	0.184	0.212	Y = 0.072 + 0,0001X
Promedio equivalente Pd, % ³	0.147	0.184	0.212	Y = 0.051 + 0,0003X
P liberado, % ⁴	0.151	0.192	0.203	Y = 0.078 + 0,0003X
P fítico, % ^{5,6}	23	30	37	Y = 2 + 0,07X
P liberado (%) /100 U de fitasa ⁷	0.0041	0.0044	0.0047	Y = 0.0032 + 3E-06X
Pd (Pt)= 0.35 (0.55) %				
Equivalencia de Pd, %				
Ganancia de peso ⁸	0.356	0.378	0.401	Y = 0.2883 + 0,0002X
Contenido de cenizas ⁹	0.325	0.328	0.332	Y = 0.3143 + 3E-05X
Promedio equivalente Pd, % ¹⁰	0.341	0.353	0.367	Y = 0.3017 + 0,0001X
P liberado, % ¹¹	0.047	0.060	0.073	Y = 0.008 + 0,0001X
P fítico, % ^{12,13}	31	38	40	Y = 2 + 0,07X
P liberado (%) /100 U de fitasa ¹⁴	0.0068	0.0088	0.0108	Y = 0.0008 + 2E-05X
Pd (Pt)= 0.45 (0.65) %				
Equivalencia de Pd, %				
Ganancia de peso ¹⁵	0.388	0.403	0.418	Y = 0.343 + 0,0002X
Contenido de cenizas ¹⁶	0.384	0.398	0.412	Y = 0.342 + 0,0001X
Promedio equivalente Pd, % ¹⁷	0.386	0.4000	0.415	Y = 0.3423 + 0,0001X
P liberado, % ¹⁸	0.040	0.190	0.340	Y = -0.41 + 0,0015X
P fítico, % ^{19,20}	0.386	1.087	0.787	Y = -0.0487 + 0,002X
P liberado (%) /100 U de fitasa ²¹	0.0019	0.0039	0.0059	Y = -0.041 + 2E-05X

^{01,8,15} La ecuación de regresión para fósforo disponible fue $Y = 1060.2 + 797.59X$, $r^2 = 0.75$, y para la fitasa fue $Y = 1061.6 + 0.363X$, $r^2 = 0.9$ para 0.25% Pd; $Y = 1290.6 + 0.1797X$ para 0.35% Pd; $r^2 = 0.99$; $Y = 1333.8 + 0.1201X$ para 0.45% Pd $r^2 = 0.99$; donde Y= ganancia de peso (g); X= Fósforo disponible (%), o nivel de fitasa (U/kg).

^{2,9,16} La ecuación de fósforo disponible fue $Y = 35.715 + 18.771X$, $r^2 = 0.9$, y para fitasa fue $Y = 37.094 + 0.0052X$ para 0.25% Pd; $r^2 = 0.99$ $Y = 41.648 + 0.0006X$, para 0.35% Pd $r^2 = 0.9$; y $Y = 35.715 + 18.77X$ para 0.45 % Pd; $r^2 = 0.99$; donde Y= Porcentaje de cenizas del hueso, X= Pd (%) o fitasa (U/kg).

^{3,10,17} La ganancia de peso y el porcentaje de cenizas fueron promediados.

^{4,11,18} $Y = 0.0315 + 0.0004X$, $r^2 = 0.99$, para 0.25% Pd; $Y = 0.0833 + 0.00013X$ $r^2 = 0.99$, para 0.35% Pd; y $Y = -0.41 + 0.0015X$ $r^2 = 0.99$ para 0.45 % Pd; donde Y= fósforo liberado (g) y X= actividad fitásica (U/kg).

^{5,12,19} Fósforo fitato en dieta a base de maíz-soya (0.24%) según National Research Council (1984).

^{6,13,20} $Y = 2.142 + 0.070X$, $r^2 = 0.99$; $Y = 2.123 + 0.070X$, $r^2 = 0.99$; donde Y= fósforo liberado (g) y X= actividad fitásica (U/kg).

^{7,14,21} $Y = 0.0032 + 3E-6X$, $r^2 = 0.99$ para 0.25% Pd y $Y = 0.0008 + 2E-5X$, $r^2 = 0.99$, para 0.35% Pd; donde Y= fósforo liberado (g)/100 U de fitasa y X= actividad fitásica (U/kg).

¹⁵ Las ecuaciones equivalentes fueron calculadas mediante las respuestas de las ecuaciones previas a los diferentes niveles de fitasa. y de fósforo disponible.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). Official Methods Analysis. 15 th. Washington, D.C. 1018 p. 1984.
- [2] BITAR, K.; REINHOLD, H. Phytase and alkaline phosphatase activities in intestinal mucosa of rat, chicken, calf and man. *Biochim. Biophys. Acta* 268: 442-452. 1972.
- [3] DENBOW, D. RAVINDRAN, V.; KORNEGAY, E.; YI, Z.; HULET, R. Improving Phosphorus availability in soybean meal for broilers by supplemental phytase. *Poultry Sci.* 74: 1831- 1842.1995.
- [4] FARELL, D.; MARTIN, E. ; PAREZ, J.; BONGARTS, M.; BETTS, M.; SUDAMEN, A.; THOMSOM, E. The beneficial effects of a microbial phytase in diets of broiler chicks and ducklings, *J. Anim. Physiol. Nutri.* 69:278-283. 1993.
- [5] KNUCKLES, B.; BETSCHAT, A. Effect of phytate and other myo-inositol phosphate esters on alpha-amylase digestion of satarch. *J. Food Sci.* 52:719-721.1987.
- [6] KORNEGAY, E.; DENBOW, D.; YI, Z.; RAVINDRAN, V. Response of broiler to graded levels of microbial phytase added to maize - soyabean- mealbased diets containing three levels of non-phytasephosphorus. *Bristish J Nut* 75:839-852. 1996.
- [7] POWER, R.; KHON, N. Phytase. The limitations to its universal use and how biotechnology is responding. *Biotechnology in the feed industry. Proceedings of Alltech's*: 335-367. 1993.
- [8] QIAN, H.; KORNEGAY, E.; DENBOW, D.; Phosphorus equivalence of microbialphytase in turkey diets as influenced by Ca:P ratios ant P levels. *Poultry Sci.* 75:69-81.1996
- [9] SEBASTIAN, S.; TOUCHBURN, S.; CHAVEZ, E. Implications of phytic acid and supplemental microbial phytase in poultry in nutrition: A review. *World Poults. Sci. J.* 54:27-47.1998.
- [10] SIMONS, P.; VERSTEEGH, H.; JONGBLOED. A.; KEMMEN, P.; SLUMP, P.; BOS, K.; WOLTERS, M.; BEUDEKER, R.; VERSCHOOR, G.; Improvement of phosphorus availability phytae in broilers and pigs. *Br. J. Nutr.* 64: 525-540.1990.
- [11] WISE, A. Dietary factors determining the biological activities of phytase. *Nutr. Abstr.* 64:525-540.1990.
- [12] YI, Z.; KORNEGAY, E.; RAVINDRAN, V.; DENBOW, D. Improving phytase phosphorus availability in corn and soybean meal for broilers using microbial phytase and calculation of phosphorus equivalency values phytase. *Poultry Sci.* 75: 240-249.1996