

NIVELES BIOLÓGICOS ÓPTIMOS DE FÓSFORO DISPONIBLE EN POLLAS BOVANS BLANCAS DE 0 A 18 SEMANAS DE EDAD

OPTIMUM BIOLOGICAL LEVELS OF AVAILABLE PHOSPHORUS IN 0 TO 18-WEEKS OLD-WHITE BOVANS PULLETS

Wendy Alcántar-Vázquez¹, Manuel Cuca-García¹, Arturo Pró-Martínez¹, Carlos Becerril-Pérez¹ y Mariano González-Alcorta²

¹Ganadería. Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados. 56230. Montecillo, Estado de México, (wendyav@colpos.mx)²Zootécnica. Universidad Autónoma Chapingo. 56230. Chapingo, Estado de México.

RESUMEN

El fósforo tiene gran importancia durante el crecimiento de las aves, y un bajo nivel en la dieta puede afectar su condición corporal y la producción de huevo. Se realizó un experimento con 500 pollas de la línea Bovans blanca, desde 1 día hasta 18 semanas de vida, para evaluar el efecto del fósforo disponible durante las etapas de iniciación (0 a 6 semanas), crecimiento (7 a 12) y desarrollo (13 a 18). El nivel de P no afectó ($p > 0.05$) el peso vivo, resistencia a ruptura y porcentaje de fósforo en tibia. Hubo diferencias ($p \leq 0.05$) en consumo de alimento y porcentaje de fósforo en heces; el periodo fue significativo ($p \leq 0.01$) para consumo de alimento y peso vivo. Los niveles óptimos biológicos de fósforo para consumo mínimo de alimento y menor excreción de fósforo en heces fueron 0.32% en iniciación; 0.34% y 0.25% en crecimiento; 0.20% y 0.25% en la etapa de desarrollo. Se concluye que el porcentaje de P disponible puede ser inferior al sugerido por el NRC (1994) durante las tres etapas, sin afectar el desempeño y condición corporal de las aves.

Palabras clave: Fósforo disponible, mineralización ósea, pollas en crecimiento.

INTRODUCCIÓN

La avicultura ha tenido un notable desarrollo debido a los avances en genética y nutrición. Bolden y Jensen (1985) afirman que los requerimientos minerales se han modificado, lo que ha incrementado la incidencia de problemas esqueléticos y metabólicos (Austic, 2000). El fósforo es esencial para el metabolismo de las aves, interviene en el desarrollo y mantenimiento de las estructuras óseas, es fundamental para la formación del cascarón del huevo, participa en reacciones energéticas y enzimáticas, es constituyente de la pared celular, y se almacena en los huesos (Barkley *et al.*, 2004). Al formular una dieta se debe considerar la fuente de P para evitar el desperdicio del mineral, ya que es el tercer ingrediente más

ABSTRACT

Phosphorus has great importance during the growth of poultry, and a low level in diet might affect their physical condition and egg production. An experiment with 500 White Bovans line pullets was carried out from 1 day to 18 weeks of life in order to evaluate the effect of available phosphorus during the stages of initiation (0 to 6 weeks), growth (7 to 12), and development (13 to 18 weeks). P level did not affect ($p > 0.05$), live weight, break resistance, and phosphorus percentage in tibia. There were differences ($p \leq 0.05$) in feed intake and percentage of phosphorus in feces; the period was significant ($p \leq 0.01$) for feed intake and live weight. The optimum biological phosphorus levels for minimum feed intake and lower phosphorus excretion in feces were 0.32% at initiation; 0.34% and 0.25% at growth; 0.20 and 0.25% at the development stage. It is concluded that the percentage of available P may be inferior to the one suggested by the NRC (1994) during the three stages, without affecting performance and body condition of the poultry.

Key words: Available phosphorus, bone mineralization, growing pullets.

INTRODUCTION

Poultry production has had a remarkable development due to genetics and nutrition advances. Bolden and Jensen (1985) state that mineral requirements have been modified, which has increased the incidence of skeleton and metabolic problems (Austic, 2000). Phosphorus is essential for poultry metabolism, takes part in development and maintenance of bone structures, it is vital for egg shell formation, participates in energy and enzymatic reactions, is constituent of the cell wall, and is stored in the bones (Barkley *et al.*, 2004). To formulate a diet, the source of P must be considered in order to avoid mineral waste since it is the third most expensive ingredient in feed formulation, besides contaminating soil and aquifers (Smith *et al.*, 2001; Keshavarz and Austic, 2004; Casartelli *et al.*, 2005). For poultry the availability of phytic P is approximately 30%, whereas

Recibido: Agosto, 2006. Aprobado: Abril, 2007.
Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 41: 609-617. 2007.

costoso en la formulación de alimentos, además de contaminar el suelo y los mantos acuíferos (Smith *et al.*, 2001; Keshavarz y Austic, 2004; Casartelli *et al.*, 2005). Para las aves, la disponibilidad del P fítico es aproximadamente 30%, mientras que el P inorgánico está disponible en más de 90%. Por tanto, deben recibir el P en forma y cantidad adecuada durante las primeras etapas de su vida, para maximizar el crecimiento corporal y el desarrollo de los huesos y tener las mayores reservas minerales al inicio de la postura (Whitehead, 1995).

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto del P disponible (Pd) en el consumo de alimento, peso vivo, resistencia a ruptura y porcentaje de P en tibiae y P excretado en heces, así como calcular los niveles óptimos biológicos (NOB) de Pd para mínimo consumo de alimento y mínima excreción de P en heces durante las etapas de iniciación, crecimiento y desarrollo de pollas Bovans blancas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se dividió en tres etapas de seis semanas cada una: iniciación (0-6), crecimiento (7-12) y desarrollo (13-18) semanas de edad. Se usaron 500 pollas Bovans blancas. Durante iniciación se usaron 250 distribuidas en cinco tratamientos de P disponible (0.30, 0.35, 0.40, 0.45 y 0.50%); las otras 250 se alimentaron con una dieta con los requerimientos nutricionales sugeridos por el NRC (1994). Durante el crecimiento se proporcionó 0.25, 0.30, 0.35, 0.40 y 0.45% de Pd, a las 250 aves no incluidas en el experimento de iniciación. Las pollas con los niveles de P en iniciación recibieron una dieta de recuperación durante el crecimiento, cubriendo los requerimientos nutricionales (NRC, 1994). Para el desarrollo se usó el mismo procedimiento: las pollas de la etapa de crecimiento recibieron una dieta de recuperación y las 250 no usadas en crecimiento se distribuyeron en los cinco tratamientos de Pd (0.20, 0.25, 0.30, 0.35 y 0.40%).

El diseño fue completamente al azar con cinco tratamientos de fósforo y cinco repeticiones con diez pollos cada una.

El agua y alimento se proporcionaron *ad libitum*. Las dietas, formuladas con base en sorgo – pasta de soya, fueron iguales en sus nutrimentos excepto P; como fuente de P se empleó fosfato dicálcico (20.43% P y 18% Ca). Para obtener las cantidades de fósforo requeridas se sustituyó el fosfato dicálcico con arena esterilizada en autoclave (Cuadro 1). El alimento y las heces se analizaron para determinar la cantidad de P total y calcular, por diferencia, el Pd aparente. También se analizaron los ingredientes para calcular el Pd, usando los valores de disponibilidad de P (NRC, 1994).

Las variables evaluadas fueron: consumo de alimento y peso vivo catorcenal; al finalizar cada etapa se determinó la resistencia a ruptura en tibia mediante un texturómetro universal (Chatillon, modelo FDV-30, marca Force Five), con puntal para ruptura; el porcentaje de P fecal de P en tibiae mediante métodos de la AOAC (1980), seleccionando al azar una polla de cada tratamiento y repetición, (25

inorganic P is available by more than 90%. Therefore, they must receive P in adequate form and quantity during the first stages of their life in order to maximize body growth and bone development and to acquire the highest mineral reserves at the beginning of lay (Whitehead, 1995). The objective of this research was to evaluate the effect of available P (AP) on feed intake, live weight, break resistance, percentage of P in tibiae, and P excreted in feces, as well to calculate the optimum biological levels (NOB) of AP for minimum feed intake and minimum P excretion in feces during the stages of initiation, growth, and development of White Bovans pullets were determined.

MATERIALS AND METHODS

The experiment was divided into three stages, each lasting six weeks: initiation 0-6, growth 7-12, and development 13- 18 weeks of age. Five hundred white Bovans pullets were used. During initiation 250 pullets were utilized, distributed in five treatments of available P (0.30, 0.35, 0.40, 0.45, and 0.50%); the 250 remaining birds were fed a diet with the nutritional requirements suggested by the NRC (1994). During growth, 0.25, 0.30, 0.35, 0.40, and 0.45% of AP was provided to the 250 birds not included in the initiation experiment. The pullets with the P levels in initiation received a recovery diet during the growth, covering their nutritional requirements (NRC, 1994). For the development, the same procedure was used: the pullets from the growth stage were fed a recovery diet, and the 250 not used in growth were distributed in the five AP treatments (0.20, 0.25, 0.30, 0.35, and 0.40%).

The design was completely randomized with five phosphorus treatments, five replications with ten pullets each.

Water and food were supplied *ad libitum*. The diets, formulated based on sorghum-soybean meal, were the same in their nutrients except for P; as P source, dicalcium phosphate was used (20.43% P and 18% Ca). To obtain the required phosphorus amounts sand sterilized in autoclave replaced dicalcium phosphate (Table 1). Feed and feces were analyzed to determine the amount of total P and, by difference, calculate the apparent AP. The ingredients to calculate AP were analyzed as well, using the values of P availability (NRC, 1994).

The assessed variables were: feed intake and fortnightly live weight; at the end of each stage, break resistance in tibia was determined, using a universal FDV-30 model texturometer (Chatillon) Force Five brand, with a prop for breaking; the percentage of fecal P and P in tibiae were measured by means of AOAC (1980) methods, randomly selecting one pullet of every treatment and replication (25 slaughtered birds per stage). The pullets were vaccinated against Gumboro, Newcastle, infectious bronchitis, and fowl pox.

For each variable an analysis of variance was carried out by means of GLM procedure and Tukey test (SAS, 1999). The variables with repeated measurements (feed intake and live weight) were analyzed by MIXED procedure (SAS, 1999). The statistical model for break resistance, fecal P, and P in tibiae was:

Cuadro 1. Composición de las dietas basales calculadas y analizadas durante las etapas de iniciación, crecimiento y desarrollo.
Table 1. Composition of basic diets calculated and analyzed during the stages of initiation, growth, and development.

Ingredientes (%)	Iniciación					Crecimiento					Desarrollo				
	T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5
Sorgo			67.42					74.22							77.11
Pasta de soya			27.26					21.04							18.25
Aceite vegetal			1.50					1.50							1.50
Sal			0.25					0.25							0.25
Premezcla [†]			0.25					0.25							0.25
Lisina HCl			0.10					0.00							0.00
DL- Metionina			0.15					0.00							0.00
Carbonato de Ca	1.8	1.7	1.5	1.4	1.3	1.7	1.6	1.4	1.3	1.1	1.8	1.7	1.5	1.4	1.3
Arena	0.4	0.3	0.2	0.1	0.0	0.4	0.3	0.2	0.1	0.0	0.4	0.3	0.2	0.1	0.0
Fosfato dicálcico	0.8	1.0	1.3	1.5	1.8	0.6	0.7	1.1	1.3	1.6	0.4	0.6	0.9	1.1	1.4
Total			100					100					100		
Análisis calculado															
EM, Kcal kg ⁻¹			2951					3036					3068		
Proteína cruda (%)			18.0					16.0					15.0		
Calcio (%)			0.90					0.80					0.80		
Lisina dig.(%)			0.90					0.67					0.60		
Met + cist dig. (%)			0.60					0.40					0.37		
Treonina dig.(%)			0.70					0.60					0.56		
P disponible															
calculado(%)	0.32	0.34	0.40	0.46	0.51	0.25	0.30	0.36	0.42	0.45	0.22	0.28	0.31	0.36	0.41
P total															
analizado(%)	0.60	0.70	0.68	0.74	0.77	0.49	0.49	0.60	0.70	0.68	0.49	0.55	0.53	0.49	0.63

[†] Aporte por kilogramo de alimento: vit. A, 9000 UI; vit. D₃, 2500 UI; vit E, 20 UI; vit K, 3.0 mg; vit B₂, 8.0 mg; vit B₁₂, 0.015 mg; ácido pantoténico, 10 mg; niacina, 40 mg; ácido fólico, 0.5mg; colina, 300 mg; biotina, 0.055 mg; tiamina, 2.0 mg; hierro, 65.0 mg; zinc, 100 mg; manganeso, 100 mg; cobre, 9.0 mg; selenio, 0.3mg; yodo, 0.9 mg; etoiquina, 5.0 mg.

aves sacrificadas por etapa). Las aves se vacunaron contra Gumboro, Newcastle, bronquitis infecciosa y viruela aviar.

Para realizar los análisis estadísticos e interpretación y discusión de resultados, se utilizaron las cantidades de Pd obtenidas en laboratorio.

Para cada variable se hizo un análisis de varianza mediante el procedimiento GLM y una prueba de Tukey (SAS, 1999). Las variables con mediciones repetidas (consumo de alimento y peso vivo), se analizaron mediante el procedimiento MIXED (SAS, 1999). El modelo estadístico para resistencia a ruptura, P fecal y P en tibias fue:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

donde, Y_{ij} =observación j -ésima del i -ésimo tratamiento; μ =constante común a todas las observaciones; τ_i = efecto del i -ésimo nivel de fósforo en la dieta ($i = 1, 2, 3, 4, 5$); ε_{ij} = error experimental.

El modelo estadístico para peso vivo y consumo de alimento fue:

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + R_j(i) + P_k + (TP)_{ik} + \varepsilon_{ijk}$$

donde, Y_{ijk} = observación j -ésima del i -ésimo tratamiento; μ =constante común a todas las observaciones; τ_i =efecto del i -ésimo nivel de

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

where, Y_{ij} = j^{th} observation of the i^{th} treatment; μ = constant feature common to all observations; τ_i = effect of the i^{th} phosphorus level in diet ($i = 1, 2, 3, 4, 5$); ε_{ij} = experimental error.

The statistical model for live weight and feed intake was:

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + R_j(i) + P_k + (TP)_{ik} + \varepsilon_{ijk}$$

where, Y_{ijk} = j^{th} observation of the i^{th} treatment; μ = constant feature common to all observations; τ_i = effect of the i^{th} phosphorus level in diet ($i = 1, 2, 3, 4, 5$); $R_j(i)$ = effect of nested replication on the treatment ($j = 1, 2, 3, 4, 5$); P_k = effect of the k^{th} period ($k = 1, 2, 3$); $(TP)_{ik}$ = effect of interaction between the i^{th} treatment and the k - eth period; ε_{ijk} = experimental error.

The regression models used for all the variables were:

linear: $Y_{ij} = \beta_0 + \beta_1 X_{ij} + \varepsilon_{ij}$;

quadratic: $Y_{ij} = \beta_0 + \beta_1 X_{ij} + \beta_2 X_{ij}^2 + \varepsilon_{ij}$;

cubic: $Y_{ij} = \beta_0 + \beta_1 X_{ij} + \beta_2 X_{ij}^2 + \beta_3 X_{ij}^3 + \varepsilon_{ij}$;

fósforo en la dieta ($i=1, 2, 3, 4, 5$); $R_j(\cdot)$ =efecto de la repetición anidada en el tratamiento ($j=1, 2, 3, 4, 5$); P_k = efecto del k -ésimo periodo ($k=1, 2, 3$); $(TP)_{jk}$ =efecto de la interacción entre el i -ésimo tratamiento y el k -ésimo periodo; ε_{ijk} =error experimental.

Los modelos de regresión utilizados para todas las variables fueron:

lineal: $Y_{ij} = \beta_0 + \beta_1 X_{ij} + \varepsilon_{ij}$;

cuadrático: $Y_{ij} = \beta_0 + \beta_1 X_{ij} + \beta_2 X_{ij}^2 + \varepsilon_{ij}$;

cúbico: $Y_{ij} = \beta_0 + \beta_1 X_{ij} + \beta_2 X_{ij}^2 + \beta_3 X_{ij}^3 + \varepsilon_{ij}$;

donde, Y_{ij} =variable dependiente; $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ y β_3 =coeficientes de regresión; X_{ij} = niveles de fósforo en la dieta.

Se calcularon los niveles óptimos biológicos (NOB) sólo para las variables con efectos ($p \leq 0.05$) cuadráticos y cúbicos en el análisis de regresión, mediante la solución de modelos econométricos de la forma:

$$Y_i = Q(F_i), \text{ sujeto a } Ax > b;$$

donde, Y_i =la variable de respuesta en función (Q) al nivel (F_i) de fósforo, sujeto al aporte de nutrientes (A) de los ingredientes (x), para cubrir los requerimientos nutricionales (b) de la dieta, incluyendo P; la función Q representó la ecuación de regresión seleccionada. La solución se calculó con el programa Solver de Excel de Microsoft Office.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante la iniciación no hubo efecto ($p > 0.05$) del nivel de fósforo en el consumo de alimento de las pollas y el periodo fue significativo ($p \leq 0.01$); sin embargo, durante el crecimiento, el periodo y el porcentaje de P en la dieta fueron significativos ($p \leq 0.05$) para consumo de alimento y no hubo interacción entre ellos ($p > 0.05$) (Cuadro 2). En el desarrollo, el periodo tuvo un efecto significativo ($p \leq 0.01$) en el consumo y las concentraciones de P no fueron significativas ($p > 0.05$), pero la interacción periodo por tratamiento sí lo fue ($p \leq 0.01$). Entonces el consumo de alimento estuvo influenciado por ambos factores.

Para la iniciación, el consumo de alimento fue similar entre las pollas que ingirieron la dieta con 0.32% Pd y los datos mencionados (932g vs 931g ave⁻¹ etapa⁻¹) en el manual Bovans (Anónimo, 2003); esto se puede deber a que en ambos casos la línea de aves y el consumo fueron similares. Entonces, se puede disminuir el porcentaje de Pd a 0.32% en la dieta para pollitas en iniciación. Este resultado concuerda con los de De Vargas *et al.* (2003) quienes no encontraron diferencias entre tratamientos (0.30 a 0.50% de Pd) para el consumo durante la iniciación de pollitas Hy-line W36.

where, Y_{ij} = dependent variable; $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ and β_3 = regression coefficient; X_{ij} = phosphorus levels in diet.

The optimum biological levels (NOB) were calculated only for the variables which had quadratic and cubic effects ($p \leq 0.05$) on regression analysis, through the solution of econometric models such as:

$$Y_i = Q(F_i), \text{ subject to } Ax > b;$$

where, Y_i = response variable as a function (Q) of (F_i) phosphorus level, subject to the contribution of nutrients (A) of the ingredients (x), to cover the nutritional requirements (b) of the diet including P; function Q represented the selected regression equation. The solution was calculated with the Solver Microsoft Office program of Excel.

RESULTS AND DISCUSSION

During initiation there was no effect ($p > 0.05$) of the phosphorus level on feed intake of the pullets, and the period was significant ($p \leq 0.01$); during growth, however, the period and the P percentage in the diet were significant ($p \leq 0.05$) for feed intake and there was no interaction between them ($p > 0.05$) (Table 2). During development, the period had a significant effect ($p \leq 0.01$) on feed intake and P concentrations were not significant ($p > 0.05$); but the interaction period by treatment was ($p \leq 0.01$). Thus, feed intake was influenced by both factors.

For initiation the feed intake among the pullets eating the diet with 0.32% Pd was similar to the data mentioned (932g vs 931g bird⁻¹ stage⁻¹) in Bovans manual (Anonymous, 2003), this may be due to the fact that the poultry line and the consumption were similar. Then the AP percentage can be diminished to 0.32% in the diet for pullets at initiation. These results agree with those obtained by De Vargas *et al.* (2003), who did not find differences among treatments (0.30 to 0.50% of Pd) for consumption during initiation of Hy-line W36 pullets.

During growth stage, the results obtained were higher than those reported in Bovans manual (Anonymous, 2003) and by DeVargas *et al.* (2004a), which can be attributed to the different poultry line utilized; but the AP levels were similar. Regarding the data indicated in Bovans manual (Anonymous, 2003), the differences in feed intake may be due to management of the birds and environmental conditions (temperature), since the pullets are particularly susceptible to such changes (Carew and Foss, 1980; Nunes *et al.*, 2000).

During the stage of development, De Vargas *et al.* (2004b) found out a lower feed intake with 0.35% AP, which differs from the results obtained in this research and the one suggested by the NRC (1994). According to the Bovans manual (Anonymous, 2003),

Cuadro 2. Efecto del fósforo disponible (Pd) en la dieta y periodo en el consumo de alimento (g ave^{-1}) de pollas Bovans blancas durante las etapas de iniciación, crecimiento y desarrollo.**Table 2. Effect of available phosphorus (AP) in diet and period in feed intake (g bird^{-1}) of White Bovans pullets during the stages of initiation, growth, and development.**

Niveles de Pd en las dietas de iniciación						
Periodo	0.32%	0.34%	0.40%	0.46%	0.51%	$\bar{X} \pm \text{EE}$
1	185	213	191	198	219	201 c \pm 4.4
2	329	363	350	371	349	352 b \pm 7.7
3	418	422	420	439	444	427 a \pm 9.3
$\bar{X} \pm \text{EE}$	932 \pm 36	998 \pm 41	961 \pm 25	1008 \pm 29	1012 \pm 11	983 \pm 13.9
Niveles de Pd en las dietas de crecimiento						
Periodo	0.25%	0.30%	0.36%	0.42%	0.45%	$\bar{X} \pm \text{EE}$
1	640	607	613	601	656	623 c \pm 4.9
2	885 a	758 c	848 ab	833 ab	817 ab	828 b \pm 6.6
3	809 c	868 b	881 a	880 a	908 a	869 a \pm 6.9
$\bar{X} \pm \text{EE}$	2334 ab \pm 37.6	2233 c \pm 67	2342 a \pm 10.6	2314 b \pm 21.7	2381 a \pm 29.5	2321 \pm 18.6
Niveles de Pd en las dietas de desarrollo						
Periodo	0.22%	0.28%	0.31%	0.36%	0.41%	$\bar{X} \pm \text{EE}$
1	890	871	850	856	877	869c \pm 5.9
2	955c	1024 b	949 c	1000 b	1067 a	999a \pm 6.8
3	946	976	945	940	958	953b \pm 6.5
$\bar{X} \pm \text{EE}$	2791 bc \pm 22	2871 b \pm 48	2744 c \pm 30	2796b c \pm 43	2902 a \pm 40	2821 \pm 19

Periodo 1 = consumo del día 1 al 14; Periodo 2 = consumo de 15 a 28 d; Periodo 3 = consumo de 29 a 42 d.

Medias con letras distintas en hileras y columnas son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$).

\bar{X} = media; EE = error estándar.

Durante la etapa de crecimiento los resultados obtenidos fueron mayores a los reportados en el manual Bovans (Anónimo, 2003) y por De Vargas *et al.* (2004a), lo cual se puede atribuir a la distinta línea de aves usada, aunque los niveles de Pd fueron similares. Con respecto a los datos señalados en el manual Bovans (Anónimo, 2003), las diferencias entre los consumos de alimento se pueden atribuir al manejo de las aves y condiciones ambientales (temperatura), ya que las pollitas son especialmente sensibles a dichos cambios (Carew y Foss, 1980; Nunes *et al.* 2000).

Durante la etapa de desarrollo, De Vargas *et al.* (2004b) encontraron un menor consumo con 0.35% Pd, lo cual difiere de los resultados obtenidos en esta investigación y con lo sugerido por el NRC (1994). Según el manual Bovans (Anónimo, 2003) el consumo es $2677 \text{g ave}^{-1} \text{ etapa}^{-1}$, ésto es 5% menos de lo observado en la presente investigación.

Durante las tres etapas, el periodo fue significativo ($p \leq 0.01$) en el peso vivo de las pollas (Cuadro 3). Durante iniciación y crecimiento, la concentración de P en la dieta y la interacción periodo por tratamiento

intake is $2677 \text{g bird}^{-1} \text{ stage}^{-1}$ is recorded, that is, 5% less than the intake obtained in the present study.

During the three stages, the period was significant ($p \leq 0.01$) in pullet live weight (Table 3). During initiation and growth, P concentration in diet and interaction period by treatment did not change ($p > 0.05$) the pullets' weight. However, during the development there was significant interaction ($p \leq 0.01$) between period by treatment.

In the Bovans manual (Anonymous, 2003) body weights of 395g bird^{-1} are reported during initiation, which corresponded to the lowest live weight reached in the experiment with 0.32% Pd. These data that differ from those obtained by De Vargas *et al.* (2003), who found differences among treatments and a highest weight gain with 0.42% Pd ($7.8 \text{g bird}^{-1} \text{d}^{-1}$).

There were no differences among treatments ($p > 0.05$) during growth. De Vargas *et al.* (2004a) found that the highest live weight was reached with the level suggested by NRC (1994), though they were inferior to those of the present study, which may be mainly due to the difference among the utilized bird lines.

Cuadro 3. Efecto del fósforo disponible (Pd) en la dieta en el peso vivo ($\text{g}^{-1} \text{ave}^{-1} \text{periodo}^{-1}$) de pollas Bovans durante las etapas de iniciación, crecimiento y desarrollo.**Table 3. Effect of available phosphorus AP in diet and age in live weight ($\text{g}^{-1} \text{bird}^{-1} \text{period}^{-1}$) of Bovans pullets during initiation, growth, and development stages.**

Niveles de Pd en dietas de iniciación						
Periodo	0.32%	0.34%	0.40%	0.46%	0.51%	$\hat{X} \pm \text{EE}$
Peso inicial	36	35	36	35	35	35.2 d \pm 0.11
1	106	116	114	116	118	114 c \pm 1.37
2	239	260	253	260	262	255 b \pm 2.99
3	395	418	411	417	419	412 a \pm 3.54
$\hat{X} \pm \text{EE}$	194 \pm 5.3	207 \pm 11.5	203 \pm 5.9	207 \pm 4.4	208 \pm 8.1	
Niveles de Pd en dietas de crecimiento						
Periodo	0.25%	0.30%	0.36%	0.42%	0.45%	$\hat{X} \pm \text{EE}$
Peso inicial	393	395	395	393	393	394 d \pm 1.1
1	557	536	552	542	558	548.8 c \pm 3.7
2	776	783	798	797	789	788.6 b \pm 6.4
3	929	934	920	948	955	937.1 a \pm 7.4
$\hat{X} \pm \text{EE}$	664 \pm 6.9	662 \pm 6.9	666 \pm 6.9	670 \pm 6.9	674 \pm 6.9	
Niveles de Pd en dietas de desarrollo						
Periodo	0.22%	0.28%	0.31%	0.36%	0.41%	$\hat{X} \pm \text{EE}$
Peso inicial	956 a	887 b	905 ab	901 ab	891 b	908 d \pm 8.3
1	1102	1046	1075	1071	1052	1070 c \pm 7.8
2	1183	1126	1164	1155	1140	1154 b \pm 8.3
3	1316 b	1367 ab	1400 a	1405 a	1370 ab	1372 a \pm 13.9
$\hat{X} \pm \text{EE}$	1139 a \pm 15	1107 c \pm 15	1136 a \pm 15	1133 a \pm 15	1114 b \pm 15	

Periodo 1= peso vivo a los 14 d; Periodo 2= peso vivo a los 28 d; Periodo 3= peso vivo a los 42 d.

Medias con letras distintas en hileras y columnas son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$).

\hat{X} = media. EE= error estándar.

no cambiaron ($p > 0.05$) el peso de las pollas. Sin embargo, durante la etapa de desarrollo, hubo interacción significativa ($p \leq 0.01$) entre periodo por tratamiento.

En el manual Bovans (Anónimo, 2003) se reportan pesos corporales de 395 g ave^{-1} durante la iniciación, lo cual correspondió al peso vivo más bajo alcanzado en el experimento con 0.32% de Pd. Estos datos difieren de los obtenidos por De Vargas *et al.* (2003), quienes encontraron diferencias entre tratamientos y una mayor ganancia de peso con 0.42% Pd (7.8 g $\text{ave}^{-1} \text{d}^{-1}$).

Tampoco hubo diferencias ($p > 0.05$) entre tratamientos en el crecimiento. De Vargas *et al.* (2004a) encontraron que el mayor peso vivo se obtuvo con el nivel sugerido por el NRC (1994), aunque sus fueron inferiores a los del presente estudio, lo cual se puede atribuir principalmente a la diferencia entre las líneas de aves utilizadas.

Berg *et al.* (1964) no encontraron diferencias en el peso vivo de pollas White Leghorn alimentadas con dietas con 0.30% a 0.60% de P total durante el

Berg *et al.* (1964) did not find differences in live weight of White Leghorn pullets fed on diets with 0.30% to 0.60% of total P during growth. However, such studies were based on total, and not on available P, and since the mineral and P requirements have become established based on live weight gain and bone mineralization (Smith *et al.*, 2001), the results obtained by Berg *et al.* (1964) may be not correct. Furthermore, Adeola *et al.* (2005) it is important to determine the specific contribution of AP to cover the needs of the birds, as well as to minimize environmental contamination due to P excess in the diet (Adeola, *et al.* 2003).

The pullets of the present experiment consumed 16% more than that reported in the Bovans manual (Anonymous, 2003), which was reflected in the accumulated live weight (920-955 g bird^{-1}), at the end of the growth stage, whereas the referred manual 900g bird^{-1} are reported, which is 6% lower.

During the stage of development the results agree with those of NRC (1994) and those of De Vargas *et*

crecimiento. Sin embargo, tales estudios se basaron en P total y no en el disponible, pero dado que los requerimientos minerales y de P se han establecido con base en la ganancia de peso vivo y mineralización ósea (Smith *et al.*, 2001), los resultados obtenidos por Berg *et al.* (1964) pueden no ser correctos. Además, que es importante determinar el aporte específico de Pd para cubrir las necesidades de las aves, así como minimizar la contaminación ambiental debida a los excesos de P en la dieta (Adeola *et al.*, 2005).

Las pollas del presente experimento consumieron aproximadamente 16% más de lo indicado en el manual Bovans (Anónimo, 2003), lo que se reflejó en el peso vivo acumulado 920-955 g ave⁻¹ al finalizar la etapa de crecimiento, mientras que en el manual referido se indican 900 g ave⁻¹, inferior en aproximadamente 6%.

Durante la etapa de desarrollo los resultados concuerdan con los del NRC (1994) y con los de De Vargas *et al.* (2004b), quienes sugieren 0.30% de Pd en la dieta. El nivel más bajo de Pd afectó el peso vivo final durante la etapa. Con base en esta característica y en acuerdo con el NRC (1994), con 0.31% a 0.36% de Pd en la dieta se obtuvieron poco más de 1400 g ave⁻¹ en cada etapa. En el manual Bovans (2003) se señala pesos vivos de 1270 g ave⁻¹ a las 18 semanas de edad, pero en el presente experimento se obtuvieron 1316 a 1405 g ave⁻¹.

Los porcentajes de P en tibias y la resistencia a ruptura no presentaron diferencias ($p > 0.05$) debido a la concentración de P durante iniciación, crecimiento y desarrollo (Cuadro 4). Entonces, las pollas recibieron cantidades suficientes de Pd para satisfacer las demandas de crecimiento corporal y mineralización de los huesos. Sin embargo, la concentración de P en la dieta causó diferencias ($p \leq 0.05$) en el porcentaje de P excretado en heces durante las tres etapas.

El análisis de los datos del Cuadro 4 sugiere que el requerimiento de Pd para pollitas puede ser menor al indicado por el NRC (1994): Pd se puede reducir de 0.40% a 0.32% en iniciación, 0.35% a 0.25% en crecimiento y 0.30 a 0.22% en desarrollo, sin afectar el contenido de fósforo en tibias y su resistencia a ruptura. Esto concuerda con De vargas *et al.* (2003, 2004a y 2004b), quienes tampoco encontraron diferencias entre tratamientos ($p > 0.05$) para esas variables. Sin embargo, los porcentaje de PT y RRT fueron distintos en ambos experimentos, lo que se puede atribuir a las diferentes líneas de aves utilizadas, así como a la metodología y materiales.

Durante las tres etapas se observó que al incrementar el Pd en la dieta, aumentó el porcentaje de P excretado en heces, y hubo diferencias entre tratamientos ($p \leq 0.05$). Debido al impacto negativo de la excreción

al. (2004b), who suggest 0.30 % of Pd in the diet. The lowest AP level affected final live weight during the stage. Based on this characteristic, and in agreement with the NRC (1994), with 0.31 to 0.36%, AP in the diet a little more than 1400 g bird⁻¹ were obtained in each stage. In the Bovans manual (2003) live weights of 1270 g bird⁻¹ at 18 weeks of age, are recorded, but in the present research 1316 to 1405 g bird⁻¹ were obtained.

P percentages in tibiae and break resistance did not show differences ($p > 0.05$) due to P concentration during initiation, growth, and development (Table 4). Thus, the pullets received enough AP to satisfy the demands of body growth and bone mineralization. However, P concentration in the diet caused differences ($p \leq 0.05$) in the P percentage excreted in feces during the three stages.

The analysis of the data in Table 4, suggests that the AP requirement for pullets may be less than that indicated by NRC (1994): AP can be reduced from 0.40% to 0.32% in initiation, from 0.35 to 0.25% in

Cuadro 4. Efecto del fósforo disponible (Pd) en la dieta sobre el porcentaje de fósforo en tibias (PT), resistencia a ruptura de tibias (RRT) y fósforo excretado en heces (PH) en pollas Bovans durante las etapas de iniciación, crecimiento y desarrollo.

Table 4. Effect of available phosphorus (AP) in the diet on phosphorus percentage in tibiae (PT), break resistance of tibiae (RRT) and excreted phosphorus in feces (PH) in Bovans pullets during the stages of initiation, growth, and development.

Etapa de iniciación						
Pd (%)	PT (%)	EE	RRT (kg cm ⁻²)	EE	PH (%)	EE
0.32	6.83	0.19	2.8	0.26	0.17 a	0.009
0.34	6.71	0.09	3.5	0.45	0.18 a	0.007
0.40	6.69	0.13	3.0	0.38	0.18 a	0.009
0.46	6.61	0.17	2.8	0.34	0.22 b	0.005
0.51	6.99	0.24	2.6	0.20	0.23 b	0.003
Etapa de crecimiento						
0.25	6.81	0.1	3.61	0.17	0.20 a	0.004
0.30	6.93	0.3	3.87	0.50	0.25 b	0.004
0.36	7.99	0.34	4.19	0.64	0.25 b	0.015
0.42	7.95	0.43	3.84	0.27	0.29 bc	0.005
0.45	7.97	0.25	3.53	0.36	0.32 c	0.016
Etapa de desarrollo						
0.22	6.95	0.13	4.49	0.35	0.22 ab	0.009
0.28	7.01	0.10	4.77	0.67	0.19 a	0.006
0.31	6.83	0.15	4.51	0.60	0.26 bc	0.009
0.36	7.00	0.02	4.99	0.64	0.30 c	0.009
0.41	6.81	0.10	3.92	0.34	0.31 c	0.003

EE = error estándar.

Valores con letra distinta son diferentes ($p \leq 0.05$).

excesiva de P al ambiente es importante minimizarla; además, se pueden obtener mayores beneficios económicos (Pérez *et al.*, 2002; Godoy y Chicco, 2005). En la Figura 1 se muestran las ecuaciones y las gráficas de los modelos que mejor predijeron el consumo de alimento y excreción de P en heces, los cuales presentaron una respuesta ($p \leq 0.01$) cuadrática y cúbica. No se calcularon los NOB para las variables con efectos lineales porque esos NOB están en la parte inferior o superior de la recta. El de Pd que minimizó las variables (NOB) fue: para consumo mínimo de alimento crecimiento ($\text{g}^{-1} \text{ave}^{-1} \text{periodo}^{-1}$) 0.34% Pd; para consumo mínimo de alimento en desarrollo 0.20% Pd; para excreción mínima de P en heces en desarrollo 0.25% Pd. Los NOB calculados serían válidos para sistemas de producción con condiciones similares a los de esta investigación.

CONCLUSIONES

Durante la etapa de iniciación, el nivel de Pd se puede reducir de 0.40% a 0.32% sin afectar las variables estudiadas; 0.32% es el NOB en iniciación en esta investigación. En crecimiento, el NOB para menor consumo de alimento es 0.34% Pd, y para el menor P excretado en heces el NOB es 0.25% de Pd. Durante el desarrollo, el NOB para menor consumo de alimento es 0.20%, mientras que para el menor excreción de P en heces es 0.25% de Pd. El peso vivo, resistencia a ruptura y P en tibias no presentaron diferencias ($p > 0.05$) atribuibles a los niveles de Pd probados durante las tres etapas. Los requerimientos de Pd fueron inferiores a los sugeridos por el NRC (1994) en iniciación, crecimiento y desarrollo.

LITERATURA CITADA

Adeola, O., N. R. Dilger, M. E. Onyango, y A. J. Jendza. 2005. Utilización del fósforo en aves y ganado porcino. *In*: XXI Curso de Especialización. FEDNA. Madrid, España. 343: 365.

Anónimo. 2003. Manual Bovans White. Pie de cría para ponedoras de alto rendimiento. Incubadora Mexicana. Centurion Poultry Inc. 27 p.

AOAC. (Association of Official Analytical Chemists). 1980. Official Methods of Analysis. Association of Analytical Chemists. Washington, D.C. U.S.A.

Austic, R. E. 2000. Desórdenes metabólicos de las aves en operaciones intensivas. *Tecnología Avícola en Latinoamérica*. Año 13. 149: 20-24.

Barkley, G. R., H. M. Miller, and J. M. Forbes. 2004. The ability of laying hens to regulate phosphorus intake when offered two feed containing different levels of phosphorus. *Br. J. Nutr.* 92: 233-240.

Berg, L. R., G. E. Bearse, and L. H. Merrill. 1964. The calcium and phosphorus requirement of White Leghorn pullets from 8-21 weeks. *Poultry Sci.* 43: 885-896.

Bolden, S., and L. Jensen. 1985. Effect of dietary calcium level and ingredient composition on plasma calcium and shell quality in laying hens. *Poultry Sci.* 64: 1499.

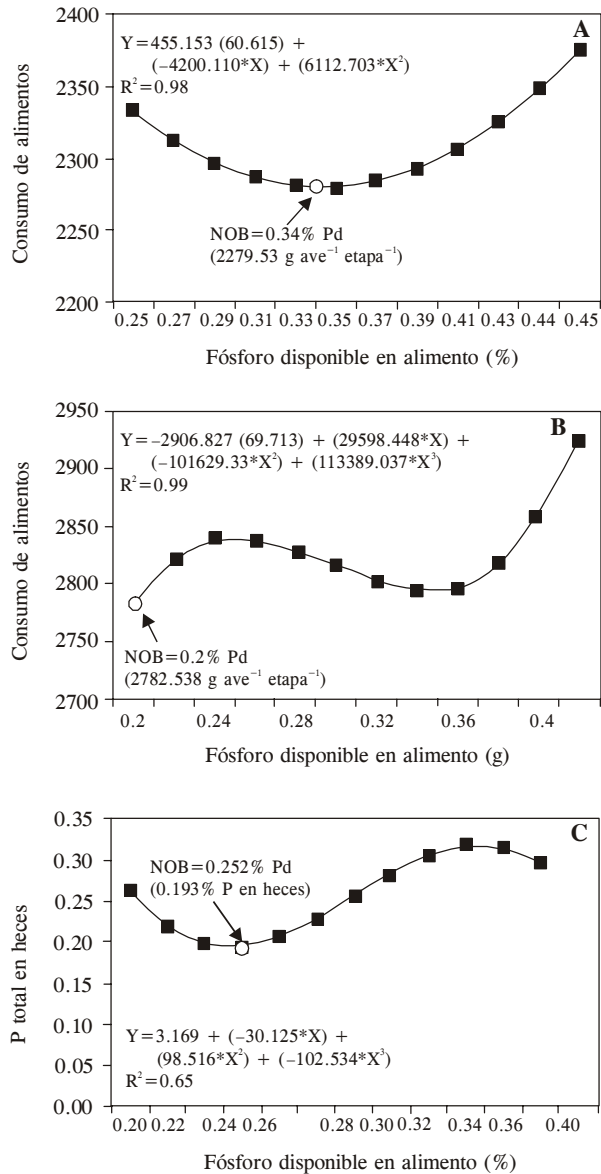


Figura 1. A) consumo de alimento en la etapa de crecimiento ($\text{g}^{-1} \text{ave}^{-1} \text{periodo}^{-1}$); B) consumo de alimento en la etapa de desarrollo ($\text{g}^{-1} \text{ave}^{-1} \text{periodo}^{-1}$); C) porcentaje de P excretado en heces (% P total en heces). X = efecto lineal del nivel de Pd en la dieta; X^2 = efecto cuadrático del nivel de Pd en la dieta; X^3 = efecto cúbico del nivel de Pd en la dieta. R^2 = coeficiente de determinación.

Figure 1. A) feed intake at growth stage ($\text{g}^{-1} \text{bird}^{-1} \text{period}^{-1}$); B) feed intake at development stage ($\text{g}^{-1} \text{bird}^{-1} \text{period}^{-1}$); C) excreted P percentage in feces (% total P in feces). X = linear effect of AP level in diet; X^2 = square effect of AP level in diet; X^3 = cubic effect of AP level in diet. R^2 = determination coefficient.

growth, and 0.30 to 0.22% in development, without affecting phosphorus content in tibiae and their break resistance. This agrees with De Vargas *et al.* (2003, 2004a, and 2004b), who did not find differences among treatments either ($p > 0.05$) for these variables.

- Carew, L. B., and D. C. Foss. 1980. Dietary phosphorus levels during growth of brown egg type replacement pullets. *Poultry Sci.* 59: 812-818.
- Casartelli, E. M., O. M. Junqueira, A. C. Laurentiz, R. S. Filardi, J. Lucas-Júnior, and L. F. Araujo. 2005. Effect of phytase in laying hen diets with different phosphorus sources. *Rev. Bras. Cienc. Avic.* 7 (2): .
- De Vargas, J. G., A. J. F. Teixeira, S. H. Rostango, C. P. Gómes, S. E. Cupertino, C. C. Oliveira, and H. A. Do Nascimento. 2003. Nutritional levels of calcium and available phosphorus for white egg pullets and brown egg pullets from 0 to 6 weeks of age. *Rev. Bras. Zootec.* 32(6): 1919-1926.
- De Vargas, J. G., A. J. F. Teixeira, S. H. Rostango, C. P. Gómes, S. E. Cupertino, C. C. Oliveira, A. M. Da Silva, and R. Pinto. 2004a. Nutritional levels of calcium and available phosphorus for white egg pullets and brown egg pullets from 7 to 12 weeks of age. *Rev. Bras. Zootec.* 33(4): 936-946.
- De Vargas, J. G., A. J. F. Teixeira, S. H. Rostango, C. P. Gómes, S. E. Cupertino, C. C. Oliveira, T. R. Santana, and R. Pinto. 2004b. Nutritional levels of calcium and available phosphorus for white egg pullets and brown egg pullets from 13 to 20 weeks of age. *Rev. Bras. Zootec.* 33 (5): 1263-1273.
- Godoy, S., y F. Chicco. 2005. Mineralización y cinética del fósforo en el tejido óseo de pollos alimentados con fosfatos no defluorinados. *INIC.* 30 (9): 113-122.
- Keshavarz K., y R. E. Austic. 2004. The use of low-protein, low-phosphorus, amino acid and phytase supplemented diets on laying hen performance and nitrogen and phosphorus excretion. *Poultry Sci.* 83: 75-83.
- NRC (National Research Council). 1994. *Nutrient Requirements of Poultry*. 9th. Edition. National Academy Press. Washington, D. C. 155 p.
- Nunes, R. V., A. H. Nascimento, L. F. T. Albino, e H. S. Rostagno. 2000. Resultados de pesquisa em nutrição de aves no Brasil dos últimos 5 anos. *Rev. Bras. Cienc. Avic.* 2 (2): .
- Pérez, J. M., G. Bories, A. Aumaitre, B. Barrier-Guillot, A. Delaveau, L. Gueguen, M. Larbier, et D. Sauvant. 2002. Conséquences en élevage et pour le consommateur du remplacement des farines et des graisses animales. *INRA. Prod. Anim.* 15: 87-96.
- SAS. Statistical Analysis System. 1999. *The SAS system for Windows Release 8.0*. U.S.A. 558 p.
- Smith, M., G. Madrazo, C. Guevara, y O. Martín. 2001. Niveles de vitamina D₃, calcio y fósforo disponible en dietas para aves reproductoras ligeras white Leghorn. *Rev. Cub. Cienc. Avic.* 25: 113-118.
- Whitehead, C. C. 1995. Influencia de la nutrición sobre el metabolismo macromineral: desarrollo del hueso y calidad de la cáscara. *In: XI Curso de Especialización. FEDNA. Barcelona, España.* 1:18.

However, the percentages of PT and RRT were different in both experiments, which may be attributed to the fact that the utilized poultry lines were different as well as the methodology and the materials.

During the three stages it was observed that with the AP increment in the diet, P percentage in excreted feces increased, and there were differences ($p \leq 0.05$) among treatments. Because of the negative impact of excessive P excretion on the environment, it is important to minimize this effect, which –besides– would be of economic benefit (Pérez *et al.*, 2002; Godoy and Chicco, 2005). In Figure 1 are shown the equations and graphs of the models that best predicted feed intake and P excretion in feces, which presented a quadratic and cubic response ($p \leq 0.01$). For variables with linear effects NOB were not calculated since those NOB are in the lower or upper part of the straight line. The NOB of AP that minimized the variables was: for minimum feed intake at growth stage ($\text{g}^{-1} \text{bird}^{-1} \text{period}^{-1}$) 0.34% AP; for minimum feed intake at development 0.20% AP; for minimum P excretion in feces (AP) at development: 0.25% AP. The calculated NOB would be valid for production systems with conditions similar to those of this research.

CONCLUSIONS

During initiation stage, the AP level may be reduced from 0.40% to 0.32% without affecting the studied variables; 0.32% AP is the NOB at initiation in this research. At growth, NOB for the lowest feed intake is 0.34% AP, and to obtain the least excreted P in feces NOB is 0.25% of AP. During the development, NOB for the lowest feed intake is 0.20%, while for the lowest P excretion in feces it is 0.25% AP. Live weight, break resistance, and P in tibiae did not show differences ($p > 0.05$) attributable to the AP levels assessed during the three stages. AP requirements were lower than those suggested by NRC (1994) at initiation, growth, and development.