

Efecto de la suplementación de vitamina K₃ sobre el comportamiento productivo y calidad ósea de pollos de engorde[#]

Effects of vitamin K₃ supplementation on growth performance and bone quality of broiler chickens

CRA Duarte^a, FC Bratti^a, AE Murakami^{a*}, JIM Fernandes^b, IC Ospina-Rojas^a, AC Furlan^a

^aDepartamento de Zootecnia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Paraná, Brasil.

^bDepartamento de Zootecnia, Universidade Federal do Paraná, Palotina, Paraná, Brasil.

SUMMARY

Vitamin K is involved in blood clotting process and plays an important role in bone formation. Thus, this study aimed to evaluate the supplementation of different levels of vitamin K₃ on growth performance and bone parameters of broiler chickens. For this purpose, 1,500 broiler chickens were distributed in a completely randomized experimental design. The treatments consisted of a control diet containing 1.6 mg of vitamin K₃/kg of diet and 5 levels of vitamin K₃ (11.6 mg/kg; 21.6 mg/kg; 41.6 mg/kg, 61.6 mg/kg and 81.6 mg/kg), with 5 replicates and 50 chickens per experimental unit. At 7, 21, and 40 days of age, growth performance (body weight, body weight gain, feed intake and feed:gain ratio) and bone parameters (bone length and diameter, Seedor index and bone strength) were evaluated. The increase in vitamin K₃ levels improved the feed intake, body weight and body weight gain in the pre-initial phase. At 40 days old, all performance parameters were similar among the different levels of vitamin K₃. At 21 and 40 days of age, bone parameters were impaired as dietary levels of vitamin K₃ increased. The results suggest that the recommended level of vitamin K₃ in broiler chicken diets is 1.6 mg/kg of diet.

Key words: bone quality, bone strength, Seedor index, vitamin K.

RESUMEN

La vitamina K participa en los procesos de coagulación sanguínea y también tiene un importante papel en la formación de los huesos. Así, el objetivo de este estudio fue evaluar la suplementación de diferentes niveles de vitamina K₃ sobre el comportamiento productivo y indicadores óseos de pollos de engorde. Se utilizaron 1.500 pollos de engorde, distribuidos en un diseño experimental completamente al azar. Los tratamientos consistieron en una dieta control conteniendo 1,6 mg de vitamina K₃/kg de dieta y de 5 niveles de vitamina K₃ (11,6 mg/kg; 21,6 mg/kg; 41,6 mg/kg, 61,6 mg/kg y 81,6 mg/kg), con 5 repeticiones de 50 aves/unidad experimental. A los 7, 21 y 40 días de edad, los indicadores de comportamiento productivo (peso promedio, ganancia de peso, consumo de dieta y conversión alimentaria) y los indicadores óseos (longitud y diámetro de los huesos, índice de Seedor y resistencia ósea) fueron evaluados. El aumento en los niveles de vitamina K₃ mejoró el consumo de dieta, peso promedio y la ganancia de peso en la fase pre-inicial. A los 40 días de edad, todos los indicadores de comportamiento productivo fueron similares entre los diferentes niveles de vitamina K₃. Los indicadores óseos empeoraron a los 21 y 40 días de edad con el aumento en los niveles de vitamina K₃. Estos resultados sugieren que el nivel indicado de vitamina K₃ en las dietas de pollos de engorde es de 1,6 mg/kg de dieta.

Palabras clave: calidad ósea, índice de Seedor, resistencia ósea, vitamina K.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la producción de pollos de engorde ha aumentado rápidamente debido a los avances en las investigaciones en las áreas de mejoramiento genético, nutrición, manejo y sanidad. Estas mejoras favorecieron el incremento de las tasas de crecimiento de los pollos, pero también la aparición de problemas óseos, los cuales causan pérdidas considerables en la industria avi-

cola debido a los gastos en tratamiento y en prevención, mortalidad y el decomiso de carcasas en la planta de beneficio por la alta incidencia de fracturas y dislocaciones de huesos durante la captura, transporte y manipulación de las carcasas. Estos problemas pueden ser debidos a la baja mineralización de los huesos, con el consecuente aumento de su porosidad. La fragilidad y la porosidad de los huesos largos pueden comprometer la calidad del producto final, ya que pueden causar coloración rojiza de la carne o el ennegrecimiento del hueso durante la cocción (síndrome de hueso negro). Este síndrome representa hasta un 11 % del rechazo de la carne de pollo por los consumidores, tornándose en un problema significativo durante la comercialización (Smith y Northcutt 2003). Además, ocurren pérdidas económicas por mortalidad de

Aceptado: 10.10.2013.

[#] CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico)

* Av. Colombo, 5790 Bloco j45 Maringá, Paraná, Brasil; aemurakami@uem.br

hasta 30 % debido a la alta incidencia de discondroplasia tibial en pollos de engorde, que puede ser causada por factores genéticos, ambientales y dietéticos (Pines 2007).

Con el fin de reducir las pérdidas por problemas óseos, se torna necesario el estudio de factores nutricionales que estén relacionados en el proceso de formación y mineralización de los huesos. Entre estos factores se encuentra la vitamina K.

La vitamina K puede ser obtenida naturalmente a través de las plantas en la forma de filoquinona o vitamina K₁, o por la síntesis de menaquinona (vitamina K₂) por las bacterias intestinales. A pesar de que la microflora intestinal proporcione esta vitamina, su absorción es limitada (Ferland 2012), así, existe la necesidad de suplementación de vitamina K sintética, conocida como menadiona o vitamina K₃, en los pollos de engorde.

Aunque la función principal de la vitamina K esté relacionada con la coagulación sanguínea, se sabe que esta vitamina desempeña un papel fundamental en la formación de los huesos (Atkins y col 2009, Ferland 2012). El papel de la vitamina K en la mineralización y formación de los huesos está relacionado con la reacción de carboxilación de la osteocalcina (Zhang y col 2003). Esta proteína es producida por los osteoblastos e incorporada a la matriz ósea en formación (Shea y Booth 2008). Además, la osteocalcina, conocida como proteína GLA, es dependiente de vitamina K y es la proteína no colágena más abundante de la matriz ósea extracelular (Beavan y col 2005).

El mecanismo por el cual la vitamina K y la osteocalcina participan en la formación de los huesos todavía no está totalmente esclarecido (Ferland 2012), no obstante, se sabe que la presencia de restos de ácido glutámico, resultante de la reacción de carboxilación de la osteocalcina, facilita la unión de la osteocalcina al calcio (Shea y Booth 2008, Rubinacci 2009). Según Zhang y col (2003), la suplementación de vitamina K₃ estimula la carboxilación de la osteocalcina, disminuye la concentración sanguínea de osteocalcina no carboxilada y mejora la capacidad de unión de la osteocalcina con los cristales de hidroxipatita, por lo tanto, mejora la calidad de los huesos en los pollos de engorde. Igualmente, la vitamina K participa en otros mecanismos esenciales para el crecimiento óseo, tales como el equilibrio del calcio y su sinergismo con la vitamina D, además de favorecer la inhibición de prostaglandinas y síntesis de interleucina, las cuales actúan sobre la reabsorción ósea (Weber 2001, Shea y Booth 2008).

Aunque la vitamina K desempeñe un papel fundamental en el desarrollo óseo y el sector avícola enfrente altas pérdidas económicas debido a los problemas óseos, los estudios sobre los efectos de la vitamina K en la calidad ósea de pollos de engorde son escasos. Las recomendaciones propuestas por Rostagno y col (2000) y por el NRC (1994) no consideran el papel de la vitamina K en el desarrollo óseo. El requerimiento de vitamina K propuesto por Rostagno y col (2000) es de 1,6 mg/kg de dieta, mientras que el propuesto por el NRC (1994) es de

0,5 mg/kg de vitamina K, requerimiento establecido considerando apenas los factores de coagulación sanguínea (Zhang y col 2003). Generalmente en las dietas comerciales, los niveles utilizados de vitamina K son de 4 a 8 veces mayores que lo propuesto por el NRC (1994).

Dietas deficientes en vitamina K favorecen la síntesis de osteocalcina no carboxilada (Nakajima y col 2011), que presenta baja afinidad por los cristales de hidroxipatita, resultando en una mineralización ósea deficiente (Fernandes y col 2009). Altos niveles dietéticos de vitamina K han sido asociados con menores riesgos de fractura y mayor densidad mineral ósea (Ferland 2012).

Con base en estas informaciones, se observa que la suplementación de vitamina K₃ puede generar importantes avances en la producción de pollos de engorde al optimizar la mineralización y formación de los huesos, con la consecuente reducción de las pérdidas económicas en la industria avícola, resultantes de la alta incidencia de problemas de patas en las aves. Así, el objetivo de este estudio fue evaluar la suplementación de diferentes niveles de vitamina K₃ sobre el comportamiento productivo y la resistencia ósea de pollos de engorde.

MATERIAL Y MÉTODOS

ALOJAMIENTO, ANIMALES Y MANEJO GENERAL

El experimento se realizó en el sector de avicultura de la Granja Experimental de Iguatemi de la Universidade Estadual de Maringá-Brasil. Fueron utilizados 1.500 pollos de engorde de 1 día de edad, machos de la línea comercial Cobb Vantress, distribuidos en un diseño experimental completamente al azar, con 6 diferentes niveles de vitamina K₃ y 5 repeticiones de 50 aves por unidad experimental. Los tratamientos consistieron en una dieta control conteniendo 1,6 mg de vitamina K₃/kg de dieta, conforme la recomendación nutricional propuesta por Rostagno y col (2000) y de 5 niveles de vitamina K₃ (11,6 mg/kg; 21,6 mg/kg; 41,6 mg/kg, 61,6 mg/kg y 81,6 mg/kg).

Las dietas experimentales (cuadro 1) fueron a base de maíz y harina de soya, formuladas utilizando los valores de composición química de los alimentos y los requerimientos nutricionales para pollos de engorde machos de desempeño medio, según Rostagno y col (2000). El programa nutricional utilizado fue dividido en 3 fases: pre-inicial (1-7 días de edad); inicial (8-21 días de edad) y crecimiento (22-40 días de edad) y las dietas fueron isoproteicas e isoenergéticas.

Las aves se alojaron en un galpón convencional de 30 metros de longitud y 8 metros de ancho, divididos en corrales de 6,3 m² con piso de concreto y con cortinas laterales. Se utilizó cascara de arroz de primer uso como material de cama. Durante los primeros días, se utilizaron comederos infantiles y bebederos tipo niple, siendo los comederos infantiles sustituidos posteriormente por comederos tubulares. Para el calentamiento inicial de las

Cuadro 1. Ingredientes y composición nutricional de la dieta basal de pollos de engorde suplementados con diferentes niveles de vitamina K₃ en el período pre-inicial (1-7 días de edad), inicial (8-21 días de edad) y crecimiento (22-40 días de edad).

Ingredient and nutritional composition of basal diet of broiler chickens supplemented with different levels of vitamin K₃ in the pre-initial (1-7 d-old), initial (8-21 d-old) and growth period (22-40 d-old).

Ingredientes (%)	Pre-inicial	Inicial	Crecimiento
Maíz	53,75	55,61	60,65
Harina de soya 45 %	38,76	36,51	30,94
Fosfato dicálcico	1,93	1,83	1,61
Bicarbonato de sodio	0,16	0,14	0,00
Caláreo	0,94	0,91	0,84
Aceite de soja	3,00	3,90	4,84
Sal común	0,35	0,38	0,42
DL-metionina, 98 %	0,37	0,26	0,24
L-lisina HCL, 78 %	0,38	0,22	0,24
L-treonina, 98 %	0,14	0,05	0,05
Colina	0,06	0,03	0,02
Supl. Vitamínico	0,10 ¹	0,10 ¹	0,10 ²
Supl. Mineral	0,05 ³	0,05 ³	0,05 ³
BHT ⁴	0,01	0,01	0,01
Vitamina K*	0,000	0,000	0,000
Total	100	100	100
Proteína cruda, %	22,00	21,14	19,00
Energía metabolizable, kcal/kg	2.960	3.050	3.175
Fibra cruda, %	3,026	2,937	2,791
Extracto Etéreo, %	5,603	6,517	7,539
Met + Cis digestible, %	1,050	0,924	0,847
Lisina digestible, %	1,406	1,232	1,115
Calcio, %	0,941	0,899	0,807
Fósforo disponible, %	0,470	0,449	0,418
Sodio, %	0,224	0,227	0,204
Cenizas, %	6,479	6,278	5,790

*Vitamina K₃ (kg): 0,001; 0,002; 0,004; 0,006; 0,008.

¹Suplemento Vitamínico para la fase pre-inicial e inicial (Contenido por kg de premix): Vit. A 7.000.000,000 UI; Vit. D₃ 2.200.000,000 UI; Vit. E 11.000,000 mg; Vit. K₃ 1.600,000 mg; Vit. B₁ 2.000,000 mg; Vit. B₂ 5.000,000 mg; Vit. B₁₂ 12.000,000 µg; Niacina 35.000,000 mg; Ácido Pantoténico 13.000,000 mg; Ácido Fólico 800,000 mg; Antioxidante 100.000,000; Vehículo q.s.p. 1.000,000 g.

²Suplemento Vitamínico para la fase crecimiento (Contenido por kg de premix): Vit. A 6.000.000,000 UI; Vit. D₃ 2.000.000,000 UI; Vit. E 1.000,000 mg; Vit. K₃ 1.000,000 mg; Vit. B₁ 1.400,000 mg; Vit. B₂ 4.000,000 mg; Vit. B₁₂ 10.000,000 µg; Niacina 30.000,000 mg; Ácido Pantoténico 11.000,000 mg; Ácido Fólico 600,000 mg; Antioxidante 100.000,000; Vehículo q.s.p. 1.000,000 g.

³Suplemento Mineral (Contenido por kg de premix): Hierro 10.000,000 mg; Cobre 16.000,000 mg; Iodo 2.400,000 mg; Zinc 100.000,000 mg; Manganeso 140.000,000 mg; Selenio 400,000 mg; Vehículo q.s.p. 1.000,000 g.

⁴Butil hidroxitolueno (Antioxidante).

aves se utilizaron criadoras eléctricas, dispuestas en el centro de cada unidad experimental, dentro de un redondel. Se utilizó un programa de iluminación continuo durante la primera semana y de 23 horas de luz hasta el final del experimento. Las variables ambientales registradas en el interior del galpón, temperatura mínima, máxima y humedad relativa fueron de 22,3 °C, 32,5 °C y 65 %, respectivamente, variables monitoreadas diariamente por un termohigrógrafo (Isuzu Seisakusho Co, Ltda, Japón).

MEDIDAS, TOMA DE MUESTRAS Y ANÁLISIS

Para la determinación del comportamiento productivo de las aves, se evaluó la ganancia de peso, consumo de dieta y conversión alimentaria. A los 7, 21 y 40 días de edad, se pesaron en conjunto las aves de cada unidad experimental y su respectivo comedero, para determinar el peso promedio y el consumo de ración, utilizándose una balanza digital con capacidad máxima de 20 kg para la fase inicial (Urano, Canoas/RS, Brazil) y de 100 kg para las demás fases (Toledo do Brasil, São Bernardo do Campo/SP, Brazil). La mortalidad se registro diariamente y el peso de las aves muertas fue usado para ajustar la conversión alimentaria por unidad experimental.

Los indicadores de calidad ósea fueron evaluados a los 21 y 40 días de edad. Para tal fin, 2 aves por unidad experimental fueron sacrificadas al azar y colectados sus fémures y tibias. Las muestras fueron congeladas (-20 °C) hasta el inicio de los análisis. Después de descongeladas, el tejido muscular adherido fue retirado con la ayuda de pinzas y tijeras. Los fémures y tibias limpios fueron pesados en una balanza analítica ($g \pm 0,0001$), simultáneamente, fueron medidos la longitud y diámetro de la porción media del hueso con la ayuda de un paquímetro digital. A partir de la relación entre el peso del hueso y de su longitud fue calculado el índice de Seedor (Seedor y col 1991), que es un indicativo de la densidad ósea. Para evaluar la resistencia ósea fue usado un texturómetro, donde los huesos fueron apoyados en sus extremidades, siendo aplicada una fuerza en la región central hasta la deformación elástica y ruptura del hueso. Los valores fueron expresados en kilogramo de fuerza (kgf).

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos obtenidos en cada parámetro evaluado están presentados como promedio \pm error estándar y fueron sometidos a análisis de varianza y sus promedios comparados utilizándose el test de Dunnett y el test de regresión utilizando el programa estadístico Sistemas de Análisis Estadísticas e Genética-SAEG (SAEG 1997).

RESULTADOS

Los diferentes niveles de vitamina K₃ influyeron en el consumo de dieta (P = 0,032), el peso promedio (P

= 0,012) y la ganancia de peso (P = 0,013) en la fase pre-inicial (1-7 días de edad), con una respuesta lineal positiva conforme aumentaron los niveles de vitamina K₃ dietéticos (cuadro 2). En comparación con el grupo control, el grupo alimentado con la dieta que contenía 61,6 mg/kg de vitamina K₃ presentó mayor consumo de dieta (P = 0,048). Los grupos que recibieron las dietas con 61,6 y 81,6 mg/kg de vitamina K₃ presentaron mayor peso promedio comparado con el grupo control (P = 0,022). Para la ganancia de peso, los grupos alimentados con 21,6; 61,6 y 81,6 mg/kg de vitamina K₃ mostraron mayor ganancia de peso que el grupo que recibió la dieta control (P = 0,008).

En el período de 8 a 21 días, fue observado el efecto cuadrático de los niveles de vitamina K₃ apenas para la conversión alimentaria (P = 0,029), siendo estimado un requerimiento de 38,93 mg/kg de vitamina K₃ para esta variable (cuadro 2). A los 40 días de edad, todos los indicadores del comportamiento productivo fueron similares entre los diferentes niveles de vitamina K₃ evaluados (P > 0,05).

Los indicadores relacionados con la calidad ósea fueron afectados negativamente (P < 0,05) con el aumento de los niveles de vitamina K₃ dietéticos a los 21 y 40 días de edad, excepto para el peso de la tibia y del fémur y el diámetro de la tibia, que no fueron afectados por los tratamientos durante todas las fases (P > 0,05, cuadro 3).

La longitud y la resistencia de la tibia, el índice de Seedor de la tibia y del fémur variaron en algunas fases por efecto de los niveles de vitamina K₃. El índice de Seedor de la tibia a los 21 días de edad (P = 0,019) y la longitud de la tibia a los 40 días de edad (P = 0,018) fueron afectados negativamente por los mayores niveles de vitamina K₃ (cuadro 3). Para la resistencia ósea de la tibia a los 21 días de edad (P = 0,030), el peor nivel de vitamina K₃ encontrado fue de 53,66 mg/kg y para el índice Seedor del fémur a los 40 días de edad (P = 0,026), el mejor resultado fue obtenido con el nivel de 37,13 mg/kg de vitamina K₃. El diámetro y longitud del fémur a los 21 (P = 0,029 y P = 0,047, respectivamente) y 40 días de edad (P = 0,004 y P = 0,030, respectivamente) decrecieron con el aumento de los niveles de vitamina K₃ en la dieta (cuadro 3).

DISCUSIÓN

El requerimiento de vitamina K para pollos de engorde conforme el NRC (1994), establecido considerando apenas los factores de la coagulación, es de 0,5 mg/kg de vitamina K en la dieta. El nivel de vitamina K utilizado como control en el presente estudio, 1,6 mg/kg, fue basado en los requerimientos propuestos por Rostagno y col (2000). A partir de este nivel, se utilizaron niveles mayores teniendo en cuenta los datos reportados por Fleming y col (1998 y 2003), los cuales mostraron que la suplementación de vitamina K₃ mejoró los indicadores

Cuadro 2. Comportamiento productivo de pollos de engorde (promedio \pm EE) suplementados con diferentes niveles de vitamina K₃ en período pre-inicial (1-7 días de edad), inicial (8-21 días de edad) y crecimiento (22-40 días de edad).

	Niveles de vitamina K ₃ (mg/kg)							CV (%)	Regresión
	1,6	11,6	21,6	41,6	61,6	81,6			
	Fase pre-inicial (1-7 días de edad)								
PI	45,51 \pm 0,24	45,63 \pm 0,35	44,80 \pm 0,79	45,60 \pm 0,15	45,08 \pm 0,18	45,51 \pm 0,41	1,97	Ns	
CD	152,38 \pm 1,57	154,08 \pm 1,66	155,74 \pm 0,99	152,89 \pm 0,22	157,46 \pm 1,07*	156,21 \pm 1,75	2,11	Lineal ¹	
PP	194,50 \pm 1,42	197,60 \pm 1,03	199,00 \pm 1,54	194,70 \pm 1,87	200,76 \pm 0,86*	199,80 \pm 1,72*	1,90	Lineal ²	
GP	148,99 \pm 1,46	151,97 \pm 0,73	154,20 \pm 1,75*	149,01 \pm 1,73	155,68 \pm 0,93*	154,29 \pm 1,72*	2,52	Lineal ³	
CA	1,023 \pm 0,003	1,014 \pm 0,007	1,010 \pm 0,006	1,015 \pm 0,004	1,012 \pm 0,004	1,013 \pm 0,003	1,00	Ns	
	Fase inicial (8-21 días de edad)								
CD	956,96 \pm 12,65	975,13 \pm 6,31	972,27 \pm 6,27	950,99 \pm 6,79	963,40 \pm 7,10	981,12 \pm 5,18	1,98	Ns	
PP	876,56 \pm 10,35	892,46 \pm 9,26	889,98 \pm 4,85	880,88 \pm 2,91	895,96 \pm 7,88	888,02 \pm 7,63	1,90	Ns	
GP	682,06 \pm 9,00	696,68 \pm 8,49	691,18 \pm 5,84	686,28 \pm 1,67	695,20 \pm 7,20	688,22 \pm 7,90	2,23	Ns	
CA	1,403 \pm 0,008	1,397 \pm 0,013	1,408 \pm 0,009	1,386 \pm 0,008	1,387 \pm 0,009	1,426 \pm 0,016	1,87	Cuadrático ⁴	
	Fase crecimiento (22-40 días de edad)								
CD	3236,84 \pm 43,89	3248,02 \pm 42,82	3253,62 \pm 16,54	3256,85 \pm 22,98	3259,09 \pm 33,28	3302,33 \pm 18,53	2,09	Ns	
PP	2699,43 \pm 46,99	2745,40 \pm 32,53	2786,46 \pm 38,85	2739,68 \pm 15,33	2751,90 \pm 34,44	2768,42 \pm 12,97	2,63	Ns	
GP	1822,87 \pm 43,35	1852,94 \pm 28,21	1896,48 \pm 41,61	1858,80 \pm 16,58	1855,66 \pm 32,88	1880,40 \pm 15,18	3,72	Ns	
CA	1,778 \pm 0,027	1,753 \pm 0,010	1,718 \pm 0,033	1,752 \pm 0,008	1,752 \pm 0,022	1,756 \pm 0,012	2,62	Ns	

CD: consumo de dieta (g/ave); PP: Peso promedio (g); GP: ganancia de peso (g); CA: Conversión alimentaria (g/g).

*diferencia estadística significativa en relación al grupo control (test de Dunnett, P < 0,05).

¹Y = 0,0439x + 153,18, R² = 0,46; ²Y = 0,0528x + 195,79, R² = 0,38; ³Y = 0,0533x + 150,41, R² = 0,33; ⁴Y = 0,00002x² - 0,0012x + 1,4113, R² = 0,62, punto de mínima = 38,93.

Cuadro 3. Indicadores óseos de pollos de engorde (promedio \pm EE) suplementados con diferentes niveles de vitamina K₃ a los 21 y 40 días de edad.Bone parameters of broiler chickens (mean \pm SEM) supplemented with different levels of vitamin K₃ at 21 and 40 days of age.

	Niveles de vitamina K ₃ (mg/kg)							Regresión
	1,6	11,6	21,6	41,6	61,6	81,6	CV (%)	
	Tibia - 21 días							
Peso (g)	8,99 \pm 0,21	9,33 \pm 0,14	8,80 \pm 0,35	8,56 \pm 0,07	8,62 \pm 0,36	8,76 \pm 0,27	6,60	Ns
Diámetro (mm)	6,76 \pm 0,12	6,79 \pm 0,05	6,77 \pm 0,19	6,78 \pm 0,14	6,57 \pm 0,20	6,53 \pm 0,16	4,95	Ns
Longitud (mm)	79,31 \pm 0,97	79,40 \pm 0,52	78,25 \pm 0,77	78,48 \pm 0,68	78,58 \pm 1,10	78,54 \pm 0,52	2,12	Ns
Índice de Seedor (mg/mm)	114,19 \pm 1,76	117,50 \pm 1,86	112,30 \pm 3,53	109,14 \pm 1,08	109,64 \pm 3,39	109,54 \pm 3,71	5,70	Lineal ⁵
Resistencia ósea (kgf)	18,28 \pm 0,55	17,71 \pm 0,52	18,19 \pm 0,62	17,23 \pm 0,67	16,07 \pm 0,48	17,82 \pm 0,55	7,88	Cuadrática ⁶
	Fémur - 21 días							
Peso (g)	6,28 \pm 0,16	6,54 \pm 0,10	6,33 \pm 0,27	5,98 \pm 0,12	6,30 \pm 0,35	6,20 \pm 0,30	8,17	Ns
Diámetro (mm)	7,16 \pm 0,11	7,50 \pm 0,14	7,12 \pm 0,05	6,89 \pm 0,24	6,90 \pm 0,20	7,02 \pm 0,11	5,37	Lineal ⁷
Longitud (mm)	59,01 \pm 0,87	58,87 \pm 0,29	58,64 \pm 0,37	58,40 \pm 0,45	57,87 \pm 0,89	57,97 \pm 0,62	2,30	Lineal ⁸
Índice de Seedor (mg/mm)	107,29 \pm 2,14	110,98 \pm 1,90	107,83 \pm 4,07	102,25 \pm 1,38	108,93 \pm 4,54	105,29 \pm 5,42	7,28	Ns
	Tibia - 40 días							
Peso (g)	25,79 \pm 0,56	24,96 \pm 0,30	25,04 \pm 0,21	25,33 \pm 0,96	25,34 \pm 0,69	24,66 \pm 1,08	5,90	Ns
Diámetro (mm)	10,33 \pm 0,10	10,07 \pm 0,21	9,90 \pm 0,22	10,12 \pm 0,11	10,20 \pm 0,24	9,67 \pm 0,20	4,38	Ns
Longitud (mm)	119,47 \pm 0,89	117,57 \pm 1,77	119,04 \pm 0,65	116,58 \pm 1,79	115,86 \pm 1,96	115,97 \pm 0,95	2,77	Lineal ⁹
Índice de Seedor (mg/mm)	215,56 \pm 4,48	212,27 \pm 1,13	210,38 \pm 2,41	217,67 \pm 8,68	218,79 \pm 7,26	212,15 \pm 7,54	5,83	Ns
Resistencia ósea (kgf)	33,85 \pm 3,60	32,24 \pm 1,74	32,92 \pm 1,26	31,08 \pm 1,14	36,61 \pm 1,97	33,13 \pm 2,18	14,09	Ns
	Fémur - 40 días							
Peso (g)	17,96 \pm 0,40	17,66 \pm 0,56	18,17 \pm 0,36	18,30 \pm 0,60	17,60 \pm 0,45	17,03 \pm 0,51	6,08	Ns
Diámetro (mm)	10,86 \pm 0,13	10,93 \pm 0,20	10,80 \pm 0,14	10,46 \pm 0,03	10,50 \pm 0,19	10,48 \pm 0,17	3,52	Lineal ¹⁰
Longitud (mm)	86,83 \pm 1,00	84,60 \pm 1,09	85,90 \pm 0,63	85,43 \pm 0,50	83,01 \pm 1,82	83,84 \pm 0,30	2,91	Lineal ¹¹
Índice de Seedor (mg/mm)	206,51 \pm 3,71	208,35 \pm 4,19	211,44 \pm 3,94	220,44 \pm 8,25	204,30 \pm 3,66	202,65 \pm 5,25	5,73	Cuadrática ¹²

Ns = no significativo, $P > 0,05$; ⁵Y = -0,0847x+115,15, $R^2 = 0,62$; ⁶Y = -0,0006x²-0,0644x+18,60, $R^2 = 0,52$, punto de mínima = 53,66;⁷Y = -0,0047x+7,2683, $R^2 = 0,41$; ⁸Y = -0,0146x+58,99, $R^2 = 0,92$; ⁹Y = -0,0438x+119,02, $R^2 = 0,75$; ¹⁰Y = -0,0616x+10,90, $R^2 = 0,76$;¹¹Y = -0,0352x+86,223, $R^2 = 0,60$; ¹²Y = -0,0069x²+0,5124x+204,92, $R^2 = 0,60$, punto de máxima = 37,13.

óseos de gallinas ponedoras. La utilización de niveles altos de vitamina K_3 en las dietas experimentales se debió a que los niveles utilizados comercialmente son de 4 a 8 veces mayores que lo propuesto por el NRC (1994), además, con niveles altos de vitamina K se esperaba una mejora en los indicadores productivos y calidad ósea de los pollos de engorde.

De acuerdo con los resultados presentados, se observa que pollos de engorde en la fase pre-inicial son mayormente influidos por los niveles dietéticos de vitamina K_3 que aves en las fases subsecuentes, presentando mejora en los indicadores de desempeño (consumo de dieta, peso y ganancia de peso de los animales) conforme el aumento de los niveles de inclusión. Los mejores resultados fueron obtenidos en los animales que recibieron el nivel de 61,6 mg/kg de vitamina K_3 para esta fase. Esta diferencia de acuerdo con la edad es debida a la microflora intestinal menos desarrollada en animales más jóvenes (van der Wielen y col 2002), y por lo tanto, con más baja producción de vitamina K. Además, de acuerdo con Fritz (1969), la vitamina K producida por la acción bacteriana no se aprovecha totalmente en los animales jóvenes, los cuales requieren suplementación en dietas iniciales.

A partir de la fase inicial, los niveles dietéticos de vitamina K_3 no afectaron el comportamiento productivo de pollos de engorde. En pavos de 1 a 14 días de edad, Jin y col (2001) encontraron que la suplementación de hasta 2 mg/kg de vitamina K en la dieta no tiene ningún efecto sobre los indicadores de comportamiento productivo. En la literatura existen escasos estudios evaluando los efectos de la vitamina K sobre el comportamiento productivo de pollos de engorde. Zhang y col (2003) utilizaron niveles entre 0 y 128 mg/kg de vitamina K en la dieta de pollos de engorde y no observaron diferencias en el comportamiento productivo de los animales en la fase inicial y de crecimiento. Estos autores encontraron diferencias solamente en la ganancia de peso diaria y en la conversión alimentaria en la fase final (35 a 42 días de edad) y sugirieron la utilización de 2 mg/kg de vitamina K en la dieta en esta fase. La recomendación de vitamina K dietética propuesta por Rostagno y col (2005 y 2011) está muy cerca de este valor.

Aunque la función principal de la vitamina K en el hueso esté relacionada con la formación y mineralización ósea, en este estudio los indicadores relacionados con la calidad ósea fueron afectados negativamente con niveles crecientes de vitamina K_3 dietética. Zhang y col (2003) encontraron resultados similares a los obtenidos en este estudio, con ausencia de efecto de la vitamina K en el peso y en el tamaño de la tibia de pollos de engorde a los 21 días de edad alimentados con niveles comprendidos entre 0 y 128 mg/kg.

Algunos indicadores de calidad ósea estuvieron influidos por los niveles de inclusión de vitamina K_3 , presentando efecto lineal o cuadrático, sin embargo, es importante resaltar que no fueron encontradas diferencias

con respecto al grupo control (1,6 mg/kg). Así, el nivel de 1,6 mg/kg de vitamina K propuesto por Rostagno y col (2000), atiende los requerimientos para pollos de engorde con relación a la calidad ósea. Algunos autores han encontrado requerimientos más bajos de vitamina K para pollos de engorde, considerando la acción de la vitamina K en la coagulación sanguínea, siendo estos de 0,53 mg/kg para pollos de engorde en la fase inicial (Nelson y Norris 1960) y de 1 mg/kg a los 21 días de edad (Griminger y Donis 1960). Requerimientos mayores de vitamina K fueron sugeridos por Zhang y col (2003) para optimizar la calidad ósea y el comportamiento productivo de pollos de engorde, siendo de 8 mg/kg para la fase inicial y 2 mg/kg para las fases de crecimiento y final. En pavos, la concentración de vitamina K ha mostrado poco o ningún efecto sobre el desarrollo del hueso hasta los 14 días de edad, alimentados con niveles entre 0 y 2 mg/kg de vitamina K (Jin y col 2001). Así, estos autores sugieren que el requerimiento de vitamina K para pavos sería menor que lo recomendado por el NRC (1994). Según Watanabe y col (2010), la recomendación de vitamina K para pollos de engorde es mayor que para ratones, debido al menor tamaño del intestino de pollos para la absorción de ésta (Will y col 1992) y a la menor habilidad de las aves en reducir la vitamina K 2,3 epóxi (VKO) en su forma activa, proceso necesario para el reciclaje de dicha vitamina (Watanabe y col 2010).

Zhang y col (2003) indicaron el mecanismo por el cual la vitamina K afecta la calidad ósea. Los autores sugieren que la vitamina K estimula la carboxilación de la osteocalcina, reduciendo la concentración de esta proteína en su forma no carboxilada, aumentando la capacidad de unión de la osteocalcina sérica con los cristales de hidroxapatita, lo que consecuentemente mejora la calidad del hueso. No obstante, en este estudio, los niveles más altos de vitamina K_3 empeoraron los indicadores óseos. Los estudios enfocados a evaluar los efectos de la vitamina K sobre la calidad ósea son escasos y controvertidos en la literatura. Moraes y col (2010) encontraron que niveles dietéticos de vitamina K, entre 0 y 20 mg/kg, disminuyen la concentración de proteínas no colágenas en el fémur de pollos de engorde. Se sabe que estas proteínas participan de varios procesos fisiológicos importantes en el hueso, como estabilización de la matriz ósea, calcificación y otras actividades metabólicas reguladoras (Terminé 1993, Kapustin y Shanahan 2011). Entre las proteínas no colágenas, la osteocalcina es la más abundante en el tejido óseo y su concentración puede ser utilizada como un indicador de la actividad y renovación ósea (Seibel 2005). Por lo tanto, una reducción en los niveles de osteocalcina, como encontrado por Moraes y col (2010) puede indicar un hueso de mala calidad, corroborando los datos obtenidos en este estudio.

Con base en lo expuesto, los resultados sugieren que el nivel indicado de vitamina K_3 en las dietas de pollos de engorde es de 1,6 mg/kg, considerando que al final de los

40 días de edad, los pollos de engorde presentaron comportamiento productivo similar a los niveles más altos, además de presentar mejores indicadores de calidad ósea en este nivel. Sin embargo, se observa que todavía es necesario el desarrollo de varios estudios para comprender mejor los efectos de la vitamina K sobre la calidad ósea de pollos de engorde. Igualmente, se debe considerar que la vitamina K es apenas uno de los factores que regula el crecimiento y desarrollo del hueso, con varios otros factores nutricionales, genéticos y de manejo involucrados en su regulación (Fleming 2008).

AGRADECIMIENTOS

Al CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) por el financiamiento del proyecto.

REFERENCIAS

- Atkins GJ, KJ Welldon, AR Wijenayaka, LF Bonewald, DM Findlay. 2009. Vitamin K promotes mineralization, osteoblast-to-osteocyte transition, and an anti-catabolic phenotype by γ -carboxylation-dependent and -independent mechanisms. *Am J Physiol Cell Physiol* 297, 1358-1367.
- Beavan SR, A Prentice, DM Stirling, B Dibba, L Yan, DJ Harrington, MJ Shearer. 2005. Ethnic differences in osteocalcin gamma-carboxylation, plasma phylloquinone (vitamin K₁) and apolipoprotein E genotype. *Eur J Clin Nutr* 59, 72-81.
- Ferland G. 2012. The discovery of vitamin K and its clinical applications. *Ann Nutr Metab* 61, 213-218.
- Fernandes JIM, AE Murakami, C Scapinello, I Moreira, EV Varela. 2009. Effect of vitamin K on bone integrity and eggshell quality of White hen at the final phase of the laying cycle. *Rev Bras Zootec* 38, 488-492.
- Fleming RH, HA McCormack, CC Whitehead. 1998. Bone structure and strength at different ages in laying hens and effects of dietary particulate limestone, vitamin K and ascorbic acid. *Br Poult Sci* 39, 434-440.
- Fleming RH, HA McCormack, L McTeir, CC Whitehead. 2003. Effects of dietary particulate limestone, vitamin K₃ and fluoride and photostimulation on skeletal morphology and osteoporosis in laying hens. *Br Poult Sci* 44, 683-689.
- Fleming RH. 2008. Nutritional factors affecting poultry bone health. *Proc Nutr Soc* 67, 177-183.
- Fritz JC. 1969. Vitamin K deficiency in chicks fed practical diets. *Poult Sci* 48, 736-737.
- Griminger P, O Donis. 1960. Potency of vitamin K1 and two analogues in counter-acting the effects of dicumarol and sulfaquinoxaline in the chick. *J Nutr* 70, 361-368.
- Jin S, JL Sell, JS Haynes. 2001. Effects of dietary vitamin K₁ on selected plasma characteristics and bone ash in young turkeys fed diets adequate or deficient in vitamin D₃. *Poult Sci* 80, 607-614.
- Kapustin AN, CM Shanahan. 2011. Osteocalcin: A novel vascular metabolic and osteoinductive factor? *Arterioscler Thromb Vasc Biol* 31, 2169-2171.
- Moraes GHK, ACP Rodrigues, FA Silva, HS Rostagno, CS Minafra, SM Bigonha. 2010. Efeitos do ácido L-glutâmico e da vitamina K na composição bioquímica parcial de fê-mures de frangos de corte. *R Bras Zootec* 39, 796-800.
- Nakajima S, H Iijima, S Egawa, S Shinzaki, J Kondo, T Inoue, Y Hayashi, J Ying, A Mukai, T Akasaka, T Nishida, T Kanto, M Tsujii, N Hayashi. 2011. Association of vitamin K deficiency with bone metabolism and clinical disease activity in inflammatory bowel disease. *Nutrition* 27, 1023-1028.
- National Research Council. 1994. *Nutritional Requirements of Poultry*. 9th ed. National Academy Press, Washington, DC, USA.
- Nelson TS, LC Norris. 1960. Studies on the vitamin K, requirement of the chick. I. Requirement of chick for vitamin K, menadione and menadione sodium bisulfite. *J Nutr* 72, 137-144.
- Pines M. 2007. Poultry bone disorders. *Proceedings of the 19th Annual Australian Poultry Science Symposium*, University of Sydney, Sydney, Australia, Pp 110-121.
- Rostagno HS, LFT Albino, JL Donzele, PC Gomes, AS Ferreira, DC Lopes, RFM Oliveira. 2000. *Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais*. Editora da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil.
- Rostagno HS, LFT Albino, JL Donzele, PC Gomes, RF Oliveira, DC Lopes, AS Ferreira, SLT Barreto. 2005. *Tabelas brasileiras para aves e suínos: Composição de alimentos e exigências nutricionais*. 2^a ed. Editora da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil.
- Rostagno HS, LFT Albino, JL Donzele, PC Gomes, RF Oliveira, DC Lopes, AS Ferreira, SLT Barreto. 2011. *Tabelas brasileiras para aves e suínos: Composição de alimentos e exigências nutricionais*. 3^a ed. Editora da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil.
- Rubinacci A. 2009. Expanding the functional spectrum of vitamin K in bone: Focus on: "Vitamin K promotes mineralization, osteoblast to osteocyte transition, and an anti-catabolic phenotype by γ -carboxylation-dependent and -independent mechanisms". *Am J Physiol Cell Physiol* 297, 1336-1338.
- SAEG. 1997. Sistema para análises estatísticas e genéticas: versão 8.0. Fundação Arthur Bernardes, Viçosa, Brasil.
- Seedor JG, HA Quartuccio, DD Thompson. 1991. The bisphosphonate alendronate (MK-217) inhibits bone loss due to ovariectomy in rats. *J Bone Miner Res* 6, 339-346.
- Seibel MJ. 2005. Biochemical markers of bone turnover. Part I: Biochemistry and variability. *Clin Biochem Rev* 26, 97-122.
- Shea MK, SL Booth. 2008. Update on the role of vitamin K in skeletal health. *Nutr Rev* 66, 549-557.
- Smith DP, JK Northcutt. 2003. Red discoloration of fully cooked chicken products. *J App Poult Res* 12, 515-521.
- Termine JD. 1993. Bone matrix proteins and mineralization process. In: Favus MJ (ed). *Primer on the metabolic bone diseases and disorders of mineral metabolism*. 2nd ed. Lippincott-Raven Publishers, Philadelphia, USA, Pp 21-25.
- van der Wielen PWJJ, DA Keuzenkamp, LJA Lipman, van Knapen F, S Biesterveld. 2002. Spatial and temporal variation of the intestinal bacterial community in commercially raised broiler chickens during growth. *Microb Ecol* 44, 286-293.
- Watanabe KP, A Saengtienchai, KD Tanaka, Y Ikenaka, M Ishizuka. 2010. Comparison of warfarin sensitivity between rat and bird species. *Comp Biochem Physiol C Toxicol*

Pharmacol 152, 114-119.

Weber P. 2001. Vitamin K and bone health. *Nutr* 17, 880-887.

Will BH, Y Usui, JW Suttie. 1992. Comparative metabolism and requirement of vitamin K in chicks and rats. *J Nutr*

122, 2354-2360.

Zhang C, D Li, F Wang, T Dong. 2003. Effects of dietary vitamin K levels on bone quality in broilers. *Arch Tierernahr* 57, 197-206.

