

CONTENIDO DE FÓSFORO FÍTICO, ACTIVIDAD FITÁSICA Y ABSORCIÓN DEL FÓSFORO DE CEREALES EN POLLOS

Phytates, Phytases Activity and Phosphorus Absorption from Cereals in Chicks

Gleen Hernández, Susmira Godoy y Claudio Chicco

*Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (CENIAP), Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA).
Apartado 4653, Maracay 2101, estado Aragua, Venezuela. E-mail: sgodoy@inia.gov.ve*

RESUMEN

Se determinó el contenido de fósforo total, fósforo fítico y actividad fitásica intrínseca del trigo duro, maíz amarillo y un sorgo alto en taninos y, en pollos de 4 semanas de edad, se midió la retención neta aparente del fósforo total y del fósforo fítico de los tres cereales, así como la actividad fitásica de la mucosa del intestino delgado de las aves. El contenido de fósforo total y del fósforo fítico fue similar a los valores generalmente reseñados para estos granos. La actividad fitásica intrínseca (U/kg) fue mayor ($P < 0,05$) para el trigo (1565), y significativamente más baja para el maíz (12) y sorgo (24). La actividad fitásica intrínseca se correlacionó positivamente con el contenido de fitatos de los granos. La retención neta aparente del fósforo total y del fósforo fítico fue de 72,0 y 40,9; 58,3 y 38,5; 40,6 y 25,0 y 66,2 y 41,5%, respectivamente, para trigo, maíz, sorgo y el fosfato dicálcico utilizado como testigo referencial. La retención de fósforo fue mayor ($P < 0,05$) en el trigo y testigo referencial que en maíz y sorgo. La actividad fitásica de la mucosa duodenal fue más alta que la del resto del intestino.

Palabras clave: Fósforo, fitatos, fitasas, trigo, maíz, sorgo, aves.

ABSTRACT

Total phosphorus, phytic phosphorus and intrinsic phytase activity were measured in hard wheat, yellow corn and high tannic sorghum, and, in 4 week old chicks, net apparent retention of both total and phytic phosphorus was determined, including phytase of intestinal mucosa. Total and phytic phosphorus contents were similar to values generally reported for these grains.

Wheat intrinsic phytase activity (U/kg) was significantly higher (1565) than corn (12) and sorghum (24). Intrinsic phytase activity was positively correlated with phytic phosphorus content of the grains. Total and phytic phosphorus apparent net retention values were 72.0 and 40.9, 58.3 and 38.5, 40.6 and 25.0, and 66.2 and 41.5% respectively for wheat, corn and sorghum, including a dicalcium phosphate as reference control. Wheat and dicalcium phosphate had higher ($P < 0.05$) phosphorus retention than corn and sorghum. Phytase activity of duodenal mucosa was higher in duodenal mucosa than in the remaining segments of the intestinal track.

Key words: Phosphorus, phytates, phytase, wheat, corn, sorghum, poultry.

INTRODUCCIÓN

Los alimentos balanceados para aves y cerdos están elaborados principalmente con granos de cereales y oleaginosas. La disponibilidad del fósforo en la mayoría de estos ingredientes alimenticios es baja (30-40%), debido a que alrededor del 70% del elemento se encuentra bajo la forma de fitatos, compuestos poco utilizados por los no rumiantes [19], por la escasa actividad de las fitasas digestivas en estas especies.

Consecuentemente, las dietas para cerdos y aves deben ser suplementadas con fuentes de fósforo inorgánico para cubrir las necesidades de los animales [16].

Los granos de cereales y oleaginosas, además del fósforo fítico, tienen cierta actividad fitásica intrínseca, que varía según el tipo de material [20]. La combinación de estos dos factores hace que la disponibilidad del fósforo fítico varíe según las distintas fuentes vegetales.

Las fitasas, digestivas e intrínsecas, son enzimas que degradan el fósforo fítico, produciendo ortofosfatos inorgánicos, ésteres fosfóricos y mioinositol, lo que permite que una mayor fracción del fósforo orgánico sea transformada en una forma aprovechable para el animal.

Consecuentemente, a fin de una mejor comprensión de la utilización del fósforo fítico presente en granos de cereales en dietas para aves, se caracterizó químicamente el fósforo y la actividad fitásica intrínseca en granos de cereales (trigo, maíz y sorgo), la actividad fitásica endógena en el intestino delgado de las aves y la absorción del fósforo de las dietas en aves alimentadas con diferentes cereales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Caracterización del fósforo y actividad fitásica intrínseca del trigo, maíz y sorgo

Los cereales estudiados fueron el trigo duro, el maíz amarillo y un sorgo de alto contenido de taninos (3,05%). Se tomaron 10 muestras representativas de cada cereal que fueron molidas y tamizadas para alcanzar el tamaño de partícula de 1 mm.

Para la extracción de ácido fítico se utilizó el método de Bartlett [2]. Un gramo de cada muestra fue tratado con ácido clorhídrico (50 mL 0,5N) y, mezclado con un agitador mecánico por 2 h, filtrándose posteriormente a través de un papel de filtro Whatman # 54. Luego, 10 mL del filtrado fueron centrifugados por 15 minutos a 1000 G. El líquido sobrenadante se descartó y el precipitado fue lavado con 5 mL de HCl 0,1N. Al precipitado se adicionaron 3 mL de H₂SO₄ (36N)/1mL de HNO₃ (16N) y posteriormente se llevó a un digestor por 2h para eliminar la materia orgánica. La determinación del ácido fítico se realizó por el método de precipitado de Thompson y Erdman [27] y, la del fósforo por el método de Bartlett [2], que es una modificación de la metodología de colorimetría de Fiske y Subbarrow [8].

La actividad fitásica intrínseca se determinó por el método de Bitar y Reinhold [4]. Un gramo de muestra molida y tamizada de cada cereal fue diluido en una solución tampón tris-HCl (0,02 M) a un pH de 7,5, y homogeneizado y centrifugado a 20 G durante 30 min. Las muestras fueron incubadas a 37°C durante 5, 15 y 30 minutos, utilizándose para ello una solución tampón acetato (0,25 M) a un pH equivalente al del tracto digestivo de las aves (pH 2,0). Posteriormente, las muestras fueron incubadas con el sustrato, fitato de sodio 5 mM (A), y sin fitatos (B), más un blanco sin muestras pero con fitato de sodio (C). Al finalizar el periodo de incubación, se interrumpió la reacción con 3 mL de TCA al 20%. Luego las muestras se centrifugaron a 120 G durante 10 min, y el fósforo inorgánico liberado en el sobrenadante se determinó por el método de Fiske y Subbarrow [8].

El fósforo liberado de la molécula de fitato de la muestra (A) fue corregido, restando el fósforo inorgánico presente en la muestra (B) y en el blanco sin muestra (C) y se expresó como μmol de fósforo inorgánico liberado/g/mL/min. La actividad fitásica fue calculada de la siguiente manera: Unidad de fitasa $\text{kg}^{-1} = (P \times 1000)/(\text{Peso} \times \text{tiempo})$, donde P es el fósforo, expresado en micromoles de P liberado por la fitasa en 60 min, Peso de la muestra (g) y tiempo, 60 min de incubación. Según este método, se define como la unidad de fitasa la cantidad de P inorgánico (Pi) liberado por min de 5 mM de una solución de fitato de sodio a una tasa $1\mu\text{mol}/\text{min}$, a un pH de 5,5 a 37°C.

Retención neta de fósforo en aves

Para determinar la retención neta aparente de fósforo total y fítico en granos de trigo, maíz y sorgo, mediante prueba de balance, 40 pollos de engorde del híbrido comercial Cobb x Cobb, de 4 semanas de edad, seleccionados por peso promedio por grupo, fueron distribuidos, según un diseño completamente aleatorizado, en cuatro grupos, de 10 aves cada uno.

La prueba se realizó en la Unidad Avícola del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (CENIAP) del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), con sede en Maracay, Venezuela.

Las dietas experimentales fueron formuladas con cada cereal (trigo, maíz y sorgo) con un nivel marginal de fósforo total de 0,48-0,50%. Además, se incluyó una dieta a base de maíz-soya con un aporte mayor de fósforo inorgánico, mediante la incorporación de fosfato dicálcico adicional (CaHPO₄) de alta pureza (DICAL), para alcanzar el nivel de fósforo total de 0,68%. Las dietas estaban constituidas además por aislado de soya, harina de soya, aceite vegetal, vitaminas y minerales, siendo isoproteicas (23% PC), isoenergéticas (3100 kcal EM/kg) y aproximadamente equivalentes en contenido de calcio, 0,87-0,90% (TABLA I).

Las aves, mantenidas en jaulas que permitían medir el consumo de alimento y la excreción cloacal, fueron alimentadas a voluntad, midiéndose diariamente la cantidad de concentrado ingerido y la excreción total, cada 24 horas, durante 3 días consecutivos y 7 días de adaptación a las jaulas. Previamente a la prueba de digestibilidad, las aves habían sido alimentadas con una dieta tipo maíz-soya, con 45% de fósforo disponible. Las heces fueron almacenadas a -20°C hasta su análisis. Para el cálculo de la retención neta aparente de fósforo total (RNAPt) y fítico (RNAPf) se utilizó la siguiente ecuación [5]:

$$\text{RNAP} (\%) = \frac{\text{P ingerido} - \text{P excretado} \times 100}{\text{P ingerido}}$$

Los análisis de las diferentes raciones experimentales y de las excretas se realizaron de acuerdo a las siguientes

TABLA I
COMPOSICIÓN DE LAS DIETAS EXPERIMENTALES (%). EXPERIMENTAL DIETS COMPOSITION (%)

Ingredientes	Maíz	Sorgo	Trigo	DICAL
Maíz	77	-	-	53.5
Sorgo	-	75	-	-
Trigo	-	-	80	-
Soya	-	-	-	35
Ais.Soya	16	16	10	-
Aceite veg.	2,4	4,6	4,9	7.0
Carbonato	1,8	1,8	1,6	1,5
Fosfato dicálcico	0,8	0,9	0,8	1,6
Vit/min ¹	0,6	0,6	0,6	0,6
Sal	0,5	0,5	0,5	0,5
Metionina	0,4	0,4	0,8	0,3
Lisina	0,2	0,2	0,8	-
EM ² , Kcal/kg	3100	3100	3100	3100
PC, % ³	23	23	23	23
Ca, %	0,87	0,91	0,90	1
P total, %	0,50	0,48	0,49	0,68

¹Vitaminas y minerales (por Kg de alimento): Vitamina A: 4000 UI; Vitamina D: 200 UI, Riboflavina: 3mg; Ácido Pantoténico: 5mg; Niacina: 20 mg; Colina: 450 mg; Vitamina B12: 10 µg; 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 × 6,25).

metodologías: proteína (N × 6,25) por el método de Kjeldahl [1], calcio por espectrofotometría de absorción atómica [1] y fósforo por colorimetría [8].

Actividad fitásica en el intestino delgado de las aves

Para evaluar la actividad fitásica del duodeno, yeyuno e íleon de las aves alimentadas con las dietas formuladas con cada cereal (trigo, maíz y sorgo), se sacrificaron 10 pollos/tratamiento, removiéndose la mucosa intestinal de cada segmento [14]. Las muestras de mucosa del duodeno, yeyuno e íleon fueron colocadas en recipientes de plástico y conservadas a una temperatura de -70°C para posterior determinación de la actividad fitásica por el método de Bitar y Reinhold [4].

Análisis estadístico

Los datos fueron sometidos a análisis de varianza utilizando un modelo estadístico completamente aleatorizado y la prueba de F fue aplicada para verificar la significancia de los cuadrados medios de las fuentes de variación, tomando el nivel de significación $\alpha = 0,05$. Cuando el ANAVAR detectó diferencias significativas entre las diferentes variables de los tratamientos, los promedios fueron separados de acuerdo a la prueba de Tukey [26], al mismo nivel de significancia utilizado en el análisis de la varianza.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fósforo fitico y actividad fitásica intrínseca del trigo, maíz y sorgo

El contenido de fósforo total y fósforo fitico de los cultivos de trigo, maíz y sorgo se presenta en la TABLA II. El contenido de fósforo total para el trigo fue de 0,33%, seguido por el maíz 0,29%, y más bajo para el sorgo 0,24%, con diferencias significativas entre los cereales ($P < 0,05$). Resultados similares fueron obtenidos por Eeckout y De Paepe [7] y a los señalados por las tablas de composición de alimentos [15], con valores de 0,33%, 0,30% y 0,27%, para trigo, maíz y sorgo, respectivamente.

La concentración de fósforo fitico (%) fue de 0,18; 0,15; 0,17 para trigo, maíz y sorgo, respectivamente. Cuando fue expresado como porcentaje del fósforo total, el fósforo fitico fue mayor para el sorgo (71%) seguido por el trigo (55%) y maíz (52%). Numerosos autores han reportado valores para el sorgo de 71% [7], 70% [6] y 69% [23]. Para el trigo y el maíz el porcentaje de fósforo fitico obtenido en este estudio fue más bajo que el señalado en la literatura [7, 11, 16], quienes reportan valores entre 61 y 78%, para el trigo y entre 61 y 77%, para el maíz.

De los cereales estudiados, el trigo (TABLA III) presentó la mayor ($P < 0,05$) actividad fitásica intrínseca (1565 U/kg).

TABLA II
CONTENIDO DE FÓSFORO TOTAL Y FÍTICO EN EL TRIGO, MAÍZ Y SORGO¹
TOTAL AND PHYTIC PHOSPHORUS CONTENT IN WHEAT, CORN AND SORGHUM¹

Materiales	P Total (%)	P inorgánico (%)	P Fítico (%)	P Fítico (% del P total)
Trigo	0,33 ± 0,003 ^a	0,15 ± 0,003 ^a	0,18 ± 0,003 ^a	55 ± 0,26 ^b
Maíz	0,29 ± 0,003 ^b	0,14 ± 0,003 ^b	0,15 ± 0,003 ^c	52 ± 0,26 ^c
Sorgo	0,24 ± 0,022 ^c	0,07 ± 0,003 ^c	0,17 ± 0,003 ^b	71 ± 0,26 ^a

¹ ± Error estándar (n = 10). ^{a, b, c} Promedio en la misma columna con distintas letras son diferentes entre sí (P < 0,05).

Numerosos autores han reportado valores (U/kg) para el trigo de 1193 [7, 22], 508 [3], 700 [20] 668 [9] y 668 [18]. Cuando la actividad fitásica está por debajo de 100 U/kg se considera que el material no tiene actividad fitásica [7]. Así, la actividad fitásica en el grano de maíz fue baja (12 U/kg), similar a los resultados de otros autores que refieren valores de 30 U/kg [20], 15 U/kg [7] y 46 U/kg [9, 18]. El sorgo presentó una actividad fitásica de 24 U/kg, igual a la indicada por Eeckout y De Paepe [7]. Resultados similares son reseñados también por Ravindran y col. [22], quienes obtuvieron valores para maíz y sorgo menores a 20 U/kg.

Las ecuaciones de regresión (TABLA IV) entre el contenido de fósforo fítico y la actividad fitásica intrínseca indican una correlación positiva y significativa (P < 0,05) entre estas dos variables, con valores de 0,90; 0,84 y 0,82, para trigo, maíz y sorgo, respectivamente.

El contenido de fósforo fítico y actividad fitásica intrínseca de los cereales evaluados se correlacionaron positivamente, indicando que, a medida que disminuye el fósforo fítico, decrece también la actividad fitásica. Sin embargo, la literatura señala contradicciones sobre la relación entre la actividad fitásica intrínseca y el contenido de fósforo fítico [7, 10].

Retención neta aparente de fósforo en dietas con trigo, maíz o sorgo

La cantidad de fósforo excretado como porcentaje del fósforo ingerido, fue menor para las dietas con trigo seguida por el maíz y sorgo. Esto probablemente es debido a la mayor hidrólisis del fitato en el tracto gastrointestinal [21, 24, 25, 28], inducida por la actividad fitásica intrínseca más alta del trigo, lo que se refleja en una disminución en la excreción fecal de fósforo. Estos resultados son comparables a los obtenidos por Nelson y col. [17] quienes indican que la fitasa contenida en el trigo mejora la utilización de fósforo fítico en dietas para pollos de engorde. Así, cuando sustituyeron el 50% del grano de maíz amarillo molido por trigo, se incrementó en 10 unidades porcentuales la hidrólisis de los fitatos.

La retención neta aparente (%) de fósforo total y fítico, expresada como porcentaje del fósforo ingerido se presenta en las TABLAS V y VI. Para el fósforo total, la retención neta aparente (%) fue mayor (P < 0,05) en el trigo (72), en comparación con el maíz (58,3) y el sorgo (40,6), siendo de 66,2% para la dieta de referencia (DICAL).

TABLA III
ACTIVIDAD FITÁSICA DEL TRIGO, MAÍZ Y SORGO¹
PHYTASE ACTIVITY IN WHEAT, CORN AND SORGHUM¹

Cereales	Actividad fitásica U/kg ²
Trigo	1565 ± 1,65 ^a
Maíz	12 ± 0,25 ^c
Sorgo	24 ± 0,20 ^b

¹ ± Error estándar (n = 10). ²U/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. ^{a, b, c} promedio en la misma columna, con distintas letras son diferentes entre sí (P < 0,05).

TABLA IV
ECUACIONES DE REGRESIÓN LINEAL Y COEFICIENTES DE CORRELACIÓN ENTRE EL CONTENIDO DE FÓSFORO FÍTICO (%) Y ACTIVIDAD FITÁSICA (U/KG) DEL TRIGO, MAÍZ Y SORGO¹. LINEAL REGRESIONS AND CORRELATION COEFFICIENTS BETWEEN PHYTIC PHOSPHORUS CONTENT (%) AND PHYTASE ACTIVITY (U/KG) FOR WHEAT, CORN AND SORGHUM¹

Cereales	Y = a + bx	R
Trigo	0,53 + 2,19x	0,90*
Maíz	0,61 + 1,59x	0,84*
Sorgo	0,003 + 0,72x	0,82*

¹ ± Error estándar (n = 10). * P < 0,05.

La retención neta aparente del fósforo fítico (TABLA VI) fue mayor (P < 0,05) para la dieta testigo (DICAL: 41,5%) y trigo (40,9%), intermedia para el maíz (38,5%), y con un valor más bajo para el sorgo (25,0%).

Los resultados de retención neta aparente del fósforo indican que las aves alimentadas con trigo fueron capaces de retener mayor cantidad de fósforo que las que fueron alimentadas con maíz y sorgo, posiblemente debido a la elevada actividad fitásica intrínseca del cereal y consecuentemente a la mayor biodisponibilidad de fósforo en esta dieta, como señalado por Nelson y col. [17] y otros autores [24, 25].

Actividad fitásica en mucosa de intestino delgado de pollos

La actividad fitásica de la mucosa del intestino delgado de las aves fue mayor en el duodeno y yeyuno que en el íleon,

TABLA V
RETENCIÓN NETA APARENTE DE FÓSFORO TOTAL (Pt) EN AVES ALIMENTADAS CON DIETAS DE TRIGO, MAÍZ, SORGO Y DICAL^{1,2}
APPARENT RETENTION OF TOTAL PHOSPHORUS (Pt) IN POULTRY FED WITH WHEAT, CORN, SORGHUM AND DICAL^{1,2}

Medidas	Trigo	Maíz	Sorgo	DICAL
Pt Ingerido (g/d)	0,80 ± 0,003 ^a	0,72 ± 0,003 ^d	0,69 ± 0,003 ^b	0,99 ± 0,001 ^c
Pt excretado (g/d)	0,32 ± 0,003 ^b	0,30 ± 0,001 ^c	0,41 ± 0,002 ^a	0,34 ± 0,001 ^d
Pt retenido (g/d)	0,58 ± 0,001 ^a	0,42 ± 0,001 ^b	0,28 ± 0,002 ^c	0,65 ± 0,001 ^d
RNA Pt, % ³	72,0 ± 0,001 ^a	58,3 ± 0,003 ^c	40,6 ± 0,003 ^d	66,2 ± 0,0001 ^a

¹Diez aves por tratamiento. ² ± Error estándar. ^{a,b,c,d} Promedios con letras distintas dentro de una misma fila difieren estadísticamente (P < 0,05).

$$^3\text{RNA: retención neta aparente} = \frac{\text{P ingerido} - \text{P excretado} \times 100}{\text{P ingerido}}$$

TABLA VI
RETENCIÓN NETA APARENTE DE FÓSFORO FÍTICO (Pf) EN AVES ALIMENTADAS CON TRIGO, MAÍZ, SORGO Y DICAL^{1,2}
APPARENT RETENTION OF PHYTIC PHOSPHORUS (Pf) IN POULTRY FEED WITH WHEAT, CORN, SORGHUM AND DICAL^{1,2}

Medidas	Trigo	Maíz	Sorgo	DICAL
Pf Ingerido (g/d)	0,44 ± 0,01 ^a	0,39 ± 0,01 ^d	0,48 ± 0,01 ^c	0,41 ± 0,01 ^b
Pf excretado (g/d)	0,26 ± 0,002 ^a	0,24 ± 0,02 ^c	0,36 ± 0,01 ^b	0,24 ± 0,02 ^a
Pf retenido (g/d)	0,18 ± 0,001 ^a	0,15 ± 0,01 ^b	0,12 ± 0,01 ^d	0,17 ± 0,03 ^c
RNA Pf, % ³	40,9 ± 0,02 ^a	38,5 ± 0,01 ^b	25,0 ± 0,02 ^c	41,5 ± 0,01 ^a

¹Diez aves por tratamiento. ² ± Error estándar. ^{a,b,c} Promedios con letras distintas dentro de una misma fila difieren estadísticamente (P < 0,05).

$$^3\text{RNA: retención neta aparente} = \frac{\text{P ingerido} - \text{P excretado} \times 100}{\text{P ingerido}}$$

TABLA VII
ACTIVIDAD FITÁSICA DE LA MUCOSA DEL INTESTINO DELGADO DE AVES ALIMENTADAS CON TRIGO, MAÍZ Y SORGO¹
PHYTASE ACTIVITY IN DUODENAL MUCOSA OF POULTRY FED WITH WHEAT, CORN AND SORGHUM¹

Medidas	Trigo	Maíz	Sorgo	DICAL
Pf Ingerido (g/d)	0,44 ± 0,01 ^a	0,39 ± 0,01 ^d	0,48 ± 0,01 ^c	0,41 ± 0,01 ^b
Pf excretado (g/d)	0,26 ± 0,002 ^a	0,24 ± 0,02 ^c	0,36 ± 0,01 ^b	0,24 ± 0,02 ^a
Pf retenido (g/d)	0,18 ± 0,001 ^a	0,15 ± 0,01 ^b	0,12 ± 0,01 ^d	0,17 ± 0,03 ^c
RNA Pf, % ³	40,9 ± 0,02 ^a	38,5 ± 0,01 ^b	25,0 ± 0,02 ^c	41,5 ± 0,01 ^a

¹ ± Error estándar (n = 10). ²U/kg: unidad de fitasa es la cantidad de Pi liberado por min de 5 mM de una solución de fitato de sodio a 1 µmol min a un pH de 5,5 a 37°C. ^{a,b,c} Promedios con letras distintas dentro de una misma columna difieren estadísticamente (P < 0,05). ^{A,B,C} Promedios con letras distintas dentro de una misma fila difieren estadísticamente (P < 0,05).

independientemente de la dieta (TABLA VII). Los valores de actividad enzimática en intestino para las aves alimentadas con trigo, maíz y sorgo fueron 3,63; 4,31 y 8,05 U/kg en el duodeno, respectivamente, y de, 2,64; 3,60 y 4,30 U/kg en el yeyuno, para el mismo orden de tratamientos. La actividad fitásica del íleon fue apreciablemente inferior, en todas las dietas, con valores de 0,88; 0,80 y 0,40 U/kg, para trigo, maíz y sorgo, respectivamente.

La actividad fitásica en duodeno y yeyuno de las aves alimentadas con sorgo fue mayor (P < 0,05) a la del maíz y trigo, y más baja en el íleon. Similarmente, Maenz y Classen [14] indican actividades mayores en duodeno (1,4 y 2,1 mmolP/sección/min) y yeyuno proximal (1,0 y 1,6 mmolP/sección/min)

en pollos y gallinas, respectivamente y, más bajas para el segmento del íleon (0,6 mmolP/sección/min.). Asimismo, diferentes autores [12, 13, 14] señalan que la mayor actividad fitásica intestinal se encuentra en las aves de mejor desarrollo corporal e intestinal.

CONCLUSIONES

Los resultados indican que los cereales trigo, maíz y sorgo tienen contenidos de fósforo total entre 0,24 y 0,33%. La actividad fitásica es alta para el trigo (1565 U/kg) y muy baja para maíz (12U/kg) y sorgo (24 U/kg). El contenido de fósforo

de la dieta y la actividad fitásica intrínseca del grano están correlacionados positivamente. La actividad fitásica del intestino, aún cuando fue más elevada en duodeno y yeyuno, independientemente del tipo de cereal en la dieta, es de poca significancia para esta especie. Las medidas de absorción de fósforo total y fítico, expresadas como retención neta aparente, fueron más elevadas para el trigo y DICAL, seguido por maíz y más baja para sorgo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). **Official Methods Analysis**. 15th Ed. Washington, D.C. 1018 pp. 1984.
- [2] BARTLETT, G. Phosphorus assay in column chromatography. **J. Biol Chemist**. 1: 466-471. 1959.
- [3] BARRIER-GUILLOT, B.; CASADO, P.; PMAUPETIT, P.; JONDREVILLE, C.; GATEL, C. Wheat phosphorus availability. 1. In vitro study in broilers and pig: relationship with endogenous phytase activity and phytic phosphorus content in wheat. **J. Sci. Food Agri**. 70:69-74. 1996.
- [4] BITAR, K.; REINHOLD, H. Phytase and alkaline phosphatase activities in intestinal mucosa of rat, chicken, calf and man. **Biochem. Biophys Acta**. 268: 442-452. 1972.
- [5] CALVER, C.C.; BESECKER, R.J.; PLUMLEE, M.P.; CLINE, T.R.; FORSITH, D.M. Apparent digestibility of phosphorus in barley and corn for growing swine. **J. Anim. Sci**. 47: 420-428. 1978.
- [6] CROMWELL, G.L. The biological availability of phosphorus in feedstuffs for pigs. **Pig News Inf**. 13:75-78. 1992.
- [7] EECKHOUT, W.; DE PAEPE, M. Total phosphorus, phytate-phosphorus and phytase activity in plant feedstuffs. **Animal. Feed. Sci. Technol**. 47: 19-29. 1994.
- [8] FISKE, C.; SUBBARROW, E. The colorimetric determination of phosphorus. **J. Biological Chem**. 66:375-384. 1925.
- [9] FRAPIN, D. Valorisation du phosphore phytyque vegetal chez l'oiseau: intérêt et mode d'action des phytases végétales et microbienne. Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Rennes; SRA, INRA, Centre de Tours, Francia. (These de Doctorat). 133 pp. 1996.
- [10] GODOY, S.; CHICCO, C.F.; MESCHY, F.; REQUENA, F. Phytic phosphorus and phytase activity of animal feed ingredients. **Interciencia**. 30(1):24-28. 2005.
- [11] HAUG, W.; LANTZSCH, H.J. Sensitive method for the rapid determination of phytate in cereals and cereal products. **J. Sci. Food Agric**. 34:1423-1426. 1983.
- [12] HOPKINS, J.; BALLANTYNE, A.J.; JONES, J.L. Dietary phosphorus for laying hens. En D.J Cole and W. Hare-sign (Editors). **Recent Developments in Poultry Nutrition**. Butterworths. London, 231-238pp. 1989.
- [13] LANTZSCH, H.J. Einführung und Stand der Discussion zur intestinalen verfügbarkeit des phosphor beim Schwein. In: **Mineralstoffempfehlungen beim Schwein unter besonderer Berücksichtigung der Phosphor-Verwertung**. Referate der wissenschaftlichen Vortragstagung, Wünzburg, 27 und 28 November 1989. Industrieverband Agrar e, V., Fachausschuss Futterphosphate, Frankfurt am Main, 53-77pp. 1989.
- [14] MAENZ, D.; CLASSEN, H. Phytase activity in the intestinal brush border membrane of the chicken. **Poultry Sci**. 77: 557-563. 1998.
- [15] NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient Requirements of poultry**, 9th Ed. National Academy Press, Washington, DC. 155pp.1994.
- [16] NELSON, T.S.; FERRARA, L.W.; STORER, N.L. Phytate phosphorus content of feed ingredients derived from plants. **Poultry Sci**. 47:1372-1374. 1968.
- [17] NELSON, T.S.; SHIEH, T.R.; WODZINS, R.J.; WARE, J.H. Effect of supplementation old phytase on the utilization of phytate phosphorus in chicks. **J. Nutr**. 101:1289-1294. 1971.
- [18] NYS, Y.; FRAPIN, D.; POINTILLART, A. Occurrence of phytase in plants, animals and microorganism. In: **Phytase in Animal Nutrition and Waste Management**. (M.B. Coelho and E.T. Kornegay, Eds.). Basf Reference Manual No. DC9601. Basf Corp., Mt. Olive, NJ. 213-236pp. 1996.
- [19] PERNEY, K.M.; CANTOR, A.H.; STRANW, M.L.; HERKELMAN, K.L. The effet of dietary phytase on growth performance and phosphorus utilization of broiler chicks. **Poultry Sci**. 72: 2106-2114. 1993.
- [20] POINTILLART, A. Phytates, phytases: leur importance dans l'alimentation des monogastriques. **INRA Prod. Anim**. 7:29-39. 1994.
- [21] QIAN, H.; KORNEGAY, E.T.; DENBOW, D.M. Phosphorus equivalence of microbial phytase in turkey diets as influenced by Ca:P ratios ant P levels. **Poultry Sci**. 75:69-81. 1996.
- [22] RAVINDRAN, V.; BRYDEN, W.L.; KORNEGAY, E.T. Phytates: Occurrer bioavailability and implications in poultry nutrition. **Poultry Avian Biol. Reviews**. 6:125-143. 1995.
- [23] SAUVEUR, B. Phosphore phytyque et phytases dans l'alimentation des volailles. **INRA Prod. Anim**. 2:343-351. 1989.
- [24] SEBASTIÁN, S.; TOUCHBURN, S.; CHÁVEZ, E.; LAGUE, P. The effects of suplemental microbial phytase on the performance and utilization of dietary calcium,

- phosphorus, copper, and zinc in broiler chickens fed corn-soybean diets. **Poultry Sci.** 75:729-736. 1996.
- [25] SIMONS, P.; VERSTEEGH, H.; JONGBLOED, A.; KEMMEN, P.; SLUMP, P.; BOS, K.; WOLTERS, M.; BEUDEKER, R.; VERSCHOOR, G. Improvement of phosphorus availability by microbial phytase in broilers and pigs. **Br. J. Nutr.** 64:525-540. 1990.
- [26] STEEL, R.G.D.; TORRIE, J.H. Principles and Procedures of statistics; **A. Biometrics Approach.** 2nd Ed. New York, McGraw Hill. 622 pp. 1988.
- [27] THOMPSON, D.; ERDMAN, J. Jr. Determination of phytic acid in soybeans. **J. of Food Sci.** 47: 513-517. 1982.
- [28] YI, Z.; KORNEGAY, E.; RAVINDRAN, V.; LINDEMANN, M.; WILSON, J. Effectiveness of Natuphos phytase in retention of turkey poultlets fed corn-soybean meal diets. **Poultry Sci.** 75: 979-990. 1996.