

EFFECTO DEL METABOLITO 25(OH)-COLECALCIFEROL SOBRE LA DISCONDROPLASIA TIBIAL EN *Gallus* *domesticus* COMERCIALES TIPO CARNE*

Adriana Quiroz-Bucheli,¹ William Narváez-Solarte,² Alejandro Giraldo-Carmona³

Resumen

Objetivo: Probar tres niveles de 25-(OH)-colecalfiferol en pollos de engorde de línea de alta incidencia de discondroplasia tibial, criados bajo condiciones de temperatura termoneutral y de temperatura alta, a una altitud de 2130 msnm. **Metodología:** Se utilizaron 384 pollos de 1 a 21 días de edad de la línea Ross 308, con peso inicial promedio de $43,97 \pm 1,25$ g, distribuidos en un modelo factorial 2×3 , dos temperaturas ambientales (termoneutral y temperatura alta) y tres niveles de 25-hidroxicolecalciferol (34,5; 69 y 93,5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de alimento, como única fuente de vitamina D), cada uno con 8 repeticiones y 8 pollos por unidad experimental. Al día 21 de edad se determinaron el peso final, la conversión alimenticia y la mortalidad en cada una de las unidades experimentales. Además, se tomó una muestra de hueso de tibia, para realizar la medición cuantitativa del porcentaje de área con discondroplasia tibial. **Resultados:** Aunque los pollos alimentados con 93,5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de vitamina D presentaron en los resultados biológicos menor porcentaje de discondroplasia tibial, la prueba estadística no muestra diferencia significativa ($p > 0,05$) entre las medias de tratamientos. El peso final incrementó significativamente ($p < 0,05$) en los pollos alimentados con 93,5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de 25-hidroxicolecalciferol; y al desdoblar la suma de cuadrados dentro del factor temperatura, no se observaron diferencias estadísticas significativas ($p > 0,05$). **Conclusión:** Con base en los resultados obtenidos en las condiciones del experimento, la adición de 25-(OH)-colecalfiferol a una dosis de 93,5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ mejoró la respuesta productiva, sin embargo, no hubo diferencia en el grado de discondroplasia cuando las aves consumieron niveles de 25-hidroxicolecalciferol entre 34,5 y 93,5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de alimento en pollos de engorde de 1 a 21 días.

Palabras clave: ave, cojera, nutrición, tibia, vitamina D.

* FR: 4-II-2019. FA: 30_IV-2019

¹ Maestría en Ciencias Veterinarias, Área: Nutrición y Patología Animal, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia. E-mail: buquiadri@hotmail.com ORCID 0000-0002-9540-0108

² Universidad de Caldas, Departamento de Salud Animal, Grupo de Investigación en Nutrición, Metabolismo y Seguridad Alimentaria. Manizales, Colombia. E-mail: wnarvaez@ucaldas.edu.co ORCID 0000-003-4698-3818

³ Maestría en Ciencias Veterinarias, Área: Nutrición Animal, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia. E-mail: Alejandro_Giraldo@cargill.com ORCID 0000-0002-0319-0159

CÓMO CITAR:

QUIROZ, A., NARVÁEZ, W. y GIRALDO, A., 2019.-Efecto del metabolito 25(oh)-colecalfiferol sobre la discondroplasia tibial en *Gallus domesticus* comerciales tipo carne. *Bol. Cient. MusHist. Nat. U. de Caldas*, 23 (2): 280-288. DOI: 10.17151/bccm.2019.23.2.16.

EFFECT OF THE METABOLITE 25 (OH) - CHOLECALCIFEROL ON THE TIBIAL DYSCHONDROPLASIA IN *Gallus domesticus* (MEAT TYPES)

Abstract

Objective: Prove three levels of 25-hydroxycholecalciferol in broilers at a high risk of Tibial Dyschondroplasia incidence, raised under thermal neutral temperature conditions and high temperature, with an altitude of 2130 m above sea level. **Methodology:** 348 Ross birds from 1 to 21 days old were used, 308 with an average weight of 43.97 ± 1.25 g, distributed in a factorial 2×3 model, two ambient temperatures (thermal neutral and high temperature) and three levels of 25-hydroxycholecalciferol (34.5, 69 o 93.5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ of food, as the only source of vitamin D), each of them with 8 repetitions and 8 birds per experimental unit. On the 21st day of age, the final weight, the feeding conversion and mortality in each experimental unit were determined. Moreover, a tibia bone sample was taken in order to conduct a quantitative measure of the percentage of area with Tibial Dyschondroplasia. **Results:** Even though birds fed with 93.5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ of vitamin D showed lower biological results of Tibial Dyschondroplasia, the statistical evidence does not reveal a significant difference between the treatment measures ($p > 0.05$). The final weight increased considerably ($p < 0.05$) in the birds fed with 93.5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 25-hydroxycholecalciferol; and when the results were analyzed in the temperature factor, significant statistical differences were not observed ($p > 0.05$). **Conclusion:** Based on the obtained results under the experimental conditions, the addition of 25-hydroxycholecalciferol per dose by 93.5 $\mu\text{g}/\text{kg}$, improved the productive response. However, there was no difference in the degree of Dyschondroplasia when the birds consumed 25-hydroxycholecalciferol in 34.5 and 93.5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ of food in 1 to 21 days old broiler chickens.

Key words: bird, lameness, nutrition, tibia, vitamin D.

INTRODUCCIÓN

La modificación en los factores genéticos, de manejo y nutrición del pollo de engorde están relacionados con la aparición de problemas de patas, específicamente el aumento de discondroplasia tibial. El mejoramiento genético de estas aves está orientado a reducir el tiempo necesario para alcanzar un mejor peso al sacrificio, lo cual ha llevado a una negligencia en el perfeccionamiento del desarrollo de la estructura ósea, presentándose un soporte esquelético inmaduro, en el pollo adulto, lo que involucra trastornos esqueléticos como la discondroplasia tibial y el raquitismo, con implicaciones

económicas y de bienestar animal; tanto así, que se han establecido líneas genéticas con alta o baja incidencia para discondroplasia (DOTTAVIO & DI-MASSO, 2010; OVIEDO-RONDÓN, 2012).

La vitamina D es un complejo de secoesteroides, entre los cuales se incluye el 25-hidroxicolecalciferol (25-OH-colecalciferol ó 25-OH-D₃), que participa en la absorción, transporte, y utilización del calcio y fósforo y en la regulación de la diferenciación celular en tejidos del sistema inmunológico, óseo, sanguíneo y de la piel (BUNCE *et al.*, 1997; MCNAUGHTON *et al.*, 1977; OVIEDO-RONDÓN, 2009; SOARES *et al.*, 1995; VAZQUEZ *et al.*, 2017). El 25-hidroxicolecalciferol es un metabolito intermediario de la vitamina D que necesita ser hidroxilado a 1,25-dihidroxicolecalciferol para actuar dentro del organismo en el transporte del calcio intestinal y óseo (EDELSTEIN *et al.*, 1978; HAN *et al.*, 2017; VAZQUEZ *et al.*, 2017).

En pollos de engorde alimentados con 25-OH-D₃ como fuente de vitamina D, YARGER *et al.* (1995a) y YARGER *et al.* (1995b), observaron mejor ganancia de peso; y otros investigadores demostraron que este metabolito es más eficaz en reducir los casos de discondroplasia tibial en las aves que la vitamina D₃, principalmente en dietas con niveles marginales de calcio (COTO *et al.*, 2008; FRITTS & WALDROUP, 2003). No obstante, son diversos los resultados obtenidos por investigadores cuando se habla de utilizar una dosis exacta para disminuir este problema. ROBERSON (1999) concluyó que dosis entre 23 µg/kg y 250 µg/kg de 25-OH-D₃ en pollos de 17 días de edad no son suficientes para prevenir la incidencia de la discondroplasia tibial. Por otro lado, ZHANG *et al.* (1997) sostienen que el suministro de 68,9 µg/kg de 25-OH-D₃ en pollos de engorde de líneas de baja incidencia para discondroplasia tibial son suficientes para disminuir la presencia de la enfermedad; en el mismo sentido, RENNIE & WHITEHEAD (1996) observaron que la sustitución de colecalciferol por 75 µg/kg de 25-OH-D₃ disminuye la incidencia de discondroplasia tibial y que con una dosis de 250 µg/kg de alimento, esta se elimina por completo.

Después de observar estas referencias, dio pie para plantear el objetivo de esta investigación que fue evaluar el efecto del metabolito 25-OH-D₃, sobre el grado de discondroplasia tibial en pollos de engorde de 1 a 21 días de edad, criados en temperatura termoneutral y alta a una altitud de 2130msnm.

MATERIALES Y MÉTODOS

El bioensayo se realizó en el Laboratorio de Nutrición y Sanidad Avícola de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Caldas. Todos los procedimientos realizados en este experimento fueron avalados mediante el Acta No. 1 de 2014 por el Comité de Ética para la Experimentación con Animales de la misma universidad.

Instalaciones y medio ambiente

Los animales se distribuyeron en dos galpones de ambiente controlado, provistos de 48 jaulas de 0,36 m² cada una, con bebedero de niple y comedero individual tipo canal. El programa de iluminación fue continuo durante las 24 horas del día, con una intensidad lumínica de 20 lumens/m². La humedad interna de los galpones se mantuvo en 57,5±2,5%, la ventilación y la temperatura fueron reguladas por el sistema de ambiente controlado de acuerdo a la edad de las aves (AVIAGEN, 2014). Al tomar la temperatura ambiental como un factor a evaluar, se consideraron dos condiciones: temperatura termoneutral y temperatura alta (10% por encima de la termoneutral) (Tabla 1).

Tabla 1. Temperatura interna de galpones en condiciones de temperatura termoneutral y temperatura alta en pollos de engorde, de 1 a 21 días de edad.

Días	Temperatura termoneutral °C	Temperatura alta °C
1 -7	33 ± 1	37 ± 1
8 -14	30 ± 1	34 ± 1
15 -21	27 ± 1	31 ± 1

Unidades experimentales

Se criaron 384 pollos machos de la línea Ross, con peso inicial promedio de 43,97±1,25 gramos, hasta el día 21 de edad. Durante este periodo, las aves recibieron agua y alimento a voluntad.

Dietas

El alimento fue balanceado de acuerdo con las recomendaciones del National Research Council (NRC, 1994) y ROSTAGNO *et al.* (2011), a base de maíz y torta de soya (Tabla 2), variando únicamente el nivel de vitamina 25-hidroxicholecalciferol para establecer los tratamientos con niveles de 34,5; 69 y 93,5 µg/kg de alimento.

Diseño experimental

Se realizó un diseño de bloques completamente al azar (DBCA), donde el factor de bloqueo fue el piso de la jaula, constituyendo un modelo factorial 2x3, dos temperaturas ambientales de crianza (temperatura termoneutral y temperatura alta) y tres niveles de 25-hidroxicoalciferol (34,5; 69 y 93,5 µg/kg de alimento), cada tratamiento tuvo ocho repeticiones con ocho animales por unidad experimental.

Tabla 2. Dieta experimental base para pollos de engorde de 1 a 21 días de edad.

Ingrediente	%
Maíz amarillo	57,407
Torta de soya 48%	35,198
Sebo bovino	2,974
Fosfato monocálcico	2,207
Carbonato de Ca	0,723
DL-Metionina	0,338
L-Lisina	0,300
L-Treonina	0,112
Sal	0,250
Cloruro de colina	0,040
Premezcla Vit y Min ¹	0,450
Total	100,0
Composición nutricional	
Energía metabolizable (Kcal/kg)	3.000
Proteína bruta (%)	22,00
Fibra bruta (%)	2,468
Extracto etéreo (%)	5,562
Calcio (%)	0,900
Fósforo disponible (%)	0,450
Metionina (%)	0,653
Lisina (%)	1,400
Treonina (%)	0,950
Triptófano (%)	0,270

¹Se incluyó por kilogramo de alimento: Vitamina A 11000 UI, Vitamina E 50 mg, Vitamina K 2,5 mg, Riboflavina 6,5 mg, Niacina 40 mg, Acido Pantoténico 10 mg, Piridoxina HCl 2,5 mg, Tiamina 2 mg, Vitamina B12 10 mcg, Biotina 80 mcg, Ácido fólico 1,25 mg, Zn 77 mg, Mn 75 mg, Fe 70 mg, Cu 8 mg, I 0,8 mg, Se 0,3 mg.

Al día 21 de edad de las aves se determinó el peso final (PF), la conversión alimenticia (CA) y la mortalidad (%M) en cada una de las unidades experimentales, para lo cual se pesaron semanalmente los animales de cada unidad, el alimento suministrado y las sobras del alimento, y se registró la mortalidad para hacer el respectivo ajuste de las variables anteriores. El mismo día se tomó una muestra de hueso de tibia de un ave, que represente el peso promedio de cada unidad experimental, previo aturdimiento con CO₂ y sacrificio. Posteriormente, se realizó un corte diagonal en la cara medial de la cabeza de la tibia, para exponer el cartílago de crecimiento. Seguidamente, a la

misma muestra se les tomó una fotografía, con una cámara digital (Samsung DV150F, con 16,2 MP y zoom óptico de 5x), montada sobre un trípode a una distancia de 20 cm. A continuación, se hizo la medición de áreas utilizando el programa ArcGIS® (versión 9,3). En el programa ArcMap se insertó la foto de cada muestra, sin importar la escala de medición, y se delimitó un área total comprendida entre la zona del cartílago articular epifisial y la zona traslúcida, correspondiendo al 100% y de esta se midió la zona traslúcida que representa la lesión de discondroplasia tibial; a la cual se asignó la calificación porcentual de acuerdo con la escala de cuantificación de discondroplasia tibial según la técnica propuesta por QUIROZ-BUCHELI & NARVÁEZ-SOLARTE en 2019 (no publicado) para determinar el porcentaje de discondroplasia tibial. Esta consiste en calcular la proporción del área total de cartílago y la zona traslúcida y calificarla según la escala de cuantificación de discondroplasia tibial (Tabla 3).

Tabla 3. Escala de medición cuantitativa de área de discondroplasia tibial en pollos de engorde.

Grado de discondroplasia tibial			
Normal	Bajo	Medio	Alto
< 27%	27 – 37 %	38 – 47 %	> 47 %

Fuente: QUIROZ-BUCHELI & NARVÁEZ-SOLARTE (no publicado).

Análisis estadístico

Los resultados fueron analizados en el programa estadístico STATA 12.0 (Serial Licens 30120546473), donde las variables paramétricas, que se ajustan a una distribución normal y donde las varianzas son homogéneas, fueron sometidas a un análisis de varianza y para las que presentaron diferencia estadística significativa ($p < 0,05$) se utilizó la prueba Tukey; y en las variables no paramétricas se utilizó la prueba Kruskal-Wallis, con un nivel de significancia de $p < 0,05$.

RESULTADOS

En pollos de engorde de 1 a 21 días de edad, al comparar el porcentaje de discondroplasia tibial no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las medias de tratamientos ($p > 0,05$) (Tabla 4); sin embargo, la respuesta biológica mostró la tendencia de disminución de esta enfermedad en los animales que recibieron la dosis de 93,5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de 25-hidroxicolecalciferol en el alimento, reflejándose en un menor porcentaje de discondroplasia equivalente a 27,07% (Tabla 3).

El peso final de los pollos alimentados durante los 21 días con dietas que contenían 93,5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de 25-hidroxicolecalciferol mostraron mayor crecimiento ($p < 0,05$) que aquellos que recibieron los niveles de 34,5 y 69 $\mu\text{g}/\text{kg}$, con una diferencia entre medias de tratamientos de 42,2 y 45,6 gramos, respectivamente (Tabla 4). En el análisis

estadístico no se observó interacción significativa ($p > 0,05$) entre los factores dosis de vitamina D y temperatura del galpón, para la variable conversión alimenticia. La conversión alimenticia fue mejor ($p < 0,01$) en los pollos criados bajo temperatura de estrés calórico con un valor de 1,43 al ser comparada con la de aquellos criados bajo temperatura termoneutral que fue de 1,5. Al desdoblarse la suma de cuadrados de tratamientos dentro del factor temperatura, no se observaron diferencias estadísticas significativas entre las medias de tratamientos en ninguna de las variables evaluadas.

Tabla 4. Discondroplasia tibial (DT), peso final (PF), conversión alimenticia (CA) y mortalidad (M) en pollos de engorde de 1 a 21 días de edad alimentados con tres niveles de 25-hidroxicalciferol y dos temperaturas de crianza.

FACTOR	% DT	PF (g)	CA	%M
Temperatura (°C)				
Termoneutral	27,33 ± 5,27	750,8 ± 60,4	1,50 ± 0,05 b	5,21 ± 8,17
Temperatura alta	28,40 ± 5,30	777,3 ± 51,9	1,43 ± 0,05 a	4,69 ± 7,20
Valor de <i>p</i>	NS	NS	0,0001	NS
25-OH-D₃ (µg/kg)				
34,5	27,77 ± 6,34	751,1 ± 62,3 b	1,48 ± 0,06	4,69 ± 6,25
69,0	28,76 ± 5,36	747,7 ± 58,2 b	1,47 ± 0,07	6,25 ± 7,91
93,5	27,07 ± 4,03	793,3 ± 40,5 a	1,44 ± 0,05	3,91 ± 8,80
Valor de <i>p</i>	NS	0,03	NS	NS
Temperatura x 25-OH-D ₃	0,99	0,39	0,77	0,87
25-OH-D₃ (µg/kg) en Temperatura termoneutral				
34,5	27,10 ± 6,58	723,3 ± 60,0	1,52 ± 0,05	4,69 ± 6,47
69,0	28,37 ± 5,95	744,9 ± 65,4	1,53 ± 0,08	6,25 ± 9,45
93,5	26,52 ± 3,26	784,4 ± 44,0	1,47 ± 0,04	4,69 ± 9,30
Valor de <i>p</i>	NS	NS	NS	NS
25-OH-D₃ (µg/kg) en Temperatura alta				
34,5	28,43 ± 6,46	779,0 ± 54,3	1,44 ± 0,04	4,69 ± 6,47
69,0	29,16 ± 5,09	750,6 ± 54,5	1,44 ± 0,06	6,25 ± 6,68
93,5	27,61 ± 4,84	802,2 ± 37,5	1,41 ± 0,04	3,12 ± 8,84
Valor de <i>p</i>	NS	NS	NS	NS

Medias de tratamientos dentro de la misma columna seguidas por letras diferentes son estadísticamente diferentes entre sí ($p < 0,05$), de acuerdo con la prueba de Tukey.

NS: no significativo ($p > 0,05$).

DISCUSIÓN

Los resultados de este estudio demuestran que la adición de 34,5; 69 y 93,5 µg de 25-OH-D₃ por kg de alimento, como única fuente de vitamina D a las dietas de iniciación para pollos de engorde fueron suficientes para obtener un grado bajo de discondroplasia tibial, con tendencia a disminuir el grado de la enfermedad cuando se incluye en la dieta la dosis de 93,5 µg de 25-OH-D₃/kg. Este resultado es consistente con estudios

previos realizados en pollos de engorde criados en jaulas, los cuales describen que dosis de 0 a 250 µg/kg de 25-OH-D₃ en pollos de 17 días de edad no fueron suficientes para prevenir totalmente la discondroplasia tibial (ROBERSON, 1999). RENNIE & WHITERHEAD (1996) observaron disminución de la incidencia y severidad de discondroplasia tibial en pollos de 21 días cuando suministraron 250 µg/kg de 25-OH-D₃ en la dieta y no así cuando suministraron 75 µg/kg. Al evaluar el efecto de la dosis de vitamina D sobre la incidencia de discondroplasia tibial comparando líneas de baja y alta incidencia de esta enfermedad, MITCHELL *et al.* (1997), y ZHANG *et al.* (1997), observaron que con niveles de 68,9 µg/kg de 25-OH-D₃ y 5 µg/kg, respectivamente, los pollos de engorde de las líneas genéticas de baja incidencia para discondroplasia tibial disminuyeron la enfermedad, pero no así las líneas de pollos de alta incidencia. En este sentido, LEDWABA & ROBERSON (2003), observaron que en raciones con niveles de calcio inferiores a 0,85% mejora la respuesta de las aves a la suplementación con esta vitamina al medir la incidencia de la enfermedad.

Por otro lado, los resultados de esta investigación permiten afirmar que la adición de 93,5 µg/kg de 25-OH-D₃ en la dieta del pollo de engorde de 1 a 21 días de edad mejora el peso final con respecto a aquellos que recibieron los niveles de 34,5 y 69 µg de 25-OH-D₃/kg. Resultado acorde con lo observado por RAMA-RAO *et al.* (2007), al alimentar pollos de engorde con niveles superiores a 30 µg de 25-OH-D₃/kg de alimento, WHITEHEAD *et al.* (2004), en los pollos que consumieron 125 µg de 25-OH-D₃/kg de alimento, MCNAUGHTON *et al.* (1977), en aves de 21 días de edad alimentados con raciones que contenían 132 UI de 25-OH-D₃/kg y, finalmente, con lo observado por RENNIE & WHITERHEAD (1996), quienes evaluaron la dosis de 75 µg de 25-OH-D₃/kg de alimento.

Al medir la eficiencia de utilización del alimento con la conversión alimenticia, los resultados muestran que no hay efecto del nivel de suplementación de 25-OH-D₃ sobre esta variable; similar a los resultados obtenidos por MITCHELL *et al.* (1997), RENNIE & WHITERHEAD (1996) y ROBERSON (1999).

Finalmente, se puede afirmar que la suplementación de la ración con 93,5 µg/kg de 25-(OH)-D₃ como única fuente de vitamina D aumenta el peso del pollo de engorde, con respecto a las demás dosis evaluadas. Sin embargo, al evaluar el grado de discondroplasia tibial en los pollos que recibieron 34,5; 69 y 93,5 µg de 25-OH-D₃ por kg de alimento, como única fuente de vitamina D todos generaron un grado bajo de la enfermedad, independientemente del factor temperatura; efecto debido a que este metabolito desempeña un papel importante en la absorción del calcio en el intestino y en la utilización y fijación de este mineral para el crecimiento y mineralización ósea (COTO *et al.*, 2008; FRITTS & WALDROUP, 2003; MCNAUGHTON *et al.*, 1977; YARGER *et al.*, 1995a; YARGER *et al.*, 1995b).

CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos en las condiciones del experimento, la adición de 25-(OH)-colecalciferol a una dosis de 93,5 µg/kg mejoró la respuesta productiva, sin embargo, no hubo diferencia en el grado de discondroplasia cuando las aves consumieron niveles de 25-hidroxicolecalciferol entre 34,5 y 93,5 µg/kg de alimento en pollos de engorde de 1 a 21 días, tanto bajo condiciones de temperatura ambiental termoneutral así como en temperatura alta.

REFERENCIAS

- AVIAGEN., 2014.- *Manual de manejo del pollo de engorde Ross 2014*, [internet], Obtenido de http://eu.aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Foreign_Language_Docs/Spanish_TechDocs/RossBroilerHandbook2014-ES.pdf.
- BUNCE, C.M., BROWN, G. & HEWISON, M., 1997.- Vitamin D and Hematopoiesis. *Trends in Endocrinology and Metabolism*, 8(6): 245-251.
- COTO, C., YAN, F., CERRATE, S., WANG, Z., SAKAKI, P., HALLEY, J.T., WIERNUSZ, C.J., MARTINEZ, A. & WALDROUP, P.W., 2008.- Effects of dietary levels of calcium and nonphytate phosphorus in broiler starter diets on live performance, bone development and growth plate conditions in male chicks fed a wheat based diet. *International Journal Poultry Science*, 7(2): 101-109.
- DOTTAIO, A.M. & DI-MASSO, R.J., 2010.- Mejoramiento avícola para sistemas productivos semi-intensivos que preservan el bienestar animal. *Journal of Basic and Applied Genetics*, 21(2), 1-10.
- EDELSTEIN, S., NOFF, D., FREEMAN, D., SHEVES, M. & MAZUR, Y., 1978.- Synthesis of 1α-Hydroxy [7-³H] Cholecalciferol and its Metabolism in the Chick. *Biochemical Journal*, 176(1): 111-117.
- FRITTS, C. & WALDROUP, P., 2003.- Effect of Source and Level of Vitamin D on Live Performance and Bone Development in Growing Broilers. *The Journal of Applied Poultry Research*, 12(1): 45-52.
- HAN, J.C., CHEN, G.H., ZHANG, J.L., WANG, J.G., QU, H.X., YAN, Y.F., YANG, X.J. & CHENG, Y.H., 2017.- Relative biological value of 1α-hydroxycholecalciferol to 25-hydroxycholecalciferol in broiler chicken diets. *Poultry Science*, 96(7): 2330-2335.
- LEDWABA, M.F. & ROBERSON, K.D., 2003.- Effectiveness of twenty-five hydroxycholecalciferol in the prevention of tibial dyschondroplasia in Ross cockerels depends on dietary calcium level. *Poultry Science*, 82(11): 1769-1777.
- MCNAUGHTON, J., DAY, E. & DILWORTH, B., 1977.- The chick's requirement for 25-hydroxycholecalciferol and cholecalciferol. *Poultry Science*, 56(2): 511-516.
- MITCHELL, R.D., EDWARDS, H.M. & MCDANIEL, G.R., 1997.- The effects of ultraviolet light and cholecalciferol and its metabolites on the development of leg abnormalities in chickens genetically selected for a high and low incidence of tibial dyschondroplasia. *Poultry Science*, 76(2): 346-354.
- NRC - National Research Council., 1994.- *Nutrient Requirements of Poultry*, (9th rev. ed.), Washington, DC: National Academy Press
- OVIEDO-RONDÓN, E., 2009.- *Aspectos nutricionales que influyen sobre la incidencia de problemas de patas en pollo de engorde*, Memorias XXV Curso de Especialización FEDNA, Madrid, p, 79-106.
- OVIEDO-RONDÓN, E.O., 2012.- *Problemas Locomotores en Pollos de Engorde*; Actas del XVI Congreso Exposición Nacional Avícola, Fenavi, 1-15, Cali, Colombia.
- QUIROZ-BUCHELI, A. & NARVÁEZ-SOLARTE, W., (No publicado).- Quantification of tibial dyschondroplasia in broiler chickens.
- RAMA-RAO, S., RAJU, M. & REDDY, M., 2007.- Performance of broiler chicks fed high levels of cholecalciferol in diets containing sub-optimal levels of calcium and non-phytate phosphorus. *Animal Feed Science and Technology*, 134(1-2): 77-88.
- RENNIE, J.S. & WHITEHEAD, C.C., 1996.- Effectiveness of dietary 25- and 1-hydroxycholecalciferol in combating tibial dyschondroplasia in broiler chickens. *British Poultry Science*, 37(2): 413-421.
- ROBERSON, K.D., 1999.- 25-Hydroxycholecalciferol fails to prevent tibial dyschondroplasia in broiler chicks raised in battery brooders. *Applied Poultry Science*, 8(1): 54-61.
- ROSTAGNO, H.S., ALBINO, L.F.T., DONZELE, J.L., GOMES, P.C., OLIVEIRA, R.F., FERREIRA, A.S., TOLEDO, S.L., & EUCLIDES, R.F., 2011.- *Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais*, (3ra ed.), Viçosa, Brasil: MG, Universidade Federal de Viçosa.
- SOARES, J.H., KERR, J.M. & GRAY, R.W., 1995.- 25-hydroxycholecalciferol in poultry nutrition. *Poultry Science*, 74(12): 1919-1934.
- VAZQUEZ, J.R., GÓMEZ, G.V., LÓPEZ, C.C., CORTÉS, A.C., DÍAZ, A.C., FERNÁNDEZ, S.R.T., ROSALES, E.M. & AVILA, A.G., 2017.- Effects of 25-hydroxycholecalciferol with two D₃ vitamin levels on production and immunity parameters in broiler chickens. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 102(1): e493-e497.
- WHITEHEAD, C., MCCORMACK, H., MCTEIR, L. & FLEMING, R., 2004.- High vitamin D3 requirements in broilers for bone quality and prevention of tibial dyschondroplasia and interactions with dietary calcium, nonphytate phosphorus and vitamin A. *British Poultry Science*, 45(3): 425-436.
- YARGER, J.G., QUARLES, C.L., HOLLIS, B.W. & GRAY, R.W., 1995a.- Safety of 25-hydroxycholecalciferol as a source of cholecalciferol in poultry rations. *Poultry Science*, 74(9): 1437-1446.
- YARGER, J., SAUNDERS, C., MCNAUGHTON, J., QUARLES, C., HOLLIS, B. & GRAY, R.W., 1995b.- Comparison of dietary 25-hydroxycholecalciferol and cholecalciferol in broiler chickens. *Poultry Science*, 74(7): 1159-1167.
- ZHANG, X., LIU, G., MCDANIEL, G.R. & ROLAND, D.A., 1997.- Responses of broiler lines selected for tibial dyschondroplasia incidence to supplementary 25-hydroxycholecalciferol. *Journal Applied Poultry Research*, 6(4): 410-416.