

NIVELES ÓPTIMOS BIOLÓGICO Y ECONÓMICO DE COBRE DIETÉTICO EN POLLOS DE ENGORDA

BIOLOGICAL AND ECONOMIC OPTIMUM LEVELS OF DIETARY COPPER IN BROILERS

Ernesto Miñón-Huesca¹, Mariano J. González-Alcorta¹, Maximino Huerta-Bravo¹, Gustavo Crespo-López¹, Silvia Carrillo-Domínguez², Rosa M. Castillo-Domínguez², Juan M. Cuca-García³ y J. Eduardo Morales-Barrera⁴

¹Producción Animal. Universidad Autónoma Chapingo. 56230 Chapingo, Estado de México. (emhuesca@yahoo.com.mx) (marianoj@avantel.net) (maxbravo@avantel.net)

(crespolg@hotmail.com). ²Departamento de Nutrición Animal. Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán. Vasco de Quiroga Núm. 15. 14000. Del. Tlalpan. México, D.F.

³Ganadería. Campus Montecillo. Colegio de Posgraduados. 56230. Montecillo, Estado de México.

⁴UAM-Xochimilco. Calzada del Hueso 1100. Col. Villa Quietud. Delegación Coyoacán. 04960. México, D.F.

RESUMEN

El cobre (Cu) se utiliza como promotor de crecimiento en pollos de engorda, sin embargo se desconoce el nivel óptimo de suplemento para mejorar el comportamiento productivo. En este estudio se evaluó el efecto de ocho niveles (0, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350 mg kg⁻¹) de Cu sobre el comportamiento productivo de pollos de engorda sexados, con el propósito de calcular el nivel óptimo biológico de Cu que maximice ganancia de peso (NOBGP), el que minimice conversión alimenticia (NOBCA) y el nivel óptimo económico que maximice utilidades (NOEMU). Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial 8×2. Las medias de los efectos principales se compararon con la prueba de Tukey. Se probaron con contrastes ortogonales efectos lineales, cuadráticos o cúbicos de los niveles de Cu sobre el comportamiento productivo. Se utilizaron modelos econométricos para calcular el NOBGP, el NOBCA y el NOEMU. Los niveles de Cu no afectaron el comportamiento productivo de los pollos de 1 a 21 d de edad. El sexo afectó ($p \leq 0.05$) el consumo de alimento, la ganancia de peso y el peso vivo. En la fase de 22 a 42 d se observaron diferencias ($p \leq 0.05$) en consumo de alimento (CON), ganancia de peso (GP), conversión alimenticia (CA) y peso vivo (PV) debido a los niveles de Cu. El sexo no tuvo efecto. Se detectaron tendencias cuadráticas ($p \leq 0.05$) para GP, CA y PV, y cúbicas ($p \leq 0.05$) para CON y PV. Los valores para NOBGP, NOBCA y NOEMU fueron 122.99, 163.36 y 127.17 mg kg⁻¹. El NOEMU fue sensible a los cambios de precio del pollo de engorda.

Palabras clave: Cobre dietético, máxima ganancia, máxima utilidad, mínima conversión, pollo.

INTRODUCCIÓN

El cobre (Cu) se utiliza comercialmente en dietas para pollos de engorda como promotor de crecimiento (Bakalli *et al.*, 1995); la ganancia de peso

ABSTRACT

Copper (Cu) is used to promote growth in broilers. However, the optimum supplement level for improving productive performance is unknown. In the present study, an evaluation was made of the effect of eight levels (0, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350 mg kg⁻¹) of Cu on the productive performance of sexed broilers, for the purpose of calculating the biological optimum level of Cu that maximizes weight gain (BOLWG), minimizes feed conversion (BOLFC), and the economic optimum level that maximizes profits (EOLMP). A completely randomized design was used with an 8×2 factorial arrangement. The means of the principal effects were compared with the Tukey test. Orthogonal contrasts were used to test linear, quadratic or cubic effects of the levels of Cu on productive performance. Econometric models were used to calculate the BOLWG, the BOLFC and the EOLMP. The levels of Cu did not affect the productive performance of the broilers of 1 to 21 d of age. The sex affected ($p \leq 0.05$) feed consumption, weight gain and live weight. In the stage of 22 to 42 d, differences ($p \leq 0.05$) were observed in feed consumption (CON), weight gain (WG), feed conversion (FC) and live weight (LW), due to the levels of Cu. The sex had no effect. Quadratic trends ($p \leq 0.05$) were detected for WG, FC and LW, and cubic ($p \leq 0.05$) for CON and LW. The values for BOLWG, BOLFC and EOLMP were 122.99, 163.36 and 127.17 mg kg⁻¹. The EOLMP was sensitive to the price changes of broilers.

Key words: Dietary copper, maximum gain, maximum profit, minimum conversion, chicken.

INTRODUCTION

Copper (Cu) is used commercially in diets for broilers to promote growth (Bakalli *et al.*, 1995); weight gain increases by as much as 4.9% with 125 mg kg⁻¹ (Pesti and Balkalli, 1996). Levels of Cu over 8 mg kg⁻¹ increases weight gain, and feed conversion is reduced 7.6% with 63 mg kg⁻¹ (Ewing *et al.*, 1998). The mechanisms by which Cu stimulates

Recibido: Febrero, 2005. Aprobado: Octubre, 2005.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 40: 163-170. 2006.

aumenta hasta 4.9% con 125 mg kg⁻¹ (Pesti y Bakalli, 1996). Niveles de Cu mayores a 8 mg kg⁻¹ (NRC, 1994) incrementan la ganancia de peso, y la conversión alimenticia disminuye 7.6% con 63 mg kg⁻¹ (Ewing *et al.*, 1998). Los mecanismos por los que el Cu estimula el crecimiento aún no son claros; las hipótesis propuestas incluyen una modificación de la población microbiana debida a la liberación de Cu en el tubo gastrointestinal, el aumento en la actividad mitogénica del suero, el incremento de la secreción de hormona de crecimiento o de la secreción de neuropéptidos (INRA, 2001). Sin embargo, aún no se conoce con precisión el nivel óptimo de Cu para obtener el mejor comportamiento productivo o disminuir el colesterol de la carne de pollo, sin que su uso represente un peligro para la salud humana. El nivel máximo de ingestión de Cu sin efectos adversos en el hígado de los humanos es 10 a 12 mg d⁻¹ (WHO, 1996). Se ha detectado toxicidad por Cu sólo con niveles superiores a 30 mg d⁻¹ (O'Donohue *et al.*, 1993). Según INRA (2001), los niveles de Cu utilizados en pollos de engorda en el mundo fluctúan entre 100 y 605 mg kg⁻¹, con resultados contradictorios. Respecto a la salud de las aves, niveles superiores a 250 mg Cu kg⁻¹ podrían causar erosión de la molleja (Chiou *et al.*, 1999). Por tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar los efectos de ocho niveles de Cu y del sexo de pollos de engorda en el comportamiento productivo, así como calcular el nivel óptimo biológico de Cu que maximice la ganancia de peso (NOBG), o que minimice la conversión alimenticia (NOBCA), y el nivel óptimo económico de Cu que maximice las utilidades (NOEMU).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron 480 pollos sexados Ross 308, de un día de edad, repartidos en 16 tratamientos con tres repeticiones cada uno. Cada unidad experimental tuvo 10 aves, machos o hembras, distribuidas al azar en jaulas tipo batería. Se utilizó la línea Ross 308 porque tiene la mayor distribución en México y es una de la más precoces (Aviagen, 2003). El agua y el alimento se proporcionaron a libre acceso durante las seis semanas del ensayo. Las dietas (Cuadro 1), a base de sorgo y pasta de soya, se calcularon con los requerimientos reportados por el NRC (1994).

Los tratamientos fueron combinaciones de ocho niveles de Cu (0, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350 mg kg⁻¹) y del sexo de las aves (machos y hembras). La fuente de Cu fue sulfato de Cu pentahidratado (Cu₂SO₄). Se registró consumo de alimento (CON) y peso vivo (PV) por semana y acumulados, para calcular ganancia de peso (GP) y conversión alimenticia (CA).

El diseño fue completamente al azar, con arreglo factorial 8×2 con tres repeticiones. El modelo estadístico fue:

$$Y_{ijk} = \mu + S_i + N_j + S_i \times N_j + E_{ijk} \quad (1)$$

growth are not yet clear; the proposed hypotheses include a modification of the microbial population due to the release of Cu in the gastrointestinal tract, the increase in the mitogenic activity of the serum, the increase in the secretion of growth hormone or in the secretion of neuropeptides (INRA, 2001). However, the optimum level of Cu is still unknown for obtaining the best productive performance or reducing the cholesterol level of chicken meat, without its use representing a danger for human health. The maximum level of Cu ingestion without adverse effects in the human liver is 10 to 12 mg d⁻¹ (WHO, 1996). Toxicity due to Cu has only been detected with levels higher than 30 mg d⁻¹ (O'Donohue *et al.*, 1993). According to INRA (2001), the Cu levels used in broilers in the world fluctuate between 100 and 605 mg kg⁻¹, with contradictory results. With respect to the health of the chickens, levels of over 250 mg Cu kg⁻¹ could cause erosion in the gizzard (Chiou *et al.*, 1999). Therefore, the objective of the present study was to evaluate the effects of eight levels of Cu and of the sex of broilers on productive performance, and to calculate the biological optimum level of Cu that maximizes weight gain (BOLWG) and minimizes feed conversion (BOLFC), and the economic optimum level of Cu that maximizes profits (EOLMP).

MATERIALS AND METHODS

In this study, 480 Ross 308 sexed broilers were used, of one day of age, distributed among 16 treatments with three replicates each. Each experimental unit had 10 chickens, males or females, randomly distributed in battery type cages. The Ross 308 line was used because it is the most widely distributed in México and one of the most precocious (Aviagen, 2003). Water and feed were freely provided during the six weeks of the test. The diets (Table 1), based on sorghum and soybean paste, were calculated from the requirements reported by the NRC (1994).

The treatments were combinations of eight levels of Cu (0, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350 mg kg⁻¹) and of the sex of the chickens (males and females). The source of Cu was cupric sulfate pentahydrate (Cu₂SO₄). Feed intake (CON) and live weight (LW) per week and accumulated were registered, to calculate weight gain (WG) and feed conversion (FC).

The design was completely randomized, with an 8×2 factorial arrangement with three replicates. The statistical model was:

$$Y_{ijk} = \mu + S_i + N_j + S_i \times N_j + E_{ijk} \quad (1)$$

where Y_{ijk} = value of the response variable; μ = general mean; S_i = effect of the i -th sex; N_j = effect of the j -th level of Cu; $S_i \times N_j$ = interaction between the i -th sex and the j -th level of Cu; E_{ijk} = experimental error. The means for the principal effects (level and sex) were compared with the Tukey test ($p \leq 0.05$). The statistical analysis was carried out with PROC GLM (SAS, 2001).

donde Y_{ijk} = valor de la variable respuesta; μ = media general; S_i = efecto del i -ésimo sexo; N_j = efecto del j -ésimo nivel de Cu; $S_i \times N_j$ = interacción entre el i -ésimo sexo y el j -ésimo nivel de Cu; E_{ijk} = error experimental. Las medias para los efectos principales (nivel y sexo) se compararon con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). El análisis estadístico se realizó con PROC GLM (SAS, 1999).

Para calcular NOBG, NOBCA y NOEMU se determinaron las tendencias lineales (CuL), cuadráticas (CuQ) o cúbicas (CuC) de GP y CA como respuesta a los niveles de Cu, mediante contrastes ortogonales. Los modelos de regresión fueron:

$$Y_{ijkl} = \beta_0 + \beta_1 X_i + \beta_2 X_j + \beta_3 X_k + E_{ijkl} \quad (2)$$

$$Y_{ijkl} = \beta_0 + \beta_1 X_i + \beta_2 X_j + \beta_3 X_k + \beta_4 X_k^2 + E_{ijkl} \quad (3)$$

$$Y_{ijkl} = \beta_0 + \beta_1 X_i + \beta_2 X_j + \beta_3 X_k + \beta_4 X_k^2 + \beta_5 X_k^3 + E_{ijkl} \quad (4)$$

donde Y_{ijkl} = variable dependiente; β_0 a β_5 = coeficientes estimados; X_i = día, X_j = sexo de las aves; X_k = nivel de Cu; E_{ijkl} = error aleatorio. Los parámetros de los modelos de regresión fueron estimados con PROC GLM (SAS, 1999). La selección de los modelos de regresión (2), (3) ó (4) se realizó con base en dos criterios: 1) significancia de las tendencias CuL, CuQ o CuC; 2) significancia de la prueba de t del análisis de regresión. Las ecuaciones de los modelos de regresión que estimaron ganancia de peso ($GP=f(\text{Cu, sexo})$) para calcular el NOBG, conversión alimenticia ($CA=f(\text{Cu, sexo})$) para calcular el NOBCA, y ganancia de peso y consumo de alimento ($CON=f(\text{Cu, sexo})$) para calcular el NOEMU, se integraron a modelos econométricos.

El modelo econométrico usado para maximizar la GP fue:

$$\text{Maximizar } GP=f(\text{Cu, sexo}) \quad (5)$$

sujeto a

$$AX - \varphi \text{Cu} \geq Z$$

Con la condición $X \geq 0$

El modelo econométrico usado para minimizar la CA fue:

$$\text{Minimizar } CA=f(\text{Cu, sexo}) \quad (6)$$

sujeto a

$$AX - \varphi \text{Cu} \geq Z$$

Con la condición $X \geq 0$

donde A es la matriz de aporte de nutrimentos (energía, proteína, metionina, lisina, calcio y fósforo) de los ingredientes en la dieta de finalización (22 a 42 d); X es el vector de ingredientes usados en la dieta; φ es el coeficiente del aporte total de Cu de la dieta; Cu es el nivel de cobre de la dieta; Z es el requerimiento de nutrimentos diferentes al Cu en la fase de finalización.

El modelo econométrico utilizado para maximizar la utilidad fue:

$$\text{Maximizar } U = \text{Ingreso} - \text{Egreso} \quad (7)$$

sujeto a

Cuadro 1. Composición de las dietas base para las fases de iniciación y finalización.

Table 1. Composition of the basal diets for the stages of initiation and finalization.

Ingredientes	Iniciación [†] (%)	Finalización [‡] (%)
Sorgo	54.04	56.49
Pasta de soya	36.91	34.15
Aceite de soya	4.59	5.51
DL-Metionina	0.25	0.09
Carbonato de calcio	1.35	1.41
Fosfato dicálcico	1.61	1.10
Premezcla de vitaminas [§]	0.10	0.10
Premezcla mineral [¶]	0.05	0.05
Pigmento	0.40	0.40
Sal	0.40	0.40
Cloruro de colina (70 %)	0.04	0.04
Arena [□]	0.27	0.27
Total	100	100

Análisis calculado

Energía metabolizable (MCal kg ⁻¹)	3.0	3.1
Proteína (%)	21.0	20.0
Metionina (%)	0.56	0.40
Lisina (%)	1.11	1.04
Calcio (%)	1.00	0.90
Fósforo disponible (%)	0.45	0.35
Cobre (mg kg ⁻¹)	14.01	13.61

[†] De 1 a 21 d.

[‡] De 22 a 42 d.

[§] Premezcla de vitaminas: 3000 UI Vit. A, 3000 UI Vit. D₃, 30 UI Vit. E, 2 mg kg⁻¹ Vit. K, 1.8 mg kg⁻¹ tiamina, 0.11 mg kg⁻¹ Vit. B₁₂, 3.6 mg kg⁻¹ riboflavina, 0.55 mg kg⁻¹ ácido fólico, 0.15 mg kg⁻¹ biotina, 10 mg kg⁻¹ pantotenato de Ca, 35 mg kg⁻¹ niacina. No se adicionó antibióticos.

[¶] La premezcla de minerales no contuvo Cu: 600 mg kg⁻¹ Mg, 0.3% K, 0.35 mg kg⁻¹ I, 80 mg kg⁻¹ Fe, 60 mg kg⁻¹ Mn, 0.15 mg kg⁻¹ Se, 40 mg kg⁻¹ Zn.

[□] Los niveles de Cu sustituyeron a la arena en la dieta.

To calculate BOLWG, BOLFC and EOLMP, the linear (CuL), quadratic (CuQ) or cubic (CuC) trends of WG and FC were determined as a response to the levels of Cu, through orthogonal contrasts. The regression models were:

$$Y_{ijkl} = \beta_0 + \beta_1 X_i + \beta_2 X_j + \beta_3 X_k + E_{ijkl} \quad (2)$$

$$Y_{ijkl} = \beta_0 + \beta_1 X_i + \beta_2 X_j + \beta_3 X_k + \beta_4 X_k^2 + E_{ijkl} \quad (3)$$

$$Y_{ijkl} = \beta_0 + \beta_1 X_i + \beta_2 X_j + \beta_3 X_k + \beta_4 X_k^2 + \beta_5 X_k^3 + E_{ijkl} \quad (4)$$

where Y_{ijkl} = dependent variable; β_0 to β_5 = estimated coefficients; X_i = day, X_j = sex of the chickens; X_k = level of Cu; E_{ijkl} = random error. The parameters of the regression models were estimated with PROC GLM (SAS, 2001). The selection of the regression models (2), (3), or (4) was made based on two criteria: 1) significance of the tendencies CuL, CuQ, or CuC; 2) significance of the t test of the regression analysis. The equations of the regression models that estimated weight gain ($WG=f(\text{Cu, sex})$) for calculating the BOLWG, feed conversion

$$AX - \varphi Cu \geq Z$$

Con la condición $X \geq 0$

donde U es la utilidad bruta en pesos por pollo, calculada como la diferencia entre ingresos por venta de pollo (precio del pollo en pie * ganancia de peso) y egresos por costos de alimentación (costo por kg de alimento * consumo de alimento). La ganancia de peso se expresó como $GP = f(Cu, \text{sex})$; y el consumo de alimento, como $CON = f(Cu, \text{sex})$. El resto del modelo es similar a los modelos (5) y (6).

Los NOBGP, NOBCA y NOEMU se calcularon con el optimizador de Excel (Young y Halverson, 2003). Además, se hizo un análisis de sensibilidad para evaluar cómo se afectan el NOEMU y las utilidades, debido a los cambios de precio del pollo, con incrementos y decrementos de 20 ó 40%, partiendo de un precio base.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El comportamiento productivo de 1 a 21 d no se afectó por los niveles de Cu, pero el sexo influyó ($p \leq 0.05$) sobre el CON, GP y el PV. Las hembras consumieron menos alimento y, por tanto, su GP y PV fue menor que el de los machos (Cuadro 2). No se detectó interacción entre los niveles de Cu y el sexo de los pollos. El bajo CON pudo alterar el comportamiento productivo de los pollos dificultando encontrar diferencias atribuibles a los niveles de Cu en este periodo. Los resultados del presente estudio concuerdan parcialmente con los de Miles *et al.* (1998), quienes proporcionaron 0, 150, 300 ó 450 mg Cu kg^{-1} y no encontraron diferencias en CON y GP hasta 300 mg kg^{-1} de Cu; sin embargo, con 450 mg Cu kg^{-1} el CON disminuyó y con ello la GP. Ewing *et al.* (1998) reportaron que el PV y la CA de pollos de engorda a los 21 d de edad no se afectaron al agregar 125 mg Cu kg^{-1} a las dietas. La respuesta productiva de pollos de engorda no ha cambiado con 0, 100, 200 ó 300 mg kg^{-1} de Cu (Cachoni y Bertechini, 1998), ni con 63 ó 180 mg kg^{-1} de Cu (Konjufca *et al.*, 1997). Por tanto, no sería necesario un suplemento de Cu en esta fase, ya que los ingredientes de la dieta rebasan el requisito mínimo de 8 mg kg^{-1} (NRC, 1994).

Respecto a la fase de 22 a 42 d, se encontraron diferencias ($p \leq 0.05$) atribuibles a los niveles de Cu en CON, GP, CA y PV (Cuadro 3). Para dicha fase el análisis de contrastes detectó ($p \leq 0.05$) tendencias cuadráticas o cúbicas en todas las variables, como respuesta a los niveles de Cu. El sexo no influyó en el comportamiento productivo e igual que en la primera fase, no hubo interacción entre niveles de Cu y el sexo de los pollos. Ewing *et al.* (1998) reportaron que la GP de pollos de engorda a los 42 d de edad aumentó 9% y la CA disminuyó, al proporcionar 63 y 125 mg Cu kg^{-1} ($p \leq 0.05$). La GP y la CA mejoraron al incluir en la dieta 75 ó 150 mg Cu kg^{-1} (Hoda y Maha, 1995). Pesti y Bakalli (1996)

($FC = f(Cu, \text{sex})$) for calculating the BOLFC, and weight gain and feed intake ($CON = f(Cu, \text{sex})$) for calculating the EOLMP, were integrated to econometric models.

The econometric model used to maximize the WG was:

$$\text{Maximize } WG = f(Cu, \text{sex}) \quad (5)$$

subject to

$$AX - \varphi Cu \geq Z$$

With the condition $X \geq 0$

The econometric model used to minimize the FC was:

$$\text{Minimize } FC = f(Cu, \text{sex}) \quad (6)$$

subject to

$$AX - \varphi Cu \geq Z$$

With the condition $X \geq 0$

where A is the nutrient contribution matrix (energy, protein, methionine, lysine, calcium and phosphorus) of the ingredients in the diet of finalization (22 to 42 d); X is the vector of ingredients used in the diet; φ is the coefficient of total contribution of Cu in the diet; Cu is the level of copper in the diet; Z is the nutrient requirement other than Cu in the finalization stage.

The econometric model used to maximize profit was:

$$\text{Maximize } P = \text{Income} - \text{Expenses} \quad (7)$$

subject to

$$AX - \varphi Cu \geq Z$$

With the condition $X \geq 0$

where P is the gross profit in pesos per chicken, calculated as the difference between income per sale of chicken (price of live chicken * weight gain) and expenses of feeding costs (cost per kg of feed * feed consumption). The weight gain was expressed as $WG = f(Cu, \text{sex})$; and the feed consumption, as $CON = f(Cu, \text{sex})$. The rest of the model is similar to models (5) and (6).

The BOLWG, BOLFC and EOLMP were calculated with the optimizer program of Excel (Microsoft Excel, 2003). In addition, a sensitivity analysis was made to evaluate the effect on the EOLMP and the profits, due to the price changes of chicken, with increases and decreases of 20 to 40%, starting from a base price.

RESULTS AND DISCUSSION

The productive performance of 1 to 21 d was not affected by the levels of Cu, but the sex had an influence ($p \leq 0.05$) on the CON, WG and LW. The females consumed less feed and therefore, their WG and LW were lower than that of the males (Table 2). No interaction was detected between the levels of Cu and the sex of the broilers. The low CON could have altered the productive

Cuadro 2. Comportamiento productivo de pollos de engorda desde 1 a 21 d de edad.**Table 2. Productive performance of broilers from 1 to 21 d of age.**

Cobre (mg kg ⁻¹) [†]	Consumo de alimento (kg)	EE	Ganancia de peso (kg)	EE	Conversión alimenticia	EE	Peso vivo (kg)	EE
0	0.793	0.013	0.574	0.014	1.383	0.015	0.620	0.014
50	0.745	0.021	0.542	0.013	1.372	0.014	0.589	0.013
100	0.792	0.017	0.566	0.025	1.407	0.049	0.613	0.026
150	0.774	0.010	0.571	0.029	1.368	0.050	0.617	0.029
200	0.776	0.021	0.563	0.011	1.379	0.034	0.610	0.011
250	0.768	0.011	0.527	0.027	1.473	0.068	0.575	0.027
300	0.791	0.015	0.567	0.022	1.406	0.065	0.614	0.023
350	0.767	0.010	0.561	0.010	1.368	0.020	0.608	0.010
Sexo								
Machos	0.791a	0.008	0.574a	0.009	1.383	0.020	0.621a	0.009
Hembras	0.761b	0.006	0.544b	0.010	1.406	0.022	0.591b	0.010
Interacción	NS		NS		NS		NS	
Tendencias	NS		NS		NS		NS	

[†] Valores con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

NS: No significativo.

EE: Error estándar.

Cuadro 3. Comportamiento productivo de pollos de engorda desde 22 a 42 d de edad.**Table 3. Productive performance of broilers from 22 to 42 d of age.**

Cobre (mg kg ⁻¹) [†]	Consumo de alimento (kg)	EE	Ganancia de peso (kg)	EE	Conversión alimenticia	EE	Peso vivo (kg)	EE
0	2.505 b	0.048	1.312 c	0.069	1.935 a	0.102	1.933 c	0.065
50	2.570 ab	0.069	1.557 abc	0.068	1.658 ab	0.044	2.146 abc	0.069
100	2.899 a	0.112	1.607 a	0.087	1.842 ab	0.165	2.221 ab	0.090
150	2.606 ab	0.074	1.539 abc	0.041	1.694 ab	0.040	2.156 abc	0.051
200	2.624 ab	0.106	1.718 a	0.056	1.527 b	0.036	2.328 a	0.059
250	2.616 ab	0.064	1.462 bc	0.028	1.789 ab	0.035	2.037 bc	0.032
300	2.568 ab	0.044	1.426 bc	0.039	1.804 ab	0.033	2.040 bc	0.032
350	2.683 ab	0.118	1.476 abc	0.044	1.819 ab	0.071	2.084 abc	0.045
Sexo								
Machos	2.688	0.039	1.535	0.032	1.767	0.046	2.156	0.034
Hembras	2.580	0.048	1.489	0.030	1.750	0.042	2.080	0.036
Interacción	NS		NS		NS		NS	
Tendencias [‡]	CuC		CuQ		CuQ		CuQ, CuC	

[†] Valores con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

NS: No significativo.

[‡] Tendencias significativas debidas al Cu: cuadrática (CuQ) y cúbica (CuC), ($p \leq 0.05$).

EE: Error estándar.

reportaron un incremento de 4.9% en GP y un decremento de 3.4% en CA. El mecanismo por el cual el Cu mejora la GP y la CA se basa en una posible regulación de la población microbiana del tubo gastrointestinal, lo cual permite un mejor aprovechamiento de los nutrientes de la dieta (INRA, 2001)

Los resultados del consumo de alimento (Cuadro 3) concuerdan con los de otros investigadores: Miles *et al.* (1998) encontraron en pollos de engorda de 22 a 42 d que el CON disminuyó al aumentar el nivel de Cu en la dieta (0, 200, 400 ó 600 mg Cu kg⁻¹), afectándose también la GP y la CA; un suplemento de 4.3, 44.3, 84.3, 124.3 ó 164.3 mg Cu kg⁻¹ afectó al CON y la GP (Shen

performance of the broilers, making it difficult to find differences attributable to the Cu levels in this period. The results of the present study partially agree with those of Miles *et al.* (1998), who provided 0, 150, 300 or 450 mg Cu kg⁻¹ and found no differences in CON and WG until 300 mg kg⁻¹ of Cu; however, with 450 mg Cu kg⁻¹ the CON decreased along with the WG. Ewing *et al.* (1998) reported that the LW and FC of broilers at 21 d of age were not affected when 125 mg Cu kg⁻¹ were added to the diets. The productive response of broilers has not changed with 0, 100, 200 or 300 mg kg⁻¹ of Cu (Cachoni and Bertechini, 1998), nor with 63 or 180 mg kg⁻¹ of Cu (Konjufca *et al.*, 1997). Therefore, a Cu supplement

et al., 2000). Brainer *et al.* (2003) no encontraron efecto de 75 mg Cu kg⁻¹ (citrate de Cu) o 200 mg Cu kg⁻¹ (sulfato de Cu) en PV, GP, CON, y CA. Posiblemente las diferencias en los resultados se deben a las condiciones ambientales y sanitarias de los ensayos. En el presente estudio no se detectaron microorganismos patógenos que pudiesen haber influido en los resultados.

El NOBG, NOBCA y NOEMU solamente se calcularon para la segunda fase (22-42 d), debido a que en este periodo se encontraron diferencias en el comportamiento productivo de las aves. En las Figuras 1, 2 y 3 se muestran las ecuaciones de los modelos de regresión que mejor predijeron el CON, la GP y la CA. La solución de los modelos econométricos indica que los NOBG y NOBCA fueron 122.99 y 163.36 mg Cu kg⁻¹.

Los valores de NOBG y NOBCA fueron diferentes entre sí. Si se desea obtener la máxima ganancia de peso, deben utilizarse 122.99 mg Cu kg⁻¹, pero si se busca obtener la mínima conversión alimenticia deberá utilizarse 163.36 mg Cu kg⁻¹. Los NOBG y NOBCA obtenidos son válidos para las condiciones en las que se realizó el presente estudio (línea genética, nivel de energía

would not be necessary in this stage, given that the ingredients of the diet surpass the minimum requirement of 8 mg kg⁻¹ (NRC, 1994).

With respect to the stage of 22 to 42 d, differences ($p \leq 0.05$) were found that were attributable to the Cu levels in CON, WG, FC and LW (Table 3). For that stage, the contrast analysis detected ($p \leq 0.05$) quadratic or cubic trends in all of the variables, as a response to the Cu levels. The sex did not influence productive performance, and as in the first stage, there was no interaction between Cu levels and the sex of the chickens. Ewing *et al.* (1998) reported that the WG of broilers at 42 d of age increased 9% and the FC decreased, when 63 and 125 mg Cu kg⁻¹ were applied ($p \leq 0.05$). The WG and the FC improved when 75 or 150 mg mg Cu kg⁻¹ was included in the diet (Hoda and Maha, 1995). Pesti and Bakalli (1996) reported an increase of 4.9% in WG and a decrease of 3.4% in FC. The mechanism by which the Cu improves the WG and the FC is based on a possible regulation of the microbial population of the gastrointestinal tract, which allows a better utilization of the nutrients of the diet (INRA, 2001).

The results of feed intake (Table 3) agree with those of other researchers: Miles *et al.* (1998) found in broilers of 22 to 42 d that the CON decreased as the Cu level was increased in the diet (0, 200, 400 or 600 mg Cu kg⁻¹), also affecting the WG and the FC; a supplement of 4.3, 44.3, 84.3, 124.3 or 164.3 mg Cu kg⁻¹ affected the CON and the WG (Shen *et al.*, 2000). Brainer *et al.* (2003) found no effect of 75 mg Cu kg⁻¹ (cupric citrate) or 200 mg Cu kg⁻¹ (cupric sulfate) in LW, WG CON, and FC. Possibly the differences in the results are due to the environmental and sanitary conditions of the tests. In the present study no pathogenic microorganisms were detected that could have influenced the results.

The BOLWG, BOLFC and EOLMP were only calculated for the second stage (22-42 d), because in this period differences were found in the performance of the

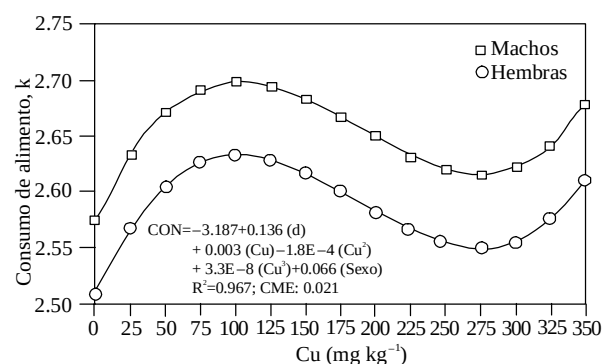


Figura 1. Consumo de alimento de pollos de engorda de 22 a 42 d de edad.

Figure 1. Feed consumption of broilers of 22 to 42 d of age.

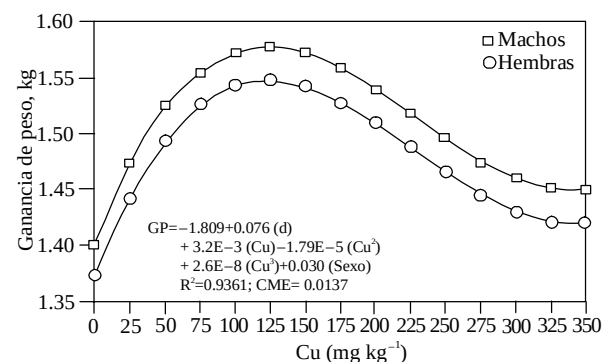


Figura 2. Ganancia de peso en pollos de engorda de 22 a 42 días de edad.

Figure 2. Weight gain in broilers of 22 to 42 days of age.

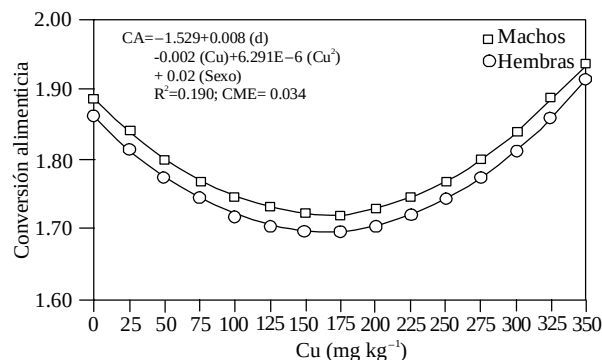


Figura 3. Conversión alimenticia de pollos de engorda de 22 a 42 d de edad.

Figure 3. Feed conversion of broilers of 22 to 42 d of age.

y de proteína, ingredientes utilizados, temperatura, etc.), por lo que pueden variar en otras condiciones. El NOEMU calculado fue 129.17 mg Cu kg⁻¹, tomando como base un precio del pollo en pie de \$10 kg⁻¹. El análisis de sensibilidad mostró que el NOEMU y las utilidades fueron sensibles a los cambios en el precio del pollo (Cuadro 4).

El NOEMU, al igual que el NOBG y NOBCA, es superior a la sugerencia del NRC (1994). La implicación principal de la presente investigación es que un suplemento con Cu es una alternativa viable para los productores integrados de pollo de engorda. El nivel de suplemento de Cu dependerá principalmente de dos factores: 1) el objetivo de la empresa, que debe definirse en un solo criterio de optimización, maximizar GP o minimizar CA o maximizar las utilidades; 2) los efectos en la salud humana, debido a la retención de este mineral en la carne e hígado de pollos de engorda, por lo que no se debe dar más de 250 mg Cu kg⁻¹ (Miñón *et al.*, 2004). El intervalo de suplemento recomendable, con base en los resultados del presente estudio, podría fluctuar entre 122.99 y 163.36 mg Cu kg⁻¹ dependiendo del criterio de optimización.

CONCLUSIONES

El sexo de las aves influyó sobre el consumo de alimento, ganancia de peso y peso vivo sólo entre 1 a 21 d de edad. El sexo no cambió la conversión alimenticia. El suplemento de Cu afectó el consumo de alimento, la ganancia de peso, la conversión alimenticia y el peso vivo entre 22 y 42 d de edad. No existió un nivel único de Cu que optimizara el comportamiento productivo o las utilidades, ya que el nivel óptimo para maximizar la ganancia de peso (122.99 mg Cu kg⁻¹), minimizar la conversión alimenticia (163.36 mg Cu kg⁻¹) y maximizar las utilidades (129.17 mg Cu kg⁻¹) difieren. El nivel óptimo económico de cobre que maximizó las utilidades fue sensible a los cambios de precio del pollo de engorda.

LITERATURA CITADA

- Aviagen, 2003. Ross x Ross 308. North American Broiler Performance Objectives. Aviagen, Inc. Huntsville, Alabama, USA. 8 p.
- Bakalli, R. I., G. M. Pest, W. L. Ragland, and V. Konjufca. 1995. Dietary copper in excess of nutritional requirement reduces plasma and breast muscle cholesterol in chickens. *Poult. Sci.* 74: 360-365.
- Brainer, M. M. de A., J. F. M. Menten, M. M. do Vale, and S. C. D. de Moraes. 2003. Cupric citrate as growth promoter for broiler chickens in different rearing stages. *Scientia Agricola* 60: 3, 441-445.
- Cachoni, C. C., and A. G. Bertechini. 1998. Bioavailability of Cu from sulphate sources for broiler chicks at the starting phase. *Boletín de Industria Animal* 55: 151-159.
- Chiou, P. W. S., C. L. Chen, K. L. Chen, and C. P. Wu. 1999. Effect of high dietary copper on the morphology of gastro-intestinal tract

Cuadro 4. Nivel óptimo económico (NOEMU) de cobre y su variación con respecto al precio del pollo.

Figure 4. Economic optimum level (EOLMP) of copper and its variation with respect to the price of chicken.

Precio del Pollo (\$ kg ⁻¹)	NOEMU (mg kg ⁻¹)	Costo del alimento (\$ kg ⁻¹)	Utilidades por pollo (\$)
+ 40% (14)	127.04	2.89	14.29
+ 20% (12)	127.88	2.89	11.13
Base (10)	129.17	2.89	7.97
- 20% (8)	131.36	2.89	4.81
- 40% (6)	135.93	2.89	1.66

chickens. The equations of the regression models that best predicted the CON, the WG and the FC are shown in Figures 1, 2 and 3. The solution of the econometric models indicates that the BOLWG and BOLFC were 122.99 and 163.36 mg Cu kg⁻¹.

The values of BOLWG and BOLFC were different from one another. If one wishes to obtain maximum weight gain, 122.99 mg Cu kg⁻¹ should be used, but if the objective is to obtain the minimum feed conversion, 163.36 mg Cu kg⁻¹ should be used. The BOLWG and BOLFC obtained are valid for the conditions under which the present study was carried out (genetic line, energy and protein level, ingredients used, temperature, etc), so they may vary under other conditions. The EOLMP calculated was 129.17 mg Cu kg⁻¹, taking as a base a live chicken price of \$10 kg⁻¹. The sensitivity analysis showed that the EOLMP and the profits were sensitive to the changes in the price of broiler (Table 4).

The EOLMP, as with the BOLWG and BOLFC, is higher than that suggested by the NRC (1994). The principal implication of the present research is that a supplement with Cu is a viable alternative for the producers of broilers that are integrated. The supplement level of Cu will depend mainly on two factors: 1) the objective of the enterprise, which should be defined in a single criteria of optimization, to maximize WG or minimize FC or maximize profits, 2) the effects on human health, due to the retention of this mineral in the meat and liver of broilers, thus no more than 250 mg Cu kg⁻¹ should be given (Miñón *et al.*, 2004). The recommendable supplement interval, based on the results of the present study, could fluctuate between 122.99 and 163.36 mg Cu kg⁻¹, depending on the optimization criteria.

CONCLUSIONS

The sex of the chickens influenced feed intake, weight gain and live weight only between 1 and 21 d of age. The sex did not change feed conversion. The supplement of Cu affected feed intake, weight gain, feed conversion and live weight from 22 to 42 d of age. There was no single

- in broiler chickens. *Asian Australasian J. Anim. Sci.* 12: 548-553.
- Ewing, H. P., G. M. Pesti, R. I. Bakalli, and J. F. M. Menten. 1998. Studies on the feeding of cupric sulfate pentahydrate, cupric citrate and cooper oxychloride to broiler chickens. *Poult. Sci.* 77: 445-448.
- Hoda, A. A., and M. H. Maha. 1995. Potency of copper as growth promoter in broiler chickens. *Vet. Medical J. Giza* 43: 1, 77-85.
- INRA (Institut National de la Recherche Agronomique). 2001. Oligo-éléments croissance et santé du poulet de chair. *INRA Prod. Anim.* 14: 171-180.
- Konjufca, V. H., G. M. Pesti, and R. I. Bakalli. 1997. Modulation of cholesterol levels in broiler meat by dietary garlic and copper. *Poult. Sci.* 76: 1264-1271.
- Miles, R. D., S. F. Keefe, P. R. Henry, C. B. Ammerman, and X. G. Luo. 1998. The effect of dietary supplementation with copper sulfate or tribasic copper chloride on broiler performance, relative copper bioavailability and dietary prooxidant activity. *Poult. Sci.* 77: 416-425.
- Miñón H., E., G. Crespo L., M. J. González A., M. Huerta B., S. Carrillo D., R. M. Castillo D., J. M. Cuca G., A. Juárez Z., E. Morales B., J. G. García M. 2004. Retención de cobre dietético en pechuga, pierna, muslo e hígado de pollos de engorda. Resumen en las Memorias de XL Reunión Nacional de Investigación Pecuaria. Mérida, Yuc., México.
- NRC (National Research Council). 1994. Nutrient Requirements of Poultry. Ninth Revised Edition. National Academic Press. Washington, D.C. USA. 155 p.
- O'Donohue V., M. A. Reid, A. Varguese, B. Portmann, and R. Williams. 1993. Micronodular cirrhosis and acute liver failure due to chronic level of Cu that optimized productive performance or profits, since the optimum level for maximizing weight gain (122.99 mg Cu kg⁻¹), minimizing feed conversion (163.36 mg Cu kg⁻¹) and maximizing profits (129.17 mg Cu kg⁻¹) differ. The economic optimum level of copper that maximizes profits was sensitive to the price changes of broilers.
- End of the English version—
- *—
- copper self-intoxication. *Eur. J. Gastroenterol. Hepatol.* 5: 561-562.
- Pesti, G. M., and R. I. Bakalli. 1996. Studies on the feeding of cupric sulfate pentahydrate and cupric citrate to broiler chickens. *Poult. Sci.* 75: 1086-1091.
- SAS Institute. 1999. SAS/STAT. User's Guide. Version 8, Vol. 1-5. SAS Publishing. Cary, N.C. USA. 3848 p.
- Shen, AiHua., ZeYuan, Zhu, and ChengYu, Bao. 2000. Feeding effects of different levels of Cu added to rations in older broilers. *Jiangsu Agric. Sci.* 1: 70-71.
- WHO (World Health Organization). 1996. Copper. *In: Trace Elements in Human Nutrition and Health.* Geneva. pp: 123-143.
- Young, M. J., and M. Halvorsom. 2003. Microsoft Office System Inside Out. 2003 Edition. Microsoft Press, Buffalo, NW. USA. 1568 p.