

Evaluación de un fosfato dicálcico importado en dietas de pollos broiler

Evaluation of an imported dicalcium phosphate in broiler chicks

S Cornejo^{1*}, J Pokniak¹, J González¹, J Salazar¹, E Contreras¹

¹ Departamento de Fomento de la Producción Animal, Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias, Universidad de Chile.

SUMMARY

The chemical composition and biological value of two dicalcium phosphates, a dihydrated one (FA) and a monohydrated product (FB), were assessed in a 2 x 3 factorial arrangement of treatments: two phosphates (A and B) and three levels of available P (aP) in the diets (0.22, 0.31 and 0.49%). One hundred and ninety two day-old male broiler chicks (Hubbard) were distributed between 6 treatments with 4 replicates each. During the experimental period (1-42 days), the birds were fed 2 diets: "starter" (1 to 21 days) and "finisher" (22 to 42 days). Feed and water were supplied *ad libitum*. The phosphates were chemically analyzed for Ca, P, V, Cd, Al and F. FB had a higher P content than FA; and contained concentrations of the contaminants F, Cd, V and Al that were not detected in FA. Body weight, feed intake and feed conversion index were determininal in the chicks on days 21 and 42. At the completion of the study the absolute biological values of the phosphates were calculated, and the length, width, breaking strength and ash contents of the tibias of each bird were determined. There were no differences ($P > 0,05$) in body weight, feed intake, feed conversion, tibia length and tibia width between FA_ and FB_ fed chicks for the whole experiment. Significant ($P < 0.05$) differences in body weight, feed intake, tibia length, tibia width, tibia ash content, tibia breaking strength and absolute biological value were present between different dietary levels of aP. The two higher levels evaluated did not show significantly different effects ($P > 0,05$). The similarity of results obtained between the 2 higher levels of aP, showed that the 0.31% level is sufficient under practical conditions which has commercial and environmental importance.

Palabras clave: biodisponibilidad de P, fosfatos dicálcicos, respuestas productivas, pollos broiler.

Key words: P bioavailability, dicalcium phosphates, productive performance, broilers.

RESUMEN

Se evaluaron las respuestas productivas de 192 pollos broiler machos (Hubbard) de 1 a 42 días de edad en un experimento factorial de 2x3: dos fosfatos (FA, dihidratado control y FB, monohidratado para uso animal) y tres niveles de fósforo disponible dietario (Pd) (0,22; 0,31 y 0,49%). Se utilizaron 6 tratamientos con 4 repeticiones cada uno. Se analizó el contenido de P, Ca, F, Cd, Al y V en ambos fosfatos. No se encontraron elementos contaminantes en el FA y el FB tuvo niveles inferiores a los máximos permisibles en todas las dietas. Esto demuestra que es necesario evaluar químicamente los fosfatos rocosos previo a su empleo en dietas de aves.

Las variables productivas evaluadas fueron: peso vivo, consumo de alimento y eficiencia de conversión alimenticia (ECA) a los 21 y 42 días de edad. Al término del estudio se calculó el Valor Biológico Absoluto (VBA) de ambos fosfatos y en las tibias se midió contenido de cenizas, longitud, ancho y resistencia a la fractura por flexión estática.

No hubo diferencias significativas ($P > 0,05$) en peso vivo, consumo de alimento, ECA, longitud y ancho de las tibias entre los fosfatos. Sí hubo diferencias ($P < 0,05$) entre niveles de Pd en peso vivo, consumo de alimento, longitud, ancho y contenido de cenizas en tibias, resistencia de las tibias a la fractura y VBA.

Los niveles más altos de Pd dietario (0,31 y 0,49%) no mostraron diferencias en sus respuestas, indicando que 0,31% de Pd permite obtener resultados productivos satisfactorios, lo que tiene importantes proyecciones aplicadas a la alimentación de estas aves y a la menor contaminación del medio ambiente.

INTRODUCCION

La nutrición mineral es sin duda uno de los factores alimentarios más relevantes en la obtención de los extraordinarios rendimientos productivos de los pollos de carne actuales. Baste recordar que el contenido de cenizas en la tibia de pollos broiler machos aumenta 125 veces desde el nacimiento hasta los 49 días de vida (Huyghebaert 1996).

Se afirma que el fósforo (P) presente en las camas de pollos proviene de tres fuentes: 1) del P fítico vegetal no digerido, 2) del exceso de P suministrado en las dietas, por sobre los requerimientos reales, y 3) del fosfato mineral no digerido (Waldroup 2004). Este investigador considera que se ha puesto mayor énfasis en mejorar la proporción de P fítico que pueda ser digerido por los animales, por ejemplo, empleando fitasas, sin embargo, las otras dos fuentes de P no aprovechado son de igual importancia que el P fítico. Más aún, en base a sus investigaciones, Waldroup estima que al menos el 50% del P de las excretas proviene de fosfatos minerales no digeridos, en especial en pollos jóvenes. Bajo esta premisa, toman gran relevancia los parámetros de calidad que deben tener los productos minerales fosfatados empleados como suplementos en alimentación animal, ya no sólo por el factor económico que representan, sino también por el impacto del P en el medio ambiente.

La industria de alimentos balanceados de uso avícola dispone de diversos suplementos minerales fosfatados, nacionales e importados, con variadas características químicas, que al ser incorporados a las dietas difieren en las respuestas productivas de las aves, probablemente debido a sus diferencias de composición, que además varía entre partidas de productos semejantes (González 1988, Sullivan y col 1993, Cornejo y col 1998, Odongo y col 2002, Rama Rao y Ramasubba 2003). La necesidad creciente de optimizar las formulaciones nutritivas para evitar gastos excesivos y la imperiosa restricción a la eliminación de contaminantes al medio ambiente, motivan la necesidad de evaluar estos suplementos comerciales.

Por otra parte, muchos fosfatos contienen elementos minerales "contaminantes" tóxicos o potencialmente tóxicos para las aves, como Al, V, Cd, y F, los cuales ya han sido encontrados en estos productos en estudios recientes (Cornejo y col 1998, Rama Rao y Ramasubba 2001). Este hecho obliga además a la completa evaluación de los suplementos que se ofrecen comercialmente, ya que el "mercado" exige más que nunca alimentos nutritivos, exentos de tóxicos y "sanos".

Además, los requerimientos de varios nutrientes están siendo revisados por las instancias oficiales de investigación tanto en el mundo científico como comercial. Así, los clásicos niveles de requerimiento de P disponible de 0,45 a 0,50% en dietas de iniciación para broilers están siendo cuestionados y pareciera que pueden ser inferiores, a la luz de información publicada (Waldroup y col 2000, Yan y col 2001, Yan y col 2003, Dhandu y Angel 2003). El uso de suplementos fosfatados con una alta biodisponibilidad de P podría permitir un mejor ajuste en las formulaciones de dietas, disminuyendo el costo por concepto de suplementación mineral y contribuyendo así a mejorar las condiciones de preservación del medio ambiente, dado que se reduciría la excreción de fósforo.

De acuerdo a lo indicado, los objetivos del presente estudio fueron: 1. Determinar los efectos de la incorporación de un fosfato dicálcico monohidratado sobre las variables productivas de pollos broiler, al ser incluido en la dieta durante su ciclo productivo completo; 2. Evaluar los efectos de la incorporación del fosfato señalado sobre indicadores físicos y químicos de las tibias de los pollos, calculando además el Valor Biológico del suplemento.

MATERIAL Y METODOS

Se emplearon 192 pollos broiler machos (Hubbard) de 1 día de edad que fueron alojados durante sus primeros 21 días en una batería de crianza calefaccionada, y luego en una batería de recría donde permanecieron hasta los 42 días de edad, término del estudio. Los pollos disponían de agua y alimento a voluntad.

Se utilizó un diseño factorial de tratamientos de 2 x 3, dos fosfatos (FA y FB) y tres niveles dietarios de fósforo disponible (Pd) (0,22; 0,31 y 0,49%). Se emplearon 6 tratamientos con 4 repeticiones de 8 pollos cada una. Los tratamientos fueron: 1) FA 0,22% Pd; 2) FA 0,31% Pd; 3) FA 0,49% Pd; 4) FB 0,22% Pd; 5) FB 0,31% Pd; 6) FB 0,49% Pd.

Los fosfatos evaluados provenían de roca fosfórica procesada. El FA, utilizado como control, fue dicálcico dihidratado de uso humano y el FB fue dicálcico monohidratado para uso en animales. Para ambos productos se dispuso de un análisis de garantía, según fabricante, y además se determinaron, según protocolos estandarizados, las concentraciones de Ca (AOAC 1995a), P (AOAC 1993), Al (ASTM 1988), F (AOAC 1995b), Cd y V (AOAC 1995c, ASTM 1988).

Se utilizaron 2 dietas isoenergéticas e isonitrogenadas durante el estudio: "período inicial" (1 a 21 días) y "período final" (22 a 42 días) formuladas para aportar al menos los requerimientos nutricionales establecidos por el NRC (1994) y por el estándar de la línea genética. Se emplearon maíz, afrecho de soya, aceite vegetal y harinilla de trigo, que son insumos alimenticios habituales en la crianza del broiler en Chile. A estas dietas se incorporaron los fosfatos en estudio ([cuadro 1](#)).

Cuadro 1. Composición de las diferentes dietas para cada período productivo¹.

Ingredient and calculated chemical composition of the experimental diets.

| | Período Inicial (1-21 días) | | | | | | Período Final (22-42 días) | | | | | | | | |
|------------------------------------|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Fosfato | | A | A | A | B | B | B | A | A | A | B | B | B | |
| P disponible (%) | 0,22 | 0,31 | 0,49 | 0,22 | 0,31 | 0,49 | 0,22 | 0,31 | 0,49 | 0,22 | 0,31 | 0,49 | 0,22 | 0,31 | 0,49 |
| Ingredientes (%) | | | | | | | | | | | | | | | |
| Maíz | 51,74 | 51,80 | 52,10 | 51,60 | 51,70 | 51,70 | 60,20 | 60,33 | 60,64 | 60,16 | 60,23 | 60,30 | 60,20 | 60,33 | 60,64 |
| Soya | 36,40 | 36,50 | 36,70 | 36,40 | 36,40 | 36,50 | 28,70 | 28,80 | 28,90 | 28,60 | 28,60 | 28,70 | 28,70 | 28,80 | 28,90 |
| Aceite | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 |
| Harinilla de Trigo | 2,70 | 2,40 | 1,60 | 3,00 | 2,80 | 2,50 | 2,35 | 2,00 | 1,23 | 2,62 | 2,50 | 2,19 | 2,35 | 2,00 | 1,23 |
| Conchuela | 2,10 | 1,70 | 1,00 | 2,00 | 1,60 | 0,90 | 1,68 | 1,34 | 0,65 | 1,63 | 1,24 | 0,46 | 1,68 | 1,34 | 0,65 |
| Sal | 0,29 | 0,29 | 0,30 | 0,29 | 0,29 | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,30 |
| Premix (vit. + min.) ² | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| Metionina ³ | 0,17 | 0,18 | 0,18 | 0,17 | 0,17 | 0,18 | 0,13 | 0,13 | 0,14 | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 0,13 |
| Colina | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 |
| Fosfato | 0,53 | 1,00 | 2,03 | 0,47 | 1,00 | 1,85 | 0,59 | 1,09 | 2,09 | 0,52 | 0,97 | 1,87 | 0,59 | 1,09 | 2,09 |
| Composición Calculada | | | | | | | | | | | | | | | |
| EM, kcal/kg | 3000 | 3001 | 3002 | 3000 | 3002 | 2999 | 3000 | 3000 | 3100 | 3100 | 3100 | 3100 | 3000 | 3000 | 3100 |
| Proteína Cruda (% ^M) | 21,98 | 21,99 | 22,00 | 22,00 | 22,00 | 22,00 | 19,01 | 19,02 | 18,99 | 19,00 | 18,99 | 19,00 | 19,01 | 19,02 | 18,99 |
| Lisina (%) | 1,23 | 1,23 | 1,23 | 1,23 | 1,23 | 1,23 | 1,02 | 1,02 | 1,02 | 1,02 | 1,02 | 1,02 | 1,02 | 1,02 | 1,02 |
| Metionina (%) | 0,61 | 0,62 | 0,62 | 0,61 | 0,61 | 0,61 | 0,55 | 0,55 | 0,55 | 0,55 | 0,55 | 0,55 | 0,55 | 0,55 | 0,55 |
| Ac. Linoleico (%) | 2,29 | 2,29 | 2,28 | 2,3 | 2,3 | 2,3 | 2,40 | 2,39 | 2,40 | 2,40 | 2,40 | 2,40 | 2,40 | 2,39 | 2,40 |
| Calcio (% ^M) | 1,00 | 0,99 | 0,98 | 0,99 | 0,99 | 1,02 | 0,85 | 0,85 | 0,85 | 0,85 | 0,85 | 0,85 | 0,85 | 0,85 | 0,85 |
| Fósforo adicionado por fosfato (%) | 0,09 | 0,18 | 0,37 | 0,09 | 0,18 | 0,37 | 0,09 | 0,18 | 0,37 | 0,09 | 0,18 | 0,37 | 0,09 | 0,18 | 0,37 |

¹ Valores expresados en "tal como ofrecido".² Premezcla vitamínica aporta por kilo de dieta: 6000 UI vitamina A; 2000 UI vit D₃; 11 mg vit E; 0,75 mg vit K; 1,5 mg Tiamina; 4,5 mg Riboflavina; 12 mg Pantotenato de Calcio; 30 mg Niacina; 2,5 mg Piridoxina; 540 mg Cloruro de Colina; 1 mg Acido Fólico; 80 ug Biotina; 18 ug vit B₁₂; 125 mg Etóxiquina.³ Premezcla mineral aporta por cada kilo de dieta: 0,05 mg Se; 0,1 mg Co; 4 mg Cu; 45 mg Zn; 60 mg Mn; 0,5 mg I y 50 mg Fe.⁴ DL Metionina sintética 99% "Rhône Poulenc".⁴ Nutrientes obtenidos a partir de su determinación analítica proximal en los principales insumos de las dietas.

A los 21 y 42 días se midieron los siguientes indicadores: peso vivo (PV en g), consumo de alimento (CA en g), eficiencia de conversión alimenticia [ECA = consumo (g)/ ganancia de peso (g)], mortalidad (M en %), valor biológico absoluto de los fosfatos (VB) (Sullivan y col 1993), longitud y ancho de las tibias (cm) (Ghetie 1981), contenido de cenizas de las tibias (%) (Universidad de Nebraska 1991) y resistencia de las tibias a la fractura (kg), mediante la prueba de resistencia a la fractura por flexión estática con carga en el punto central del hueso. Para esta medición se utilizó una máquina universal Amsler de tres toneladas, a la cual se le modificó la base y el cabezal. Se trabajó con una escala de carga de 400 kg.

Las variables se describieron con sus promedios y desviaciones estándar, estudiándose el efecto de tratamiento mediante un análisis de la varianza (ANDEVA SAS 2000). Las diferencias entre promedios específicos se establecieron mediante la prueba de Tukey (Sokal y Rohlf 1981).

RESULTADOS

Al analizar la composición química mineral de los fosfatos se encontraron minerales contaminantes sólo en el FB (F 7000 ppm, Cd < 0,5 ppm, V 57 ppm y Al 656 ppm), cifras que contrastan con lo informado por el fabricante (F 1400 ppm, Cd 2,08 ppm, V 117 ppm y Al 231,6 ppm). En tanto, los contenidos de Ca y P analizados fueron muy similares a los teóricos para ambos fosfatos (FA: 25,40% Ca y 18,75% de P y FB: 31,04% Ca y 20,10% P).

En el [cuadro 2](#) se presenta el aporte dietario de elementos contaminantes que realizan ambos fosfatos, calculado según su nivel de incorporación en la dieta y el contenido de contaminantes analizado respectivo.

Cuadro 2. Contenido de Aluminio (Al), Cadmio (Cd), Flúor (F) y Vanadio (V) en el alimento consumido por pollos broiler durante los periodos inicial (1-21 días de edad) y final (22-42 días de edad), según los niveles de incorporación de fosfatos en la dieta.

Aluminium (Al), Cadmium (Cd), Fluorine (F) and Vanadium (V) contents of the experimental diets fed to broiler chicks throughout the productive cycle.

| Fosfatos | Incorporación de fosfato en el alimento (%) | Al | | Cd | | F | | V | |
|------------------------------------|---|----------------|----------------|-----|-------|-----|-------|----|------|
| | | M ¹ | D ² | M | D | M | D | M | D |
| Periodo Inicial (1-21 días) | | | | | | | | | |
| A | 0.53 | 200 | 0 | 0.5 | 0 | 200 | 0 | 10 | 0 |
| A | 1.00 | 200 | 0 | 0.5 | 0 | 200 | 0 | 10 | 0 |
| A | 2.03 | 200 | 0 | 0.5 | 0 | 200 | 0 | 10 | 0 |
| B | 0.47 | 200 | 3.08 | 0.5 | 0.002 | 200 | 33 | 10 | 0.27 |
| B | 1.00 | 200 | 6.56 | 0.5 | 0.005 | 200 | 70 | 10 | 0.57 |
| B | 1.85 | 200 | 12.1 | 0.5 | 0.009 | 200 | 129 | 10 | 1.05 |
| Periodo Final (22-42 días) | | | | | | | | | |
| A | 0.59 | 200 | 0 | 0.5 | 0 | 200 | 0 | 10 | 0 |
| A | 1.09 | 200 | 0 | 0.5 | 0 | 200 | 0 | 10 | 0 |
| A | 2.09 | 200 | 0 | 0.5 | 0 | 200 | 0 | 10 | 0 |
| B | 0.52 | 200 | 3.41 | 0.5 | 0.003 | 200 | 36.4 | 10 | 0.29 |
| B | 0.97 | 200 | 6.36 | 0.5 | 0.005 | 200 | 67.9 | 10 | 0.55 |
| B | 1.87 | 200 | 12.3 | 0.5 | 0.009 | 200 | 130.9 | 10 | 1.06 |

¹ Nivel Máximo tolerable en dietas (ppm) según NRC (1980).

² Aporte dietario según fosfato y nivel de incorporación (ppm).

Se observó que los niveles de todos los elementos contaminantes, aportados por ambos fosfatos, se encuentran por debajo del nivel máximo tolerable por kilo de dieta establecido por el NRC (1980), tanto en las dietas iniciales como finales.

Los efectos de los tratamientos sobre las variables productivas se muestran en los cuadros 3 y 4. El peso de los pollos al día de edad no mostró diferencias entre tratamientos ($P > 0,05$). Sí se observó una respuesta a los 21 y 42 días de edad, donde hubo diferencias significativas ($P < 0,05$) en PV entre los niveles de Pd, siendo la respuesta progresivamente mayor al incrementar el nivel de Pd desde 0,22 a 0,49%. A los 42 días, si bien se mantuvo la diferencia entre ambos grupos con 0,22% de Pd y los niveles superiores, no hubo diferencias significativas ($P > 0,05$) entre los niveles 0,31 y 0,49% de Pd. No se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre fosfatos ($P > 0,05$).

Cuadro 3. Peso vivo, consumo de alimento y eficiencia de conversión alimenticia (ECA) a los 21 días de edad (promedio \pm DE).
Body weight, Feed Intake and Feed Conversion Efficiency (ECA) of broiler chicks at 21 days of age (average \pm SD).

| Fosfato | Nivel de P Disponible (%) | Peso Vivo | | Consumo de Alimento (g) | ECA |
|---------|---------------------------|------------------|-----------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| | | 1 día (g) | 21 días (g) | | |
| A | 0,22 | 43,25 \pm 0,95 | 617 \pm 41,3 ^a | 867 \pm 10,0 ^{a,c} | 1,51 \pm 0,11 ^a |
| A | 0,31 | 43,00 \pm 0,81 | 774 \pm 49,0 ^b | 1137 \pm 88,9 ^{b,c} | 1,56 \pm 0,04 ^a |
| A | 0,49 | 43,25 \pm 0,95 | 802 \pm 22,7 ^c | 1121 \pm 50,0 ^{b,e} | 1,48 \pm 0,02 ^a |
| B | 0,22 | 42,75 \pm 0,50 | 589 \pm 32,2 ^a | 772 \pm 22,4 ^{a,d} | 1,41 \pm 0,07 ^b |
| B | 0,31 | 43,00 \pm 1,15 | 744 \pm 7,3 ^b | 1013 \pm 43,1 ^{b,f} | 1,44 \pm 0,04 ^b |
| B | 0,49 | 43,00 \pm 1,63 | 798 \pm 14,8 ^c | 1091 \pm 71,7 ^{b,h} | 1,44 \pm 0,10 ^b |

a,b,c: promedios con diferentes letras en la misma columna indican diferencias significativas ($P < 0,05$).

c,d; e,f; g,h: promedios con estas diferentes letras en la misma columna indican diferencias significativas entre los fosfatos, en un mismo nivel de incorporación ($P < 0,05$).

Con respecto al consumo de alimento (cuadro 4), para el período completo se observaron las mismas

diferencias entre niveles de incorporación; sin embargo, a los 21 días de edad sí existieron diferencias entre fosfatos, las que fueron levemente superiores ($P < 0,05$) para el FA.

Cuadro 4. Peso vivo, consumo de alimento y eficiencia de conversión alimenticia (ECA) a los 42 días de edad (promedio \pm DE).

Body weight, Feed Intake and Feed Conversion Efficiency (ECA) at 21 days of age (average \pm SD).

| Fosfato | Nivel de P disponible (%) | Peso vivo (g) | Consumo de alimento (g) | ECA |
|---------|---------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|
| A | 0,22 | 1750 \pm 143,9 ^a | 3233 \pm 286,7 ^a | 1.83 \pm 0.04 |
| A | 0,31 | 2086 \pm 323,1 ^b | 3743 \pm 638,9 ^b | 1.83 \pm 0.02 |
| A | 0,49 | 2286 \pm 125,8 ^b | 4071 \pm 247,9 ^b | 1.81 \pm 0.01 |
| B | 0,22 | 1750 \pm 202,7 ^a | 3132 \pm 319,8 ^a | 1.83 \pm 0.07 |
| B | 0,31 | 2147 \pm 214,5 ^b | 3806 \pm 439,4 ^b | 1.81 \pm 0.02 |
| B | 0,49 | 2173 \pm 167,9 ^b | 3833 \pm 367,9 ^b | 1.80 \pm 0.05 |

a,b,c: promedios con diferentes letras en la misma columna indican diferencias significativas ($P < 0,05$).

Las ECA obtenidas a los 21 días de edad obtuvieron diferencias significativas entre fosfatos ($P < 0,05$), no así para los niveles de Pd, mostrando ser más eficientes en convertir el alimento en PV las aves que recibieron el FB. A los 42 días no hubieron diferencias entre los diferentes tratamientos ($P > 0,05$).

En el [cuadro 5](#) se presentan los resultados de indicadores físicos, químicos y biológicos de las tibias a los 21 días de edad. Se observó una tendencia al aumento en la longitud y el ancho de las tibias al aumentar la incorporación de P con ambos fosfatos. Hubo diferencias significativas ($P < 0,05$) para la longitud de las tibias entre el nivel más bajo y los dos niveles superiores de aporte de Pd, que no difirieron entre sí. El mismo comportamiento se observó para el indicador porcentaje de cenizas, en la misma edad, para el ancho de las tibias se observaron diferencias estadísticamente significativas ($P < 0,05$) entre los tres niveles de Pd dietario para ambos fosfatos, los cuales no difirieron entre sí. Respecto al VB absoluto obtenido a los 21 días, el nivel de inclusión de Pd dietario marcó diferencias estadísticamente significativas ($P < 0,05$) para ambos fosfatos, a favor de los niveles más altos.

Cuadro 5. Indicadores físicos, químicos y biológicos de tibias de pollos broiler a los 21 días de edad (promedio \pm DE).

Physical, chemical and biological measurements in chicken tibiae at 21 days of age (average \pm SD).

| Fosfato | Nivel de P Disponible (%) | Largo | Ancho | Cenizas (%) | Valor Biológico Absoluto ¹ |
|---------|---------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|
| A | 0,22 | 6,07 \pm 0,35 ^a | 0,57 \pm 0,05 ^a | 32,42 \pm 1,80 ^a | 61,28 \pm 4,30 ^a |
| A | 0,31 | 6,85 \pm 0,19 ^b | 0,60 \pm 0,00 ^b | 43,32 \pm 1,05 ^b | 78,10 \pm 4,91 ^b |
| A | 0,49 | 6,92 \pm 0,05 ^b | 0,67 \pm 0,05 ^c | 45,24 \pm 1,71 ^b | 81,1 \pm 2,04 ^c |
| B | 0,22 | 6,02 \pm 0,15 ^a | 0,52 \pm 0,05 ^a | 33,95 \pm 3,77 ^a | 58,72 \pm 3,40 ^a |
| B | 0,31 | 6,85 \pm 0,10 ^b | 0,62 \pm 0,05 ^b | 43,27 \pm 2,43 ^b | 75,12 \pm 0,78 ^b |
| B | 0,49 | 7,10 \pm 0,11 ^b | 0,67 \pm 0,05 ^c | 43,17 \pm 1,00 ^b | 81,87 \pm 3,27 ^c |

a,b,c: promedios con diferentes letras en la misma columna indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre niveles del mismo fosfato.

¹ VB = GDP + % cenizas + 10 (GDP: CA) donde, GDP = ganancia diaria de peso y CA = consumo de alimento.

A los 42 días de edad ([cuadro 6](#)) las variables longitud y ancho de las tibias se comportaron de diferente manera que a los 21 días del estudio. En los resultados de VB absoluto y de las mediciones de longitud y porcentaje de cenizas de las tibias, las diferencias estadísticas ($P < 0,05$) se establecieron para ambos

fosfatos entre los tratamientos con más bajo y con más alto aporte de Pd. Para el ancho de las tibias, en el caso del FB se observó el mismo comportamiento de las variables anteriores, en cambio, en el FA sólo hubo diferencias significativas entre el nivel 0,22% de Pd y los niveles 0,31 y 0,49% de Pd dietario, los que no difirieron entre sí. Respecto del VB a esta edad también se observó una diferencia estadística ($P < 0,05$) entre fosfatos para niveles de aporte de Pd similares. Al nivel más bajo (0,22% de Pd) el FA logra valores de VB diferentes y superiores a los obtenidos por el FB. Sin embargo, al nivel intermedio (0,31% de Pd) el FB alcanza un VB estadísticamente superior ($P < 0,05$) al equivalente del FA.

Cuadro 6. Indicadores físicos, químicos y biológicos de tibias de pollos broiler a los 42 días de edad (promedio \pm DE)
Physical, chemical and biological measurements in chicken tibiae at 42 days of age (average \pm SD)

| Fosfato | Nivel de P Disponible (%) | Largo | Ancho | Cenizas (%) | Resistencia a Fractura | Valor Biológico Absoluto ^l |
|---------|---------------------------|--------------------------------|------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| A | 0,22 | 10.35 \pm 0.37 ^a | 0.97 \pm 0.09 ^a | 41,42 \pm 2,50 ^a | 32.25 \pm 4,11 ^{a,d} | 123.69 \pm 13.58 ^a |
| A | 0,31 | 10.80 \pm 0.46 ^{ab} | 0.95 \pm 0.05 ^b | 45,14 \pm 1,46 ^{ab} | 43.25 \pm 2,62 ^{b,e,f} | 136.16 \pm 29.25 ^{ab} |
| A | 0,49 | 11.05 \pm 0.57 ^b | 1.10 \pm 0.16 ^b | 46,99 \pm 0,39 ^b | 58,00 \pm 2,58 ^{c,h} | 153.60 \pm 10,93 ^b |
| B | 0,22 | 9.97 \pm 0.45 ^a | 0.87 \pm 0.12 ^a | 40,40 \pm 4,17 ^a | 30.25 \pm 8.34 ^{a,c} | 120.68 \pm 18.22 ^a |
| B | 0,31 | 10.50 \pm 0.35 ^{ab} | 0.90 \pm 0.11 ^a | 41,71 \pm 4,15 ^{ab} | 37.75 \pm 4,78 ^{b,g} | 145.00 \pm 20,49 ^{ab} |
| B | 0,49 | 11.22 \pm 0.42 ^b | 1,05 \pm 0,05 ^b | 43,32 \pm 2,96 ^b | 49,75 \pm 4,19 ^{c,i} | 142.38 \pm 16,47 ^b |

a,b,c: promedios con diferentes letras en la misma columna indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre niveles del mismo fosfato.

d-e, f-g; h-i: promedios con estos índices en la misma columna señalan diferencias ($P < 0,05$) entre fosfatos en un mismo nivel de incorporación.

l Calculado según lo indicado en el cuadro 5.

La resistencia a la fractura de las tibias se evaluó solamente al término del estudio. Se observaron efectos significativos ($P < 0,05$) entre los tres niveles de Pd dietario y entre ambos fosfatos a los correspondientes niveles de inclusión (cuadro 6), siendo más resistentes a la fractura las tibias de los pollos que recibieron el FA que las comparables de pollos suplementados con el FB.

DISCUSION

Los resultados de composición mineral de los fosfatos dicálcicos estudiados indican que ellos contenían un porcentaje más alto de P (18,75 y 20,10% para los productos A y B, respectivamente), al compararlo con el nivel en contrado por Camus (1995) para el producto dicálcico evaluado en su estudio (14,65% de P) y fueron muy similares a los informados por Potchanakorn y Potter (1987) y por Rama Rao y Ramasubba Reddy (2001) con un 18 y 19,31% de P, respectivamente.

Respecto al contenido de Ca de los fosfatos A y B, ellos fueron en general semejantes al contenido de Ca de fosfatos tricálcicos informados previamente por González (1988) y Camus (1995) (22-28% de Ca y 27,64% de Ca, respectivamente) y difieren del fosfato dicálcico informado por Rama Rao y Ramasubba Reddy (2001) (21,01% de Ca).

Estas diferencias en el contenido de Ca y P, así como de otros minerales identificados, demuestran la necesidad de analizar cada fosfato como un ente individual al ser incorporado en alimentos para animales, indicando además que la forma química de un fosfato no permite homologar productos, dado que no existe un patrón de composición mineral de acuerdo con lo observado en estos estudios.

En relación a los minerales contaminantes de los fosfatos cabe destacar que al analizar el FB se encontró un contenido de 0,7% de F (7000 ppm). La "American

Association of Feed Control Officials" (AAFCO 1973) establece que un fosfato mineral no debe contener F en más del 1% de su contenido de P, por lo tanto, el FB no debió contener más de un 0,2% de F. Sin embargo, los niveles en que fue incorporado este fosfato en las dietas significaron un aporte de 33, 70 y 129 ppm de F/ kg de alimento, cifras que están por debajo del nivel máximo establecido por el NRC (1980) de 200 ppm de F ([cuadro 2](#)).

El contenido de Al de los fosfatos no sobrepasó los niveles máximos permitidos según el NRC (1980) a los niveles de incorporación utilizados en este estudio ([cuadro 2](#)). Respecto al V, se encontraron bajas concentraciones en el FB, lo que discrepa de lo observado por Camus (1995), quien utilizó dos fosfatos tricálcicos rocosos crudos que aportaron más V que el máximo tolerable para este elemento al ser incorporados en el alimento. Desde este punto de vista, el FB (fosfato monohidratado) utilizado en este ensayo tendría ventajas respecto a los fosfatos utilizados por Camus (1995).

Con estos antecedentes es importante señalar que para utilizar un fosfato en forma segura en el alimento de aves es necesario analizar, además del contenido de Ca y P, el eventual contenido de diversos minerales contaminantes, en especial aquellos con mayor riesgo de toxicidad, tales como los evaluados en este estudio (V, Al, Cd y F) o los evaluados por Lima y col (1999) (F, Fe, Mg, Ba, S, Ti y Th). Es particularmente necesario reconsiderar el contenido de F, como lo señala Odongo y col (2002), quienes en estudios en pollos broiler reemplazaron fosfatos dicálcicos procesados por fosfatos locales rocosos y encontraron fuertes deterioros en el rendimiento productivo y mineralización ósea en directa proporción al contenido de F de las dietas. Este deterioro productivo en pollos broiler que consumieron niveles excesivos de F también fue informado por Rama Rao y Ramasubba Reddy (2001).

Al observar los resultados productivos en PV, CA y ECA cabe destacar la calidad del FB, puesto que mostró ser igual ($P > 0,05$) al FA en estas variables a las diferentes edades de control, excepto a los 21 días, donde logró un menor CA y una mejor ECA que el FA ([cuadro 3](#)). Sin embargo, se observaron diferencias entre los distintos niveles de incorporación de Pd de cada fosfato, donde, por ejemplo, al término del estudio, el nivel inferior (0,22% de Pd) marcó diferencias significativas con los otros dos niveles superiores (0,33 y 0,49% de Pd) en PV y CA. El nivel de incorporación intermedio (0,33%) no mostró diferencias en los rendimientos productivos con el nivel superior (0,49% de Pd) al final del período, de lo que podría deducirse que es posible reducir el nivel de incorporación de Pd en las dietas de pollos broiler comerciales a 0,33% sin que se afecte el rendimiento productivo de 1 a 42 días de edad. Este hecho tiene importantes proyecciones aplicadas al representar una alternativa para reducir costos de alimentación empleando menor cantidad de suplementos fosforados en las dietas. Además, la menor incorporación de fosfatos en las dietas de aves también se proyecta a beneficios medioambientales, al reducirse así la excreción de P en las deyecciones.

Respecto a los indicadores físicos y químicos evaluados en las tibias (longitud, ancho y porcentaje de cenizas), los resultados obtenidos con el fosfato dicálcico monohidratado fueron muy semejantes a los obtenidos con el fosfato dicálcico dihidratado, tanto a los 21 como a los 42 días de edad, indicando que el FB es un producto que permite obtener resultados equivalentes a uno de uso humano, lo que avala su calidad nutricional. Por otra parte, al analizar los resultados de los distintos niveles de incorporación de Pd para estos mismos parámetros, se puede decir que al utilizar un nivel de Pd inferior a lo usualmente recomendado por el NRC (1994) (0,33% vs 0,45% de Pd) no se deteriora ni el crecimiento ni la mineralización de las tibias en este tipo de aves.

Los resultados de resistencia a la fractura por flexión estática de tibias mostraron que el FB indujo una menor resistencia respecto al fosfato de uso humano, sin embargo, esta situación no se trasladó a los niveles de cenizas observados, en que ambos fosfatos no mostraron diferencias entre ellos. La resistencia ósea a la fractura por flexión estática es un indicador de la mineralización ósea frecuentemente utilizada por los investigadores (Hussein y col 1990a y b, Cromwell y Coffey 1993, Coffey y col 1994) y que habitualmente muestra una correlación directa con los niveles de cenizas en las tibias.

El valor biológico absoluto, indicador que de acuerdo a Sullivan y col (1993) es un buen totalizador de las respuestas de las aves para evaluar fosfatos, mostró un comportamiento levemente diferente a los 21 y a los 42 días de edad. En ambas edades el indicador no muestra diferencias entre fosfatos; sin embargo, a los 21 días expresa diferencias entre los 3 niveles de Pd considerados, situación que tiende a desaparecer a los 42 días, donde sólo se mantienen diferencias estadísticas entre el nivel más bajo de Pd y los otros dos.

El indicador VBA se comportó de manera semejante al porcentaje de cenizas en tibias, indicando este hecho que este parámetro es un buen reflejo de procesos metabólicos de mineralización ósea, a pesar de las diferencias mostradas a los 21 y 42 días de edad de los pollos, como ha sido recién comentado.

El presente estudio permitió validar un procedimiento experimental que ya ha sido empleado en el país y

en el extranjero (González y col 1988, Sullivan y col 1993, Cornejo y col 1998). Sin embargo, en el presente caso la existencia de diferencias menores en algunas respuestas de los pollos a las edades de control consideradas (21 y 42 días), plantea la necesidad de perfeccionar estos procedimientos con el objeto de definir en mejor forma un protocolo estandarizado para la evaluación biológica de estos suplementos fosforados, productos de gran importancia en la alimentación avícola.

Por otra parte, queda de manifiesto que también deberá ser materia de consideración en futuros protocolos experimentales para estas temáticas cuál(es) es(son) los mejores indicadores biológicos a considerar, dependiendo de las respuestas que se desee explicar. Diferentes autores, tales como Dhandu y Angel (2003), Waldroup y col (2000), Yan y col (2003) en estudios que involucran eventuales modificaciones de los requerimientos de Pd de pollos broiler, señalan que se pueden obtener diferentes resultados dependiendo de la definición de cuáles son las mejores respuestas biológicas consideradas en las aves para obtener conclusiones valederas y universales.

En el presente estudio, prolongado hasta peso comercial de beneficio de los pollos, pareciera que el requerimiento de Pd puede ser inferior al usualmente considerado en el medio avícola habitual, lo que proyecta interesantes interrogantes en el área en futuras investigaciones, en especial con un mercado industrial avícola que ya está empleando habitualmente enzimas "fitasas" en las dietas de este tipo de aves, permitiendo así disminuir costos de inclusión de fosfatos. Ultimamente, además, se ha puesto gran énfasis en el resguardo del medio ambiente y es conocido el impacto negativo que ejerce el exceso de fósforo en el ambiente, contribuyendo a la eutricación de los cursos de agua superficiales.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a "Química del Pacífico S.A.", Lima, Perú, por su colaboración en la realización de este estudio.

REFERENCIAS

AAFCO. *American Association of Feed Control Officials*. 1973. Official Publication, Charleston. USA. 62 p.

AOAC. *Association of Official Analytical Chemist*. 1993. Phosphorus 964.06, Capítulo 26 p. 334-339. *Methods of Analysis*. Washington D.C.

AOAC. *Association of Official Analytical Chemist*. 1995a Calcium 927.02, Capítulo 4 p. 23. *Methods of Analysis*. Washington D.C.

AOAC. *Association of Official Analytical Chemist*. 1995b. Fluoride 944.08, Capítulo 9 p. 11-14. *Methods of Analysis*. Washington D.C.

AOAC. *Association of Official Analytical Chemist*. 1995c. Cadmium 973.34, Capítulo 9 p. 6-9. Vanadium 990.08. Capítulo 9 p. 31-34. *Methods of Analysis*. Washington D.C.

ASTM. *The American Society for Testing and Materials*. 1988. Designation E-507-73, 641-649.

Camus J. 1995. Evaluación de fosfatos de diferente procedencia en la dieta inicial de machos broiler. Memoria para optar al título profesional de Médico Veterinario, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias, Santiago, Chile.

Coffey RD, K Mooney, G Cromwell and D Aaron. 1994. Biological bioavailability of phosphorus in defluorinated phosphates with different phosphorus solubilities in neutral ammonium citrate for chicks and pigs. *J Anim Sci* 72(10), 2653-2660.

Cornejo S, J González, J Camus, N González, J Pokniak. 1998. Efectos del empleo de tres diferentes fuentes de fósforo en las dietas, sobre los rendimientos productivos de pollos broiler. *Arch Med Vet* 30, (2), 37-47.

- Cromwell G and Coffey R. 1993. An assessment of the bioavailability of phosphorus in feed ingredients for non ruminants. *In: Proceedings Maryland Nutrition Conference* (Maryland, 1993). Maryland, USA. pp. 146-158.
- Dhandu AS, R Angel. 2003. Broiler nonphytin phosphorus requirement in the finisher and withdrawal phases of a commercial four-phase feeding system. *Poult Sci* 82, 1257-1265.
- Ghetie V. 1981. *Atlas de Anatomía de las Aves Domésticas*. 1ª ed. Paraninfo S.A., Madrid. España. 294 p.
- González NJ. 1988. Biodisponibilidad del fósforo en pollos Broiler y composición mineral de los fosfatos chilenos más empleados en alimentación animal. Memoria para optar al título profesional de Médico Veterinario, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias, Santiago, Chile.
- Hussein A, A Cantor, T Johnson and R Yokel. 1990a. Relationship of dietary aluminum, phosphorus and calcium to phosphorus and calcium metabolism and growth performance of broiler chicks. *Poult Sci* 69(6), 966-971.
- Hussein A, A Cantor, T Johnson and R Yokel. 1990b. Effects of dietary aluminum sulphate on calcium and phosphorus metabolism of broiler chicks. *Poultry Science* 69, 985-991.
- Huyghebaert G. 1996. The response of broiler chicks to phase feeding for P, Ca and phytase. *Archiv für Geflügelkunde*, 60(3), 132-141.
- Lima FR, JI Fernandes, E Oliveira, G Fronzaglia and H Kahn. 1999. Laboratory evaluations of feed-grade and agricultural-grade phosphates. *Poult Sci* 78, 1717-1728.
- NRC National Research Council. 1980. *Mineral Tolerance of Domestic Animals. Nutrient Requirement of Poultry*. 9th Ed. National Academy Press, Washington D.C. USA. 155 p.
- NRC National Research Council. 1994. *Nutrient Requirement of Poultry*. Ninth revised edition. National Academy Press, Washington D.C. USA. 155 p.
- Odongo NE, J Plaizier, P Van Straaten and B McBride. 2002. The effects of replacing dicalcium phosphates with Busumbu rock phosphate on performance and mechanical properties of bone in growing chicks. *Trop Anim Health Prod* 34(4), 349-58.
- Potchanakorn M, LM Potter. 1987. Biological values of phosphorus from various sources for young turkeys. *Poult Sci* 66, 505-513.
- Rama Rao SV, V Ramasubba Reddy. 2001. Utilisation of different phosphorus sources in relation to their fluorine content for broilers and layers. *Br Poult Sci* 42, 376-383.
- Rama Rao SV, V Ramasubba Reddy. 2003. Relative bio-availability and utilization of phosphatic fertilisers as sources of phosphorus in broilers and layers. *Br Poult Sci* 44(1), 96-103.
- Sokal R, FJ Rohlf. 1981. Biometry. *The Principles and Practice of Statistic in Biological Research*. 2nd ed. New York., Freeman and Company. 859 p.
- Statistical Analysis System (SAS). *User's guide: Statistics*, 2000 edition. S.A.S. Institute Inc. Cary, N.C. U.S.A.
- Sullivan TW, NJ González, JH Doualas. 1993. Quality factors related to the feeding value of Biometry. *The Principles and Practice of Statistic in Biological Research Phosphorus Supplements*. V Seminario Internacional de Patología y Producción Avícola. Valdivia, Chile. p. 1-14.
- Universidad de Nebraska. 1991. Manual de Procedimientos Analíticos. Laboratorio de Monogástricos.

Universidad de Nebraska, Departamento de Ciencias Animales, Lincoln, USA.

Waldroup PW, JH Kersey, EA Saleh, CA Fritts, F Yan, HL Stilborn, RC Crum Jr, 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(10), 1451-1459.

Waldroup P. 2004. Phosphorus and Phytase...Striking a balance between the chicken and the environment. *In: BASF Technical Symposium, January 27, 2004 International Poultry Exposition, Georgia World Congress Center, Atlanta, Georgia.*

Yan F, JH Kersey, PW Waldroup. 2001. Phosphorus requirements of broiler chicks three to six weeks of age as influenced by phytase supplementation. *Poult Sci* 80, 455-459.

Yan F, JH Kersey, CA Fritts, y PW Waldroup. 2003. Phosphorus requirements of broiler chicks six to nine weeks of age as influenced by phytase supplementation. *Poult Sci* 82, 294-300.
