



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA, INVESTIGACIÓN

Y SERVICIO EN ZOOTECNIA

POSGRADO EN PRODUCCIÓN ANIMAL

COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL DE POLLOS DE ENGORDA SUPLEMENTADOS CON COBRE Y CROMO

TESIS

Que como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

Presenta:

Leodan Tadeo Rodríguez Ortega

Bajo la supervisión de: MARIANO J. GONZÁLEZ ALCORTA, Ph.D.

y SERGIO GÓMEZ ROSALES, Ph.D.



Junio de 2012

Chapingo, Estado de México

COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y CARACTERISTICAS DE LA CANAL
DE POLLOS DE ENGORDA SUPLEMENTADO CON COBRE Y CROMO

Tesis realizada por **LEODAN TADEO RODRÍGUEZ ORTEGA** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

CODIRECTOR



Ph.D. MARIANO JESÚS GONZÁLEZ ALCORTA

CODIRECTOR



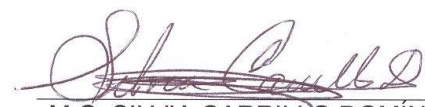
Ph.D. SERGIO GÓMEZ ROSALES

ASESOR



Ph.D. MAXIMINO HUERTA BRAVO

ASESOR



M.C. SILVIA CARRILLO DOMÍNGUEZ

CONTENIDO

CONTENIDO	ii
LISTA DE CUADROS	v
LISTA DE FIGURAS	vii
DEDICATORIAS	ix
AGRADECIMIENTOS	x
DATOS BIOGRÁFICOS	xi
RESUMEN GENERAL	xii
GENERAL ABSTRACT	xiii
1. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Situación actual de la producción de pollo de engorda en México	3
2.2 Situación actual de los lípidos en la salud pública	4
2.3 El colesterol	4
2.3.1 Biosíntesis de colesterol	5
2.3.2 Efecto de altos niveles de colesterol en la salud humana	6
2.3.3 Ácidos biliares	6
2.3.4 Absorción	7
2.3.5 Lipoproteínas y su clasificación	7
2.4 Generalidades del cromo y del cobre	8
2.4.1 Cromo	9
Funciones	10
Actividad de la insulina	10
Acción del factor tolerante a la glucosa	10
Deficiencia de cromo	11
Absorción	11
Niveles de cromo en la dieta para pollos	11

2.4.2 Cobre.....	11
Funciones	12
Deficiencias de cobre.....	13
Absorción	14
Máximos	14
2.4.3 Efecto del cobre y cromo en variables productivas del pollo de engorda .	14
Consumo de alimento	14
Ganancia de peso.....	15
Conversión alimenticia.....	15
Peso vivo	16
Efecto en las características de la canal.....	16
Efecto del cobre y cromo sobre las concentraciones de colesterol.....	16
2.5 Literatura citada.....	18
3. COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DEL POLLO DE ENGORDA SUPLEMENTADO CON COBRE Y CROMO.....	21
3.1 Resumen	21
3.2 Abstract	22
3.3 Introducción.....	23
3.4 Materiales y métodos	24
3.5 Resultados y discusión.....	29
3.6 Conclusiones.....	48
3.7 Literatura citada.....	49
4. CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL DE POLLOS DE ENGORDA SUPLEMENTADOS CON COBRE Y CROMO	51
4.1 Resumen	51
4.2 Abstract	52
4.3 Introducción.....	53
4.4 Materiales y métodos	55

4.5 Resultados y discusión	60
4.6 Conclusiones	74
4.7 Literatura citada.....	75

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Niveles de colesterol total (CT) y lipoproteínas de baja densidad (LDL).....	6
Cuadro 2. Clase de lipoproteínas.....	8
Cuadro 3. Enzimas dependientes del cobre	12
Cuadro 4. Arreglo factorial tres niveles de cobre y cuatro de cromo.....	25
Cuadro 5. Dieta base y composición nutrimental calculada para las etapas de iniciación, crecimiento y finalización.	26
Cuadro 6. Promedios y probabilidades del peso vivo (PV), consumo de alimento (C), ganancia de peso (GP) y conversión alimenticia (CV) de pollos de engorda en la etapa de iniciación (1-14 d).....	31
Cuadro 7. Promedios y probabilidades del peso vivo (PV), consumo de alimento (C), ganancia de peso (GP) y conversión alimenticia (CV) de pollos de engorda en la etapa de crecimiento (15-28 d).	35
Cuadro 8. Promedios y probabilidades del peso vivo (PV), consumo de alimento (C), ganancia de peso (GP) y conversión alimenticia (CV) de pollos de engorda en la etapa de finalización (29-49 d).	40
Cuadro 9. Promedios y probabilidades del peso vivo al inicio (PV-1), peso vivo final (PV-49) consumo de alimento (C), ganancia de peso (GP) y conversión alimenticia (CV) de pollos de engorda de 1-49 d de edad.	46
Cuadro 10. Arreglo factorial de los tres niveles de cobre por cuatro de cromo.	56
Cuadro 11. Probabilidad de efectos principales y contrastes para: peso del pollo sacrificado (PS), piernas (PPi), muslos (PM), pechuga (PPe), peso de la pierna, muslo y pechuga, y grasa abdominal (PGA).....	60
Cuadro 12. Promedios de peso del pollo sacrificado (PS), piernas (PPi), muslos (PM), pechuga (PPe), peso de las piernas, muslos y pechuga (PPiMPe), grasa abdominal (PGA).	61

Cuadro 13. Efectos principales y contrastes del rendimiento de las piernas (RPi), muslos (RM), pechuga (RPe), y piernas, muslos y pechuga (RPiMPe)..	67
Cuadro 14. Porcentajes del rendimiento de las piernas (RPi), muslos (RM), pechuga (RPe), y piernas, muslos y pechuga (RPiMPe).	68
Cuadro 15. Efectos principales y contrastes del contenido de grasa, grasa total, colesterol y colesterol total en carne de pollo suplementados con cobre y cromo.	70
Cuadro 16. Medias del contenido de grasa, grasa total, colesterol y colesterol total en carne de pollo suplementados con cobre y cromo.	72

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Producción de carne de pollo en México (Fuente: SAGARPA, 2009).	3
Figura 2. Estructura química del colesterol.....	5
Figura 3. Corral de 2 m ² con 27 pollos de un día de edad.....	25
Figura 4. Consumo de alimento en la etapa de crecimiento.	27
Figura 5. Efecto del cobre en el consumo de alimento.	32
Figura 6. Efecto del cobre en la ganancia de peso.	32
Figura 7. Efecto del cromo en el peso vivo.	33
Figura 8. Efecto del cromo en la ganancia de peso.	33
Figura 9. Peso vivo final del pollo en la etapa de iniciación.	34
Figura 10. Efecto del Cu en la conversión alimenticia.	36
Figura 11. Peso vivo de hembras y machos de 28 d de edad.	36
Figura 12. Consumo de alimento de hembras y machos de 28 d de edad.	37
Figura 13. Ganancia de peso de machos y hembras de 28 d de edad.....	37
Figura 14. Conversión alimenticia de machos y hembras.....	38
Figura 15. Efecto del cobre en el peso vivo.	41
Figura 16. Efecto del cobre en el consumo de alimento.	41
Figura 17. Ganancia de peso de pollos suplementados con cobre.....	42
Figura 18. Peso vivo de hembras y machos de 49 d de edad.	42
Figura 19. Consumo de alimento de hembras y machos.....	43
Figura 20. Ganancia de peso de hembras y machos.....	43
Figura 21. Conversión alimenticia de hembras y machos.....	44
Figura 22. Peso del pollo sin plumas.	57
Figura 23. Canal de un pollo de 49 días.	57
Figura 24. Carne de pollo molida.	58
Figura 25. Peso al sacrificio de machos y hembras alimentados con cobre.	62
Figura 26. Peso de la pierna de animales suplementados con cobre.....	63

Figura 27. Peso de la pierna, muslo y pechuga de animales alimentados con cobre.....	63
Figura 28. Peso de la pechuga de animales suplementados con cobre.	64
Figura 29. Peso de la pechuga de hembras alimentadas con diferentes niveles de cobre.....	64
Figura 30. Peso de la grasa abdominal de machos y hembras.	65
Figura 31. Rendimiento de pierna, muslo y pechuga de animales suplementados con cromo.....	66
Figura 32. Rendimiento de pechuga de animales suplementados con cobre...	68
Figura 33. Grasa total de la carne de pollos alimentados con cobre.	71
Figura 34. Colesterol de la carne de pollos alimentados con cobre.....	71
Figura 35. Colesterol total de hembras y machos suplementados con cobre...	73

DEDICATORIAS

Con todo mi amor y mi cariño para mi madre Teresa Ortega Cervantes y mi padre Agustín Rodríguez Domínguez.

Para mis hermanos con mucho cariño: Julio, Felipe, María Paula, Alejandro y Jorge.

Con cariño a Leonor Rivera Arias por su amor y todos los momentos que hemos compartido juntos.

A mis compañeros y amigos del Posgrado en Producción Animal, al equipo de trabajo del INIFAP, de manera muy especial a Ana Rosa Castro Bernabé.

Atentamente; Leodan Tadeo Rodríguez Ortega

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme fe, salud, amor y motivación para terminar esta fase de mi vida.

A mi querida Universidad Autónoma Chapingo que me dio hospedaje, comida, salud y hacer de mí un hombre de bien.

Al Ph. D. Mariano J. González Alcorta por su valiosa amistad, por sus sabios consejos, por el apoyo y tiempo incondicional que me ha brindado durante mis estudios.

Al Ph. D. Sergio Gómez Rosales, por el gran apoyo y excelentes sugerencias en este trabajo de investigación, por haber compartido sus conocimientos y experiencias, y por ser un amigo con una gran calidad humana.

A la M. C. Silvia Carrillo Domínguez y al Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán por su apoyo incondicional y amabilidad para realizar este trabajo de investigación.

Al Ph. D. Agustín Ruiz Flores por esa amistad tan sincera y por los buenos consejos que ha compartido conmigo.

A la M.V.Z. María de Lourdes Ángeles por el apoyo incondicional para la realización de esta investigación.

Al CONACYT, por la beca otorgada para sustentar mis estudios de maestría.

Al Posgrado en Producción Animal y a todos los maestros que me compartieron sus conocimientos.

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos personales

Nombre	Leodan Tadeo Rodríguez Ortega
Fecha de nacimiento	28 de Noviembre de 1986
Lugar de nacimiento	Pachuca, Hidalgo
N. Cartilla militar	8639518
CURP	ROOL861128HHGDRD04
Profesión	Ingeniero Agrónomo Especialista en Zootecnia
Cédula profesional	6523140



Desarrollo académico

2002-2005	Preparatoria Agrícola Universidad Autónoma Chapingo
2005-2009	Ingeniero Agrónomo Especialista en Zootecnia Departamento de Zootecnia Universidad Autónoma Chapingo
2010-2012	Maestría en Ciencias en Innovación Ganadera Posgrado en Producción Animal Departamento de Zootecnia Universidad Autónoma Chapingo

RESUMEN GENERAL

Comportamiento productivo y características de la canal de pollos de engorda suplementados con cobre y cromo

El objetivo del experimento fue evaluar la productividad y las características de la canal en pollos de engorda alimentados con dietas adicionadas con 0, 100, 200 mg de cobre (Cu) y 0, 0.5, 1.0, 1.5 mg de cromo (Cr) kg^{-1} de alimento. Se utilizó un modelo completamente al azar con un diseño factorial de tratamientos. Se repartieron 1296 pollos de 1 a 49 días, de la línea Ross 308 (648 hembras y 648 machos), en 24 tratamientos resultantes del arreglo factorial de tres niveles dietéticos de Cu, cuatro niveles dietéticos de Cr y dos sexos. Se tuvieron tres fases alimenticias: iniciación (1-14 días), crecimiento (15-28 días) y finalización (29-49 días). A los 49 días de edad se sacrificaron dos aves por corral para evaluar la canal. La adición de Cr redujo ($p<0.05$) la ganancia de peso en la etapa de iniciación. Pero no afectó las características de la canal. El Cu dietético disminuyó ($p<0.05$) la conversión alimenticia en la etapa de crecimiento. Dosis crecientes de Cu redujeron ($p<0.05$) el consumo de alimento y la ganancia de peso en la etapas de iniciación y finalización. El peso al sacrificio, en hembras suplementadas con Cu, se incrementó ($p<0.05$) cuadráticamente. El peso de la grasa abdominal y el contenido de grasa no se afectaron por el Cu. Se observó un efecto cuadrático ($p<0.05$) del Cu en el contenido de colesterol de la carne. La interacción Cu y Cr no afectó ($p>0.05$) el comportamiento productivo ni las características de la canal. En conclusión, el Cr adicionado redujo el comportamiento productivo del pollo en la etapa de iniciación. La adición de Cu disminuyó la conversión alimenticia en la etapa de crecimiento y afectó de manera positiva el peso al sacrificio en hembras.

Palabras clave: pollo, cobre, cromo, comportamiento productivo, canal, grasa abdominal, colesterol.

GENERAL ABSTRACT

Productive performance and carcass characteristics of broilers supplemented with copper and chromium

This research was carried out in order to evaluate the productive performance - and the carcass characteristics of broilers which diets were added with 0, 100 and 200 mg of copper (Cu) and 0, 0.5, 1.0 and 1.5 mg of chromium (Cr) kg^{-1} of food. A completely randomized model with a factorial design of treatments was used. 1296 broilers from 1 to 49 days old were distributed, from Ross type 308 broilers (648 females and 648 males) were allocated into 24 treatments resulting from the factorial arrangement of three dietary Cu levels, four dietary Cr levels and two sexes. There were three feeding phases: starter (1-14 days), growth (15-28 days) and completion (29-49 days). At 49 days of age, two birds from each pen were sacrificed to measure the carcass' characteristics. The addition of Cr in the diet reduced ($p < 0.05$) the gained weight in the starter phase but it did not affect carcass' characteristics. Dietary Cu decreased ($p < 0.05$) the feed conversion in the growing phase. Increasing Cu doses reduced ($p < 0.05$) feed intake and gain weight in the starter and completion phases. The weight at slaughter, in females supplemented with Cu, was quadratically ($p < 0.05$) increased. The abdominal fat weight and fat content were not affected by Cu. A quadratic effect ($p < 0.05$) of Cu was observed in the cholesterol content of meat. Cu and Cr interaction did not affect ($p > 0.05$) the productive performance or carcass' characteristics. In conclusion, Cr addition reduced broiler performance in the starter phase. Cu addition decreased feed conversion in the growing phase and positively affected the weight at slaughter in females.

Key words: broilers, copper, chromium, productive performance, carcass, abdominal fat, cholesterol.

Master of Science Thesis, Universidad Autónoma Chapingo

Author: Leodan Tadeo Rodríguez Ortega

Coadvisors: Ph.D. Mariano Jesús González Alcorta and Ph.D. Sergio Gómez Rosales

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

Actualmente el elevado consumo de grasas saturadas y colesterol presente en los alimentos, predispone a enfermedades cardiovasculares, la Organización Mundial de la Salud proyecta que para el 2015, haya aproximadamente 2 300 millones de adultos con sobrepeso y más de 700 millones serán obesos. (OMG, 2009), por lo que la tendencia de los consumidores es demandar alimentos benéficos para la salud, con alto valor nutritivo, de buena calidad, y con bajos niveles de colesterol y de ácidos grasos saturados (OMS, 2005).

El incremento de la demanda de granos para la producción de biocombustibles, ha hecho que los precios de los cereales se incrementen, especialmente del maíz (CEFP, 2007). Por esta razón en la producción de pollos de engorda se intenta aumentar la eficiencia alimenticia, para reducir la conversión alimenticia y los costos de alimentación. El cromo (Cr) es un elemento que juega un papel importante en el metabolismo de los lípidos, carbohidratos y proteínas, y forma parte del factor de tolerancia a la glucosa (GTF) (Pechova y Pavlata, 2007). Se ha observado que el Cr trivalente reduce el contenido de colesterol y mejora el peso final del pollo de engorda. Anandhi *et al.* (2006) observaron que al adicionar 0.5 mg de Cr kg⁻¹ de alimento disminuyó 13% el contenido de colesterol de la pechuga y 9% del muslo. Lien *et al.* (1999) observaron que al suplementar 1.6 y 3.2 mg de Cr kg⁻¹ de alimento en pollos de engorda el peso final se incrementó 10%. Por otra parte, Króliczewska *et al.* (2005) suplementaron 0.3 y 0.5 mg de Cr kg⁻¹ en forma de levadura en pollos de engorda y encontraron que al suplementar 0.5 mg de Cr kg⁻¹ incrementó 3.79% el peso final.

El cobre (Cu) es un mineral esencial utilizado en pollos de engorda como un promotor de crecimiento. Es un elemento esencial para la reproducción, el desarrollo óseo, crecimiento, desarrollo del tejido conectivo y la pigmentación de los apéndices cutáneos (Underwood y Suttle, 2003). Miñón-Huesca *et al.* (2006) suplementaron ocho niveles de Cu (0, 50, 100, 150, 200, 250, 300 y 350

mg kg⁻¹) en pollos de engorda y observaron que la suplementación de 100 mg de Cu kg⁻¹ de alimento aumentó 15% el consumo de alimento, 22% la ganancia de peso y 14% el peso vivo. En investigaciones anteriores han observado que la adición de dosis mayores de 250 mg de Cu kg⁻¹ de alimento causa lesiones en la molleja y disminuye el consumo de alimento (Chiou *et al.*, 1999, Zia-Ur-Rahman *et al.*, 2001). Chiou *et al.*, 1999 suplementaron tres niveles crecientes de Cu (100, 250 y 500 mg Cu kg⁻¹) y observaron que la adición de hasta 250 mg de Cu kg⁻¹ de alimento no afectó el consumo de alimento, la ganancia de peso y la conversión alimenticia, pero al adicionar 500 mg de Cu kg⁻¹ de alimento disminuyó 9.6% el consumo de alimento y 13% la ganancia de peso. Por otra parte Zia-Ur-Rahman *et al.* (2001) observaron que la suplementación de 350 mg de Cu kg⁻¹ de alimento ocasionó laceraciones en la molleja, redujo 4% el consumo de alimento y 7.7 % la ganancia de peso. Sin embargo, redujo 18% el colesterol en plasma y 17% los triglicéridos del plasma.

Esta investigación tuvo como objetivo suplementar Cu y Cr en pollos de engorda, para evaluar el efecto que tienen en parámetros productivos, en la calidad de la carne y contenido de colesterol, ya que no se han encontrado experimentos donde se haya suplementado a la dieta de pollos de engorda los dos minerales combinados y en forma orgánica.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Situación actual de la producción de pollo de engorda en México

La industria avícola en México ha logrado consolidarse a lo largo de los años como una de las actividades pecuarias más importantes de México. Su crecimiento y desarrollo se ha fundamentado en el esfuerzo de los avicultores mexicanos quienes han procurado mantener una actividad fuerte y vanguardista en todos los niveles productivos (UNA, 2010).

La producción de carne de pollo en México ha mantenido un constante crecimiento (Figura 1). En el 2007 la producción de carne de pollo fue de 2, 542 mil toneladas y en el 2008 fue de 2, 580, 800 toneladas lo que indica un aumento de 1.5%. En ese mismo año el volumen de aves sacrificadas alcanzó 1, 513.3 millones, el cual si es comparado con un volumen de 952.8 millones de aves procesadas en 1998, indica que hubo 560.6 millones más aves sacrificadas (SAGARPA, 2009).

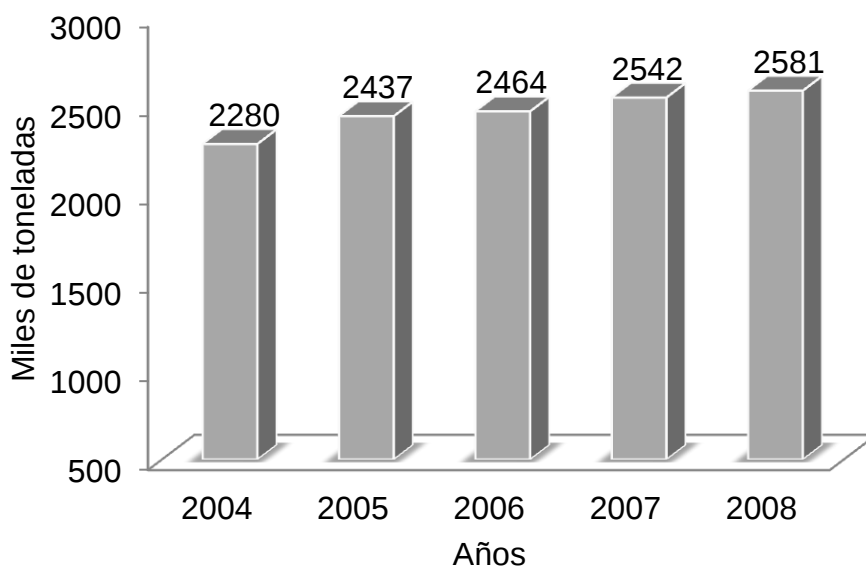


Figura 1. Producción de carne de pollo en México (Fuente: SAGARPA, 2009).

2.2 Situación actual de los lípidos en la salud pública

Las cardiopatías y los accidentes cerebro vasculares causan la muerte de aproximadamente 17 millones de personas al año (SSA, 2004). En México, desde 1999 las enfermedades del corazón son la principal causa de muerte (SSA, 2004).

El sobrepeso y la obesidad se han incrementado en México en todas las edades, independientemente del sexo y clases sociales, con predominio en las zonas urbanas. Al sobrepeso y la obesidad se les considera la nueva gran epidemia de México, silente y con gran impacto en la salud pública (OPS, 2005). La Secretaría de Salud en México estimó que el costo directo que representa la atención médica de las enfermedades atribuibles al sobrepeso y la obesidad (enfermedades cardiovasculares, cerebro-vasculares, hipertensión, algunos cánceres, atención de diabetes mellitus tipo II) en el periodo 2000-2008, fue de por lo menos 42, 246 millones de pesos (OPS, 2005).

2.3 El colesterol

El colesterol es un lípido presente en los productos de origen animal que es sintetizado en el cuerpo. Es un componente estructural de las membranas celulares, precursor de esteroides y de vitamina D, de hormonas sexuales (progesterona, estrógenos y testosterona), y de las sales biliares esenciales para la absorción de las grasas en el intestino. Su estructura en forma de silla hace que sea una estructura voluminosa y rígida (Figura 2). Es componente esencial de membranas celulares en el cerebro y está involucrado en un gran número de funciones biológicas tales como señales de transducción, mielinización y sinaptogénesis (Carvajal, 2001).

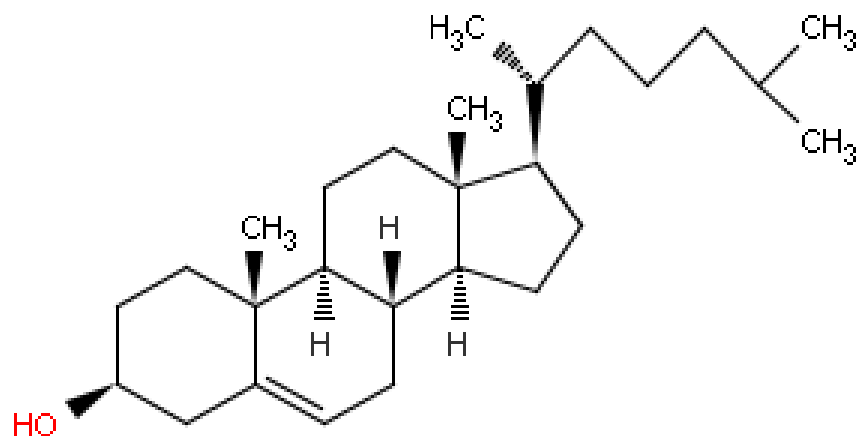


Figura 2. Estructura química del colesterol.

Los órganos que presentan mayor contenido de colesterol son el hígado, médula espinal, páncreas y el cerebro. Existen dos grandes fuentes de colesterol: a) Exógena: por absorción del colesterol preexistente en los alimentos de origen animal, b) Endógena: mediante síntesis de *novo* a partir de su precursor la acetilcoenzima A (Montero, 2008).

2.3.1 Biosíntesis de colesterol

Un poco más de la mitad del colesterol del cuerpo se produce por síntesis (cerca de 700 mg día⁻¹), y el resto se obtiene de la dieta. El hígado y el intestino aportan cada uno, casi 10% de la síntesis total en humanos (Murray *et al.*, 2007). Casi todas las células son capaces de sintetizar colesterol, con excepción de los glóbulos rojos (Bohinski, 1991). Lehninger *et al.* (1993) señala que la biosíntesis del colesterol se encuentra detallada en tres procesos diferenciados:

1. Conversión de fragmentos C₂ (acetato) en un precursor isoprenoide C₆ mevolato.
2. Conversión de 6 mevolatos C₆, a través de intermediarios C₅ activados, en el escualeno C₃₀ (Lehninger *et al.*, 1993).
3. Ciclación del escualeno y su transformación en colesterol C₂₇.

2.3.2 Efecto de altos niveles de colesterol en la salud humana

En el aspecto de salud, la población mexicana presenta niveles altos de colesterol en la sangre. La Secretaría de Salud estimó que en México, 30% de las personas entre 20 y 69 años padecen de hipercolesterolemia (Bázquez y Durán, 2006). Niveles elevados de colesterol ($>200 \text{ mg dL}^{-1}$) se consideran como hipercolesterolemia, niveles mayores son causa de enfermedades del corazón (Moráis *et al.* 2009).

Cruz-Zavala *et al.* (2007) mencionan que los valores normales de colesterol en humanos son de 120 a 200 mg dL^{-1} , considerando factor de riesgo en hipercolesterolemia a partir de 200 mg dL^{-1} . El cuadro 1 muestra los niveles de colesterol en humanos para diferentes edades.

Cuadro 1. Niveles de colesterol total (CT) y lipoproteínas de baja densidad (LDL).

Años	Hombres (mg dL^{-1})	Mujeres (mg dL^{-1})
20-24	180	184
25-34	199	192
35-44	217	207
45-54	227	232
55-64	229	249
	CT (mg dL^{-1})	LDL (mg dL^{-1})
Aceptable	<170	<110
Límite	177-199	110-129
Elevado	>200	>130

Fuente: (Moráis *et al.*, 2009).

2.3.3 Ácidos biliares

Los ácidos biliares se sintetizan en el hígado a partir de colesterol. Estos son ácidos cólicos (encontrados en mayor producción) y el ácido quenodesoxicólico (Murray *et al.*, 2007). Por sus propiedades detergentes pueden emulsionar los lípidos del alimento en el intestino, facilitando con ello la digestión y absorción

de las grasas. Estos se segregan en el hígado y se almacenan en la vesícula biliar y se trasladan al intestino a través del conducto biliar. Los ácidos biliares más abundantes en el ser humano son el ácido cólico y el ácido quenodesoxicólico (Bohinski, 1991; Conn, 1996).

2.3.4 Absorción

Después que las grasas son emulsificadas y solubilizadas por los ácidos biliares, el colesterol dietético, así como el colesterol sintetizado en el hígado, son absorbidos en el yeyuno proximal. Los esteres de colesterol, comprenden de 10 a 15 % del colesterol dietético total, los cuales son hidrolizados por una esterasa pancreática específica. La absorción del colesterol por los eritrocitos es un filtro que ocurre, principalmente por difusión pasiva a través de un gradiente de concentración establecido por la solubilización del colesterol en los ácidos biliares (Lehninger *et al.*, 1993).

2.3.5 Lipoproteínas y su clasificación

Las lipoproteínas son complejos macromoleculares que circulan en el plasma y la linfa. Cada lipoproteína desempeña funciones concretas en el transporte de lípidos, estas se clasifican en función de su densidad (Cuadro 2): las lipoproteínas de muy baja densidad (VLDL), lipoproteínas de baja densidad (LDL) y lipoproteínas de alta densidad (HDL). Las lipoproteínas están formadas por colesterol esterificado, triglicéridos, fosfolípidos y proteínas (Kris-Etherton y Etherton., 1982).

La LDL es la que contiene mayor cantidad de colesterol y ésteres de colesterol. Un exceso de LDL en el plasma se asocia con la aterosclerosis, resultado de la presencia y crecimiento interior de placas de colesterol, que pueden derivar en un infarto del miocardio (Bohinski, 1991).

El hígado también sintetiza las HDL como lipoproteínas vacías que circulan a través del torrente sanguíneo, recogen el exceso de colesterol desde los

distintos tejidos para que una vez en el hígado pueda ser metabolizado; es llamado transporte reverso.

Cuadro 2. Clase de lipoproteínas.

Lipoproteína	Densidad	Componente y cantidad
Quilomicrón	d<0.95	Triglicéridos, 85%
		Éster de colesterol, 3%
		Proteína, 2%
		Fosfolípidos, 9%
VLDL	d<1.006	Triglicéridos, 50%
		Éster de colesterol, 12%
		Proteína, 10%
		Fosfolípidos, 18%
LDL	d= 1.019 a 1.063	Triglicéridos, 10%
		Éster de colesterol, 37%
		Proteína, 23%
		Fosfolípidos, 20%
HDL	d=1.063 a 1.21	Triglicéridos, 4%
		Éster de colesterol, 15%
		Proteína, 55%
		Fosfolípidos, 24%

VLDL= lipoproteínas de muy baja densidad, LDL= lipoproteínas de baja densidad, HDL= lipoproteínas de alta densidad. Fuente: (Kris-Etherton y Etherton, 1982).

2.4 Generalidades del cromo y del cobre

Los minerales tienen una gran importancia en el metabolismo, se ha observado que 22 de ellos son considerados como elementos esenciales para la vida (Church, 2004). Las funciones de los minerales se pueden clasificar en: estructurales, fisiológicas, catalíticas y regulatorias. Estas funciones no son exclusivas de todos los minerales y varían de acuerdo al tipo de mineral y animal (Underwood y Suttle, 2003).

Estructural: los minerales pueden ser componentes estructurales de órganos y tejidos, tal como sucede con el calcio, fósforo, magnesio, flúor y silicio en huesos y dientes; y con el fósforo y el azufre en las proteínas musculares. Mientras que el zinc y el fósforo forman parte de moléculas y membranas contribuyendo a su estabilidad estructural (Underwood y Suttle, 2003).

Fisiológica: los minerales se presentan como electrolitos en tejidos y fluidos corporales, interviniendo en el mantenimiento de la presión osmótica, del equilibrio ácido-base, de la permeabilidad de la membrana y de la irritabilidad tisular; sodio, potasio, cloro, calcio magnesio en sangre, líquido cefalorraquídeo y jugo gástrico son ejemplos de estas funciones (Underwood y Suttle, 2003).

Catalítica: los minerales pueden actuar como catalizadores de sistemas enzimáticos y hormonales, como componentes integrales y específicos de las estructuras de metaloenzimas o como activadores menos específicos de dichos sistemas (Underwood y Suttle, 2003).

Reguladora: se ha descubierto que los minerales intervienen en la regulación de la respiración y diferenciación celular; el calcio, por ejemplo influye en las señales de transducción y el zinc influye en la transcripción, además de otras funciones reguladoras importantes como por ejemplo el yodo como constituyente de la tiroxina (Underwood y Suttle, 2003).

2.4.1 Cromo

El Cr es un elemento que pertenece al grupo VI de la tabla periódica y tiene un peso atómico de 52.0. El Cr puede existir en cualquier estado de oxidación desde -2 hasta +6. Las formas estables del Cr son +3 y +6. Casi todas las formas de Cr se encuentran en la forma trivalente (+3) que es la forma biológicamente activa (Pechova y Pavlata, 2007; Armendariz-Anguiano *et al.*, 2007).

La forma hexavalente (+6) es generalmente resultado de la contaminación industrial y es la forma tóxica (Armendariz-Anguiano *et al.*, 2007). Los

resultados han confirmado que el Cr juega un papel muy importante en el metabolismo de carbohidratos y lípidos, tanto en mamíferos como en aves, es un componente activo del factor de tolerancia a la glucosa (GTF) (NRC, 2005; Pechova y Pavlata, 2007).

La toxicidad por Cr hexavalente es una preocupación importante en seres humanos expuestos a este elemento en el ambiente laboral e industrial a este elemento, por inhalación o contacto dérmico que es la principal forma de intoxicación en humanos. Puede actuar como un cancerígeno y un irritante en humanos (Porter *et al.*, 1999; NRC, 2005).

Funciones

El Cr potencializa la acción de la insulina, por lo tanto, tiene incidencia en el metabolismo de los carbohidratos, lípidos y proteínas. Se ha observado que una vez en el plasma, el Cr se une principalmente a la transferrina y otras proteínas plasmáticas, que son las responsables de transportarlo en el cuerpo (Armendariz-Anguiano *et al.*, 2007).

Actividad de la insulina

La acción de la insulina es facilitar el transporte de la glucosa a través de las membranas plasmáticas del músculo y de las células adiposas. El factor de tolerancia a la glucosa podría potencializar la acción a través de uno o más mecanismos: formando un complejo con la insulina en el páncreas o en la sangre, favoreciendo la fijación inicial de la insulina a los tejidos y actuando como factor de algún sistema involucrado en el transporte de glucosa a través de las membranas.

Acción del factor tolerante a la glucosa

El factor de tolerancia a la glucosa potencializa la acción de la insulina elaborada por el páncreas (Porter *et al.*, 1999). El mecanismo de acción del factor de tolerancia a la glucosa aún no está definido claramente, pero es posible que actúe facilitando la unión de la insulina a los receptores celulares, y

cuando esto sucede se facilita la penetración de la glucosa al interior de las células (tejido hepático, muscular y adiposo) para que este pueda iniciar su metabolismo (Porter *et al.*, 1999; Rezende *et al.*, 2005).

Deficiencia de cromo

Los síntomas asociados a la deficiencia de Cr se pueden presentar como: deterioro a la tolerancia a la glucosa, elevación del nivel de insulina circulante, glicosuria, desórdenes de crecimiento, disminución de la longevidad y elevación del nivel de colesterol y de triglicéridos en el suero (NRC, 2005).

Absorción

La absorción del Cr trivalente es muy baja, se ha reportado que el rango de absorción se encuentra entre 0.4 a 2% del Cr consumido (NRC, 2005; Pechova y Pavlata, 2007).

Niveles de cromo en la dieta para pollos

Puls, (1998) menciona que los niveles de Cr en la dieta están en $< 3 \text{ mg kg}^{-1}$; un nivel adecuado en la dieta se encuentra en un rango de 5 a 20 mg kg^{-1} de alimento, mientras que los niveles tóxicos se encuentran en 300 mg kg^{-1} de alimento.

2.4.2 Cobre

En 1928 se demostró por primera vez que el Cu es un componente esencial de la dieta (Church, 2004), necesario para el crecimiento y la formación de hemoglobina. Este elemento participa en muchos procesos biológicos del organismo y la mayoría relacionados con actividades enzimáticas (Underwood y Suttle, 2003). Se encuentra distribuido en órganos como el hígado, cerebro, riñones, corazón; se encuentra en los pigmentos del ojo y participa en la pigmentación del pelo o lana (Church, 2004).

Funciones

El Cu es el mineral que activa el mayor número de enzimas. Es un elemento esencial para la reproducción, el desarrollo óseo, crecimiento, desarrollo del tejido conectivo y la pigmentación de los apéndices cutáneos (Underwood y Suttle, 2003). Algunas enzimas dependientes de Cu presentes en tejidos de mamíferos, sus funciones y consecuencias de una posible reducción marcada de su actividad, se presentan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Enzimas dependientes del cobre

Enzima	Funciones	Significado patognomónico
Ceruloplasmina	$\text{Fe}^{2+} \longrightarrow \text{Fe}^{3+}$ Transporte de hierro	Anemia
Citocromo c oxidasa	Transferencia electrónica final en la cadena	Anoxia (degeneración neuronal; hipertrofia respiratoria cardíaca.)
Dopamina-β-monooxigenasa	Metabolismo de catecolaminas	Diferente comportamiento
Lisil oxidasa	Enlaces X-desmosina en el tejido conectivo	Rotura aórtica; desórdenes articulares y osteoporosis
Peptidilglicina α-amida monooxigenasa	Síntesis de numerosas moléculas biogénicas, por ejemplo gastrina	Diferente apetito
Cobre-zinc superóxido dismutasa	Dismutación de O_2^- a H_2O_2	Peroxidación lipídica
Tirosina	Tirosina $\longrightarrow$ melanina	Despigmentación

Fuente: Underwood y Suttle, 2003

El Cu es necesario para la eritropoyesis, se piensa que interviene en la absorción del hierro en la mucosa intestinal, su movilización desde los tejidos y su utilización para la síntesis de hemoglobina. La ceruloplasmina es una α_2 -globulina plasmática con actividad ferroxidasa que contiene Cu y la cual facilita

el transporte del hierro mediante la formación de transferrina-Fe (III) (Underwood y Suttle, 2003). Necesario para una buena función de la enzima lisil oxidasa, ya que una reducción de la enzima puede alterar la estabilidad y consistencia del colágeno óseo y la mineralización del cartílago (Underwood y Suttle, 2003).

Deficiencias de cobre

La anemia es una expresión común de la deficiencia de Cu en todas las especies aunque únicamente suele desarrollarse cuando esta deficiencia es intensa o prolongada. Anomalías en el desarrollo óseo son expresiones de una deficiencia de Cu, pueden observarse como osteoporosis generalizada y una reducida incidencia de fracturas óseas espontáneas (Church, 2004; Underwood y Suttle, 2003).

La despigmentación suele ser el síntoma más precoz de la deficiencia de Cu en todas las especies animales de capa pigmentada. La falta de pigmentación en la lana de ovejas negras y la formación de pelo gris en el ganado vacuno, especialmente alrededor de los ojos es signo de una deficiencia de Cu. Niveles bajos de Cu pueden causar lesiones cardíacas, la lesión principal de la enfermedad es una degeneración lenta y progresiva del miocardio con fibrosis de sustitución y acumulo de hierro (Underwood y Suttle, 2003).

La ataxia neonatal en corderos puede prevenirse administrando suplementos de Cu a la oveja. La ataxia es un trastorno nervioso, caracterizado por incoordinación de movimientos y elevada mortalidad (Underwood y Suttle, 2003). En corderos se presentan tres tipos de ataxia: la que se manifiesta al nacer con lesiones primarias en el cerebro; la forma retardada con lesiones primarias en la médula espinal, que no aparecen hasta después de varias semanas; y una forma tardía atípica, con un edema cerebral como primera lesión lo que mantiene paralizado al cordero, con la cabeza temblando y aparentemente ciego (Underwood y Suttle, 2003).

Absorción

Estudios en humanos y en ratas indican que la absorción del cobre se encuentra en un rango de 30 a 70% y se produce principalmente en el intestino delgado (NRC, 2005). Otras investigaciones han encontrado que la absorción de Cu en humanos se encuentra en un rango de 24 a 60% (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2004).

Máximos

El nivel máximo tolerable se define como el nivel más alto de inclusión en la dieta, cuando se administra en un periodo definido; es el nivel que no pone en riesgo la salud del animal. Los niveles máximos de adición de Cu por kg de alimento son, para pavos, 250 mg; pollos, 250 mg; patos, 100 mg; cerdos, 250 mg; caballos, 250 mg; conejos, 500 mg; ratas, 1000 mg; ratones, 2000 mg y ovinos, 15 mg (NRC, 2005).

2.4.3 Efecto del cobre y cromo en variables productivas del pollo de engorda

Consumo de alimento

Miñón-Huesca *et al.* (2006) observaron que en pollos de 22 a 42 días de edad la adición de 100 mg de Cu kg⁻¹ de alimento aumentó en 15% el consumo de alimento. Se ha observado que dosis elevadas de Cu en la dieta pueden causar una disminución del consumo de alimento. Chiou *et al.* (1999) observaron que la adición de 500 mg de Cu kg⁻¹ de alimento disminuyó en 9.6% el consumo de alimento. Resultados similares fueron reportados por Zia-Ur-Rahman *et al.* (2001), quienes suplementaron 350 mg de Cu kg⁻¹ de alimento en pollos de engorda y observaron que el consumo de alimento disminuyó 4% y además causó lesiones en la molleja y afectó el crecimiento de las aves.

Ganancia de peso

La adición de cobre ha tenido efectos positivos en la ganancia de peso de pollos de engorda, Miñón-Huesca *et al.* (2006) reportaron que en pollos de 22 a 42 días de edad la suplementación de 100 mg de Cu kg⁻¹ de alimento, aumentó 22% la ganancia de peso. Resultados similares fueron reportados por Ewing *et al.* (1998) quienes observaron que 125 mg de Cu suplementados en pollos de 42 días de edad incrementaron 8% la ganancia de peso. Mientras que Chiou *et al.* (1999) reportan que al adicionar 500 mg de Cu en la dieta disminuyó en 13% la ganancia de peso; probablemente debido a una dosis elevada de Cu.

Con la utilización de Cr en la dieta se han reportado efectos positivos en ganancia de peso.

Con la utilización de Cr en la dieta se han reportado efectos positivos en la ganancia de peso; Króliczewska *et al.* (2005) suplementaron dos niveles de Cr; 0.3 y 0.5 mg kg⁻¹ de alimento en pollos de engorda y observaron que la segunda dosis mejoró 1.34% la ganancia de peso a los 21 días de edad y 3.7% a los 42 días de edad. Sin embargo, Suksombat y Kanchanatawee (2005) reportan que la adición de 0.2, 0.4 y 0.8 mg de Cr kg⁻¹ de alimento no afectó la ganancia de peso de las aves.

Conversión alimenticia

Miñón-Huesca *et al.* (2006) mencionan que al adicionar 200 mg de Cu kg⁻¹ de alimento disminuyó 21% la conversión alimenticia. Resultados similares fueron reportados por Brainer *et al.* (2003) quienes reportan que la adición de 75 mg de Cu en la dieta disminuyó la conversión alimenticia (1.976 vs 2.014) en la etapa de desarrollo de las aves.

Por otra parte, Anandhi *et al.* (2006) suplementaron 0.25, 0.5 y 0.75 mg de Cr kg⁻¹ de alimento, reportando que no hubo diferencias significativas en la conversión alimenticia de las aves.

Peso vivo

Miñón-Huesca *et al.* (2006) suplementaron ocho niveles de Cu (0, 50, 100, 150, 200, 250, 300 y 350 mg kg⁻¹) en pollos de engorda en la etapa de finalización (22-42 d) y observaron que al suplementar 100 mg de Cu kg⁻¹ de alimento aumentó 14% el peso vivo del pollo. Mientras que al suplementar cromo, Liu *et al.* (2010) encontraron que con 0.2 mg de Cr kg⁻¹ de alimento incrementó el peso vivo a los 49 días de edad en un 3.7 %. Króliczewska *et al.* (2005) reportan que la adición de 0.5 mg de Cr kg⁻¹ de alimento incrementó 1.4 % el peso del pollo a los 21 días y 4% a los 42 días.

Efecto en las características de la canal

Liu *et al.* (2010) reportan que la adición de 0.2 mg de Cr kg⁻¹ de alimento en la dieta de pollos de engorda, no afectó el peso de la pechuga, peso de la grasa abdominal y el contenido de colesterol total. Sin embargo, Suksombat y Kanchanatawee (2005) reportan que la adición de 0.2 mg de Cr kg⁻¹ de alimento disminuyó la grasa de la pechuga del pollo un 17% y 7.6% el colesterol. Un efecto similar fue reportado por Anandhi *et al.* (2006) quienes suplementaron 0.25, 0.50 y 0.75 de Cr kg⁻¹ de alimento observando que con la dosis intermedia disminuyó 24% la grasa abdominal y 13% el colesterol en la pechuga.

Efecto del cobre y cromo sobre las concentraciones de colesterol

El uso de Cu en pollos de engorda ha tenido efectos positivos disminuyendo las concentraciones de colesterol. Zia-Ur-Rahman *et al.* (2001) observaron que la adición de 350 mg de Cu kg⁻¹ de alimento en pollos de engorda redujo 18% el colesterol en plasma y 17% los triglicéridos del plasma.

Konjufca *et al.* (1997) adicionaron dos niveles de Cu (63 y 180 mg de Cu kg⁻¹ de alimento) y observaron que al adicionar 180 mg de Cu kg⁻¹ se redujo 21% el colesterol del muslo y 23% el de la pechuga, reportando que el músculo del muslo contiene mayor contenido de colesterol que el músculo de la pechuga (muslo: 145 y pechuga: 41 mg 100 g⁻¹ de tejido). Una posible explicación es que el colesterol es asociado con el tejido adiposo, el cual es más abundante en el

muslo que en la pechuga. Por otra parte, Króliczewska *et al.* (2005) observaron que la suplementación de 0.5 mg de Cr kg⁻¹ de alimento disminuyó 19% el contenido de colesterol en la pechuga y 12% en la pierna.

2.5 Literatura citada

- Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 2004. Toxicological profile for copper. U. S. Department of Health and Human Services. 314 p.
- Anandhi, M., R. Mathivanan, K. Viswanathan, and B. Mohan. 2006. Dietary inclusion of organic chromium on production and carcass characteristics of broilers. *International Journal of Poultry Science* 5(9): 880-884.
- Armendariz-Anguiano A. L., M. Bacardí-Gascón, y A. Jiménez C. 2007. Evidencias del efecto del cromo en personas con diabetes: revisión sistemática. *Revista Biomédica* 18: 117-126.
- Bázquez M., M. S., y F. Durán M. 2006. Frecuencia de hipercolesterolemia en pacientes extremos del Hospital Escuela de la Universidad Veracruzana. *Revista Médica de la Universidad Veracruzana* 6: 6-10.
- Bohinski, R. C. 1991. *Bioquímica*. Ed. Addison Wesley Iberoamericana. México, D. F. 739 p.
- Brainer, M. M., de A., J. F. 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: 441-445.
- Carvajal S, G. 2001. Valor nutricional de la carne de res, cerdo y pollo. *Corporación de Fomento Ganadero, San Jose-Costarrica*. 70 p.
- CEFP (Centro de Estudios de Finanzas Públicas). 2007. Mercado del maíz y la agroindustria de la tortilla. *Cámara de Diputados, H. Congreso de la Unión, México*. 20 p.
- 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 in broiler chickens. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 12: 548-553.
- Church, D. C., W. G. Pon, y K. R. Pond. 2004. *Fundamentos de nutrición y alimentación de animals*. Ed. Limusa. 2ª Edición. México, D. F. pp: 213-216.
- Conn, E. E., and P. K. Stumpf. 1996. *Bioquímica Fundamental*. Ed. Limusa. México, D. F. 736 p.
- Cruz-Zavala, A. Y., M. Oseki-Ramos, P. Ramos-Aguilar, Y. G. Sosa-Garcia, y M. A. Rodríguez-Feliciano. 2007. Comparación de niveles de colesterol en dos poblaciones: Arriaga, Chiapas y Chahuities, Oaxaca. *Asociación Mexicana de Bioquímica, A. C. Distrito Federal, México*. 124 p.
- Ewing, H. P., G. P. Pesti, R. I. Bakalli, and J. F. Menten. 1998. Studies on the feeding of cupric sulfate pentahydrate, cupric citrate, and copper oxychloride to broiler chickens. *Poultry Science* 77: 445-448.
- Jackson, A. R., S. Powell, S. Johnston, J. L. Shelton, T. D. Bidner, F. R. Valdez, and L. L. Southern. 2008. The effect of chromium propionate on growth

- performance and carcass traits in broilers. *Journal of Applied Poultry Research* 17: 476-481.
- Konjufca, V. H., G. M. Pesti, and R. I. Bakalli. 1997. Modulation of cholesterol levels in broiler meat by dietary garlic and copper. *Poultry Science* 76: 1264-1271.
- Kris-Etherton, P. M., and T. D. Etherton. 1982. The role of lipoproteins in lipid metabolism of meat animals. *Journal of Animal Science* 55: 804-817.
- Króliczewska, B., W. Zawadzki, T. Skiba, and D. Mista. 2005. Effects of chromium supplementation on chicken broilers growth and carcass characteristics. *Acta Veterinaria Brno* 74: 543-549.
- Lehninger, A. L., Nelson D. L., y Cox, M. M. 1993. *Principios de Bioquímica*. Ediciones Omega, S. A. Barcelona, España. 1013 p.
- Lien, T. F., Y. M. Horng, and K. H. Yang. 1999. Performance, serum characteristics, carcass traits and lipid metabolism of broilers as affected by supplement of chromium picolinate. *British Poultry Science* 40: 357-367.
- Liu, Z. Z., G. Q. Wu, J. X. Zheng, J. Y. An, N. Yang, and G. Y Xu. 2010. Supplemental Chromium picolinate promotes growth of broiler chickens by enhancing insulin receptor gene expression. *Journal of Animal Science Biotechnology* 1:7-14.
- Miñón-Huesca E., M. J. González-Alcorta, M. Huerta-Bravo, G. Crespo-López, S. Carrillo-Domínguez, R. M. Castillo-Domínguez, J. M. Cuca-García, y J. E. Morales-Barrera. 2006. Niveles óptimos biológicos y económicos de cobre dietético en pollos de engorda. *Agrociencia* 40: 163-170.
- Montero B, J. 2008. Papel del colesterol mitocondrial en la resistencia del carcinoma hepatocelular a la quimioterapia. Tesis Doctoral. Barcelona, España. 171 p.
- Moráis L., R. A. Lama M. J. Dalmau S., y J. Aranceta B. 2009. Hipercolesterolemia. Abordaje terapéutico. *Anales de Pediatría* 70: 488-496.
- Murray K. R., Granner K. D., y Rodwell W. V. 2007. Harper. *Bioquímica ilustrada*. 17ª edición. Editorial El Manual Moderno. México D. F. 692 p.
- NRC (National Research Council). 2005. Mineral Tolerance of animals. 2ª ed. The National Academies Press. Washington, D. C. 496 p.
- OMG (Organización Mundial de Gastroenterología). 2009. *Obesidad*. 31p.
- OMS (Organización Mundial de la Salud). 2005. Evite los infartos de miocardio y los accidentes cerebrovasculares. 48 p.
- OPS (Organización Panamericana de la Salud). 2005. Estrategia de cooperación con el país de México. 119 p.

- Pechova, A., and L. Pavlata. 2007. Chromium as an essential nutrient: a review. *Veterinarni Medicina* 52: 1–18.
- Puls R. 1988. Mineral Levels in Animal Health Diagnostic Data. Edit. Sherpa International. Canada. 150 p.
- Porter D. J., L. W. Raymond, and G. D. Anastacio. 1999. Chromium: ¿Friend or foe?. *Arch. Fam. Med.* 8: 386-390.
- Rezende G., M., M. Macedo R., y J. Tirapegui. 2005. Consideraciones sobre cromo, insulina y ejercicio físico. *Revista de Medicina* 11: 262-266.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo, Pesca y Alimentación). 2009. Situación actual y perspectiva de la producción de carne de pollo en México. Coordinación General de Ganadería. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo, Pesca y Alimentación 39 p.
- SSA (Secretaria de Salud), 2004. Enfermedades cardiovasculares e hipertensión arterial. Primera edición. Secretaria de Salud, México, D. F. 62 p.
- Suksombat, W., and S. Kanchanatawee. 2005. Effects of various sources and levels of chromium on performance of broilers. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 18:1628-1633.
- UNA (Unión Nacional de Avicultores). 2010. Compendio de Indicadores Económicos del Sector Avícola. Unión Nacional de Avicultores. <http://www.una.org.mx>. Consultada el 20 de abril de 2011.
- Underwood, E. J., and N. F. Suttle. 2003. Los minerales en la nutrición del Ganado. 3ª ed. Editorial Acribia, Zaragoza, España. 637 p.
- Zia-Ur-Rahman, B. Faiza, M. A. Ali, A. B. Essaddig, Z. I. Mahjiub, H. Mehdi, M. R. Masoud, J. S. A. Shoukat, and A. Navid. 2001. Effects of copper supplement on haematological profiles and broiler meat composition. *International Journal of Agriculture and Biology* 2: 203-205.

3. COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DEL POLLO DE ENGORDA SUPLEMENTADO CON COBRE Y CROMO

3.1 Resumen

El objetivo del experimento fue evaluar la productividad y las características de la canal en pollos de engorda alimentados con dietas adicionadas con 0, 100 y 200 mg de cobre (Cu) y 0, 0.5, 1.0 y 1.5 mg de cromo (Cr) kg^{-1} de alimento. Se utilizó un diseño completamente al azar con 1296 pollos, de 1 a 49 días, de la línea Ross 308 (648 hembras y 648 machos), repartidos en 24 tratamientos resultantes del arreglo factorial de los 3 niveles de Cu, 4 niveles de Cr y los dos sexos. Se tuvieron tres fases alimenticias: iniciación (1-14 días), crecimiento (15-28 días) y finalización (29-49 días). Las dietas fueron a base de sorgo, pasta de soya, gluten de maíz, aceite de soya, misma que cubrieron los requerimientos de la línea. Las variables analizadas fueron: consumo de alimento (C), ganancia de peso (GP), conversión alimenticia (CV) y peso vivo (PV). La suplementación de Cr disminuyó ($p<0.0293$) la GP y el PV del pollo en la etapa de iniciación, mientras que en la etapa de crecimiento y finalización no afectó ($p>0.05$) el comportamiento productivo. El Cu disminuyó ($p<0.0115$) de forma lineal la CV en la etapa de crecimiento. Sin embargo, en la etapa de iniciación y finalización el Cu disminuyó ($p<0.05$) de forma lineal el PV, C y la GP. Los machos tuvieron mayor PV, C, GP y menor CV que las hembras. La interacción de Cu y Cr no afectó el comportamiento del pollo en ninguna de las etapas. En conclusión, la adición de Cu disminuyó la conversión alimenticia en la etapa de crecimiento; el Cr afectó el comportamiento del pollo de engorda solo en la etapa de iniciación.

Palabras clave: pollo, cobre, cromo, consumo de alimento, ganancia de peso

Tesis de Maestría en Ciencias en Innovación Ganadera, Universidad Autónoma Chapingo”

Autor: Leodan Tadeo Rodríguez Ortega

Codirectores de Tesis: Ph.D. Mariano Jesús González Alcorta y Ph.D. Sergio Gómez Rosales

3.2 Abstract

PRODUCTIVE PERFORMANCE OF BROILERS SUPPLEMENTED WITH COPPER AND CHROMIUM

The objective of this research was to evaluate the productive parameters from 1 to 49 days of age of broilers fed diets added with 0, 100 and 200 mg of copper (Cu) and 0, 0.5, 1.0 and 1.5 mg of chromium (Cr) kg⁻¹ feed. A complete randomized design with 1296, one day old, Ross 308 broilers (648 females and 648 males) was used, divided into 24 treatments resulting from the factorial arrangement of 3 levels of Cu, 4 levels of Cr and the sex. There were three feeding phases: starter (1-14 days), grower (15-28 days) and finisher (29-49 days). The diets were based on sorghum, soybean meal, corn gluten, soy oil, which covered the nutrient recommendations of the line. The variables analyzed were: feed intake (C), weight gain (GP), feed conversion (CV) and weight (PV). Dietary Cr decreased ($p < 0.0293$) the GP and the PV of the chicken in the starter phase, while in the grower and finisher phases did not affect ($p > 0.05$) the growth performance. The dietary Cu linearly decreased ($p < 0.0115$) the CV in the grower phase. However, in the starter and finisher phases the Cu linearly decreased ($p < 0.05$) the PV, C and GP. Males had higher PV, C, GP and CV lower than females. The interaction of Cu and Cr did not affect the performance of the broilers in any phase. In conclusion, the addition of Cu decreased the feed conversion in the grower phase and the Cr affected the performance of broilers only in the starter phase.

Key words: chicken, copper, chromium, feed intake, weight gain

Master of Science Thesis, Universidad Autónoma Chapingo

Author: Leodan Tadeo Rodríguez Ortega

Coadvisors: Ph.D. Mariano Jesús González Alcorta and Ph.D. Sergio Gómez Rosales

3.3 Introducción

El incremento del precio de los cereales ha tenido un fuerte impacto en la industria avícola de México, lo que ha obligado a los productores de pollos de engorda a buscar nuevas alternativas para disminuir la conversión alimenticia del pollo y mejorar la ganancia de peso. Se ha observado que el cromo (Cr) y el cobre (Cu) adicionados a la dieta de pollos de engorda tiene efectos positivos en la producción. El Cr es un elemento que juega un papel importante en el metabolismo de los lípidos, carbohidratos y proteínas, y forma parte del factor de tolerancia a la glucosa (GTF) (Pechova y Pavlata, 2007). Króliczewska *et al.* (2005) suplementaron 0.3 y 0.5 mg de Cr kg⁻¹ de alimento en pollos de engorda y encontraron que al suplementar el nivel mayor de Cr kg⁻¹ se incrementó 3.79% el peso vivo y 3.9% la ganancia de peso. El Cu es un mineral esencial utilizado en pollos de engorda como promotor de crecimiento. Es un elemento esencial para la reproducción, el desarrollo óseo, crecimiento, desarrollo del tejido conectivo y la pigmentación de los apéndices cutáneos (Underwood y Suttle, 2003). Miñón-Huesca *et al.* (2006) suplementaron ocho niveles de Cu (0, 50, 100, 150, 200, 250, 300 y 350 mg kg⁻¹) en pollos de engorda en la etapa de finalización (22-42 d) observando que al suplementar 100 mg de Cu kg⁻¹ de alimento aumentó 15% el consumo de alimento, 22% la ganancia de peso y 14% el peso vivo.

En las investigaciones mencionadas anteriormente, el Cr y el Cu se han adicionado a la dieta por separado, pero no se ha evaluado la posibilidad de encontrar un efecto sinérgico entre estos dos minerales sobre la productividad, lo cual podría redundar en un mayor beneficio sobre la eficiencia de uso de los recursos alimenticios y la eficiencia económica en la producción de pollos de engorda. Por lo anterior, el objetivo de este experimento fue adicionar a la dieta de pollos de engorda 0, 100, 200 mg de Cu y 0, 0.5, 1.0, 1.5 mg de Cr de fuentes orgánicas para evaluar el comportamiento productivo.

3.4 Materiales y métodos

El experimento se realizó en la nave de pollos del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal (CENID Fisiología INIFAP), ubicado en Ajuchitlán, Querétaro del 27 de octubre al 15 de diciembre de 2010.

Se utilizaron 1,296 pollos de la línea Ross 308 (648 hembras y 648 machos) de un día de nacidos, con peso promedio de 43.78 g. Se repartieron en 48 corrales de 2 m² (Figura 3), resultantes del arreglo factorial de tres niveles de Cu (0, 100, 200 mg) por cuatro de Cr (0, 0.5, 1, 1.5 mg).

Fuentes de cobre y cromo utilizadas

La fuente de Cu que se utilizó fue Cu en levadura (1.0×10^4 UFC g⁻¹), con número de registro en SAGARPA: A-009-020, producto manufacturado en México. El contenido de Cu en levadura fue: 100,000 ppm ó 10%.

También se utilizó Cr en levadura (1.0×10^4 UFC g⁻¹), con número de registro de SAGARPA: A-0019-001, producto manufacturado en México. El contenido de Cr en levadura: 2 000 ppm ó 2%.

Las combinaciones de los tres niveles de Cu y los cuatro de Cr, se muestran en el Cuadro 4. Cada corral tuvo 27 pollos del mismo sexo (Figura 3), la alimentación y el agua de bebida fue a libre acceso durante 49 días. Se utilizó una dieta base con sorgo, pasta de soya y gluten de maíz (Cuadro 5). La alimentación se dividió en tres etapas: iniciación (1 a 14 d), crecimiento (15 a 28 d) y finalización (29 a 49 d), para cubrir las necesidades de las aves conforme su desarrollo.

Cuadro 4. Arreglo factorial tres niveles de cobre y cuatro de cromo.

Tratamiento	Nivel de Cu, mg kg ⁻¹	Nivel de Cr, mg kg ⁻¹
1	0	0
2	0	0.5
3	0	1.0
4	0	1.5
5	100	0
6	100	0.5
7	100	1.0
8	100	1.5
9	200	0
10	200	0.5
11	200	1.0
12	200	1.5



Figura 3. Corral de 2 m² con 27 pollos de un día de edad.

Cuadro 5. Dieta base y composición nutrimental calculada para las etapas de iniciación, crecimiento y finalización.

Ingredientes	Iniciación, kg	Crecimiento, kg	Finalización, kg
Sorgo	533.71	607.55	652.28
Pasta de soya	332.95	258.19	217.25
Gluten de maíz	40.00	50.00	40.00
Aceite de soya	39.54	38.06	47.16
Carbonato de calcio	17.03	15.75	15.75
Ortofosfato de calcio	16.80	12.07	9.81
L-Treonina	1.63	1.41	1.30
DL-Metionina	3.74	2.47	1.95
L-Lisina HCl	4.21	4.11	4.13
Premezcla mineral ^x	1.00	1.00	1.00
Premezcla vitamínica ^y	1.00	1.00	1.00
Colina	2.13	2.13	2.13
Sal	3.50	3.50	3.50
Arena ^z	2.75	2.75	2.75
----- Composición nutrimental calculada -----			
EM, kcal/kg	3000.00	3100.00	3200.00
PC, %	22.00	20.00	18.00
Lisina, %	1.27	1.10	1.00
Metionina, %	0.66	0.52	0.44
Metionina + Cisteína, %	0.94	0.78	0.68
Treonina, %	0.83	0.73	0.65
Calcio, %	1.05	0.90	0.85
Fosforo disponible, %	0.45	0.35	0.30
Colina	1600.00	1600.00	1600.00

^xLa premezcla de minerales aportó: 0.300 g de Se, 0.350 g de I, 10 g de Cu, 80 g de Fe, 50 g de Zn, 60 g de Mn.

^yLa premezcla de vitaminas aportó: 10,000,000 UI de Vit. A, 3,000,000 UI de Vit D3, 25,000 UI Vit. E, 2,500 g Vit. K, 2 g de Tiamina, 6 g de Riboﬂavina, 50 g de Niacina, 4 g de piridoxina, 0.020 g de cianocobalamina, 15 g de D. Pantotenato, 0.15 g de Biotina, 1 g de ácido fólico, 50 g de fitasas, 0.125 g de antioxidante y 500 g de vehículo.

^zLos niveles dietéticos de las fuentes de Cu y Cr sustituyeron a la arena.

Variables evaluadas

Las variables evaluadas fueron: consumo de alimento (C), ganancia de peso (GP), conversión alimenticia (CV) y peso vivo (PV), las cuales se analizaron por etapa de desarrollo.

El consumo de alimento (Figura 4) y el agua de bebida fueron suministrados a libre acceso. Cada semana se registraba el total de alimento ofrecido menos el rechazado para estimar el consumo de las aves.



Figura 4. Consumo de alimento en la etapa de crecimiento.

Los animales se pesaron cada semana para determinar la GP (peso final menos peso inicial entre el número de días). La CV se estimó dividiendo el C entre la GP.

El día 49 de vida de los animales se les determinó el peso final y se estimó su promedio por corral (peso total entre el número de animales).

Diseño experimental

Para evaluar el comportamiento productivo se utilizó un diseño estadístico completamente al azar y con arreglo factorial de tratamientos de acuerdo al siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ijkl} = \mu + NCu_i + NCr_j + S_k + (NCu_i * NCr_j) + (S_k * NCu_i) + (S_k * NCr_j) + (S_k * NCu_i * NCr_j) + E_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ijkl} es el valor de la variable respuesta, μ es la media general, NCu_i es el nivel dietético de cobre, NCr_j es el nivel dietético de cromo, S es el sexo (macho o hembra), $NCu_i * NCr_j$ es la interacción del cobre con cromo, $S_k * NCu_i$ es la

interacción entre sexo del ave por nivel dietético de Cu, $S_k * NCr_j$ es la interacción entre sexo del ave por nivel dietético de Cr, E_{ijkl} es el error experimental. Los resultados se analizaron en el programa SAS, y las medias se compararon por contrastes ortogonales (SAS, 2002).

3.5 Resultados y discusión

Iniciación: de 1 a 14 días de edad

En ninguna de las variables analizadas las interacciones dobles y triples fueron estadísticamente significativas. Por lo anterior, en la discusión sólo se consideran los efectos principales incluidos en el modelo: nivel de Cu suplementado, nivel de Cr suplementado y sexo del animal.

Los niveles crecientes de Cu en la etapa de iniciación (1-14 d), disminuyó linealmente el PV ($p<0.0102$), el C ($p<0.0004$) y la GP ($p<0.0102$) de las aves (Cuadro 6 y Figuras 5 y 6). Es importante señalar que la adición de 100 mg de Cu kg⁻¹ de alimento disminuyó 0.78% (416.5 vs 419.8 g) el PV, 1.99% (477.9 vs 487.6 g) el C y 0.71% (373 vs 375.7 g) la GP.

Al adicionar 200 mg de Cu en la dieta el PV disminuyó 3% (406.6 vs 419.8 g), el C 4% (487.6 vs 468.3 g) y la GP 3.4% (375.7 vs 362.8) con referencia a la dieta basal. La European Commission, (2003) menciona que el uso de Cu en la dieta modifica la carga bacteriana del intestino. La disminución de GP y PV en esta etapa podría deberse a un período de adaptación de la flora intestinal a los niveles dietéticos de cobre.

Estos resultados no concuerdan con los encontrados por Arias y Koutsos (2006) quienes suplementaron 180 mg de Cu kg⁻¹ de alimento en forma de sulfato de cobre en pollos de 14 días de edad y observaron que el peso vivo incrementó 11% (267 vs 240 g ave⁻¹). Tampoco son similares con los reportados por Miñón-Huesca *et al.* (2006) quienes evaluaron ocho niveles de Cu (0, 50, 100, 150, 200, 250, 300 y 350 mg kg⁻¹) en pollos de engorda de 21 d de edad y observaron que el Cu no afectó el C, GP, CV y el PV. Es importante hacer notar que Miñón-Huesca *et al.* (2006) evaluaron siete días más que esta investigación, por lo que las aves pudieron haberse repuesto al período de adaptación de la flora intestinal.

El Cr en dosis crecientes disminuyó ($p<0.0293$) de forma lineal el PV (Cuadro 6; Figura 7); a un nivel de 1.5 mg de Cr kg⁻¹ de alimento el PV disminuyó 3.6% (421.4 vs 406.0 g). El C no se afectó con la adición de Cr en la dieta. Sin embargo, se observó un efecto cúbico ($p<0.0102$) en la GP (Figura 8); al suplementar 1.5 mg de Cr la GP disminuyó 4% (377.2 vs 362.4 g). Los resultados observados en la suplementación de Cr no son similares a los encontrados por Jackson *et al.* (2008) quienes observaron que la adición de hasta 0.8 mg de Cr kg⁻¹ de alimento no afectó la GP, C ni CV en pollos que tenían 14 d de edad.

La CV no se afectó ($p>0.3454$) por la suplementación de Cu y Cr; la CV promedio de las aves fue 1.29. En esta etapa los machos fueron 3.8% (422.2 vs 406.4 g) más pesados que las hembras (Figura 9), consumieron 3.5% (486.2 vs 469.7) más alimento y ganaron 4.1% (378 vs 363 g) más peso que las hembras (Cuadro 6). Los resultados observados en hembras y machos en esta investigación son similares a los encontrados por Miñón-Huesca *et al.* (2006) ya que las hembras tuvieron menor PV, C y GP que los machos.

Cuadro 6. Promedios y probabilidades del peso vivo (PV), consumo de alimento (C), ganancia de peso (GP) y conversión alimenticia (CV) de pollos de engorda en la etapa de iniciación (1-14 d).

Dosis	PV, g	C, g	GP, g	CV
Cu				
0	419.8	487.6	375.7	1.30
100	416.5	477.9	373	1.28
200	406.6	468.3	362.8	1.29
EEM ^x	3.33	3.32	3.17	0.012
Cr				
0	421.4	482.6	377.2	1.28
0.5	411.8	477.1	368.0	1.3
1	418.0	477.9	374.5	1.28
1.5	406.0	474.3	362.4	1.31
EEM ^x	3.85	3.83	3.67	0.014
Sexo				
Hembra	406.4	469.7	363	1.29
Macho	422.2	486.2	378	1.29
EEM ^x	2.72	2.71	2.59	0.01
Probabilidades				
Fuente de variación				
Cu	0.0268	0.0016	0.0201	0.6327
Cr	0.0449	0.4981	0.0371	0.3454
Cu*Cr	0.3963	0.1035	0.3149	0.6429
Sexo	0.0004	0.0002	0.0004	0.6121
Cu*Sexo	0.8458	0.696	0.792	0.9616
Cr*Sexo	0.7866	0.2382	0.8364	0.7472
Cu*Cr*Sexo	0.5986	0.1417	0.5772	0.4202
Contrastes				
Cu Lineal	0.0102	0.0004	0.0083	0.6875
Cu Cuadrático	0.4193	0.9965	0.3404	0.3897
Cr Lineal	0.0293	0.1709	0.0294	0.2963
Cr Cuadrático	0.7591	0.8014	0.6854	0.5317
Cr Cúbico	0.0604	0.539	0.0466	0.1767

^xEEM= Error Estándar de la media

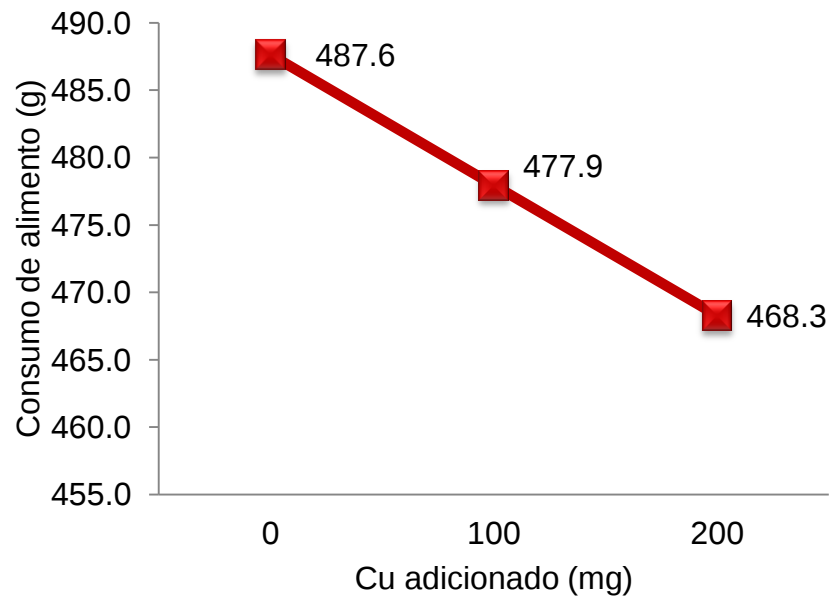


Figura 5. Efecto del cobre en el consumo de alimento.

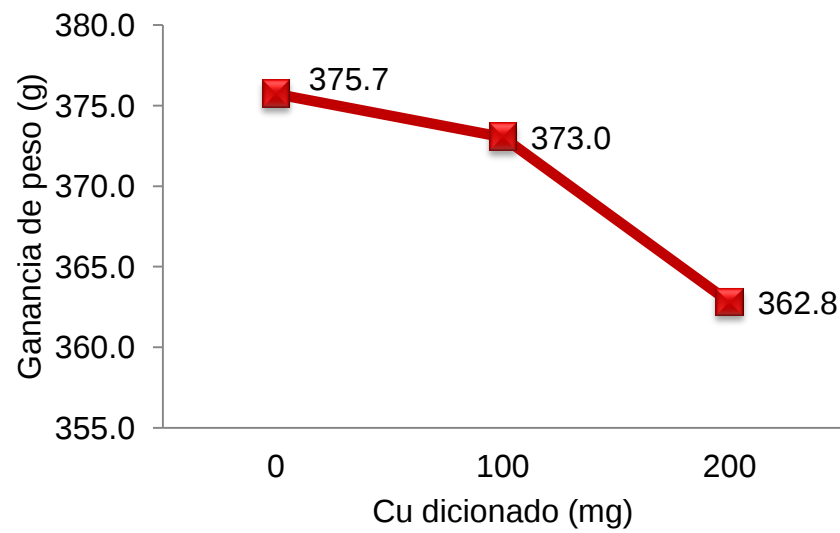


Figura 6. Efecto del cobre en la ganancia de peso.

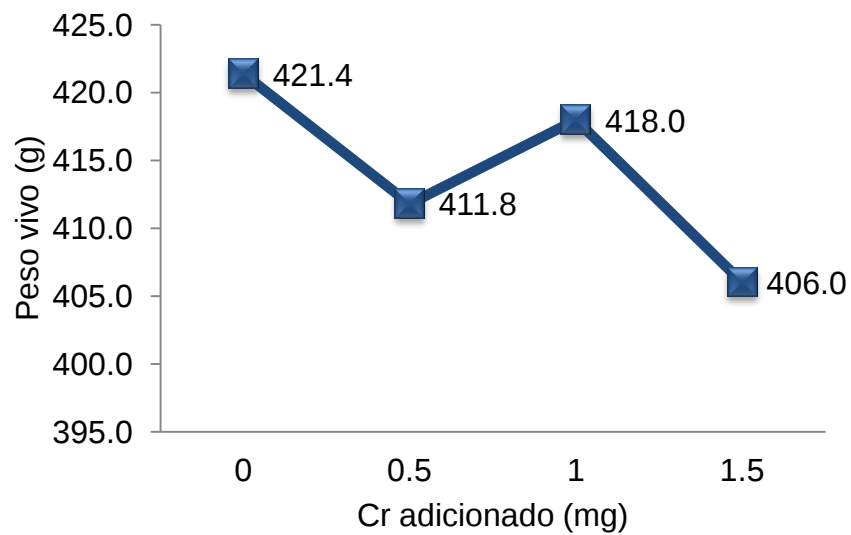


Figura 7. Efecto del cromo en el peso vivo.

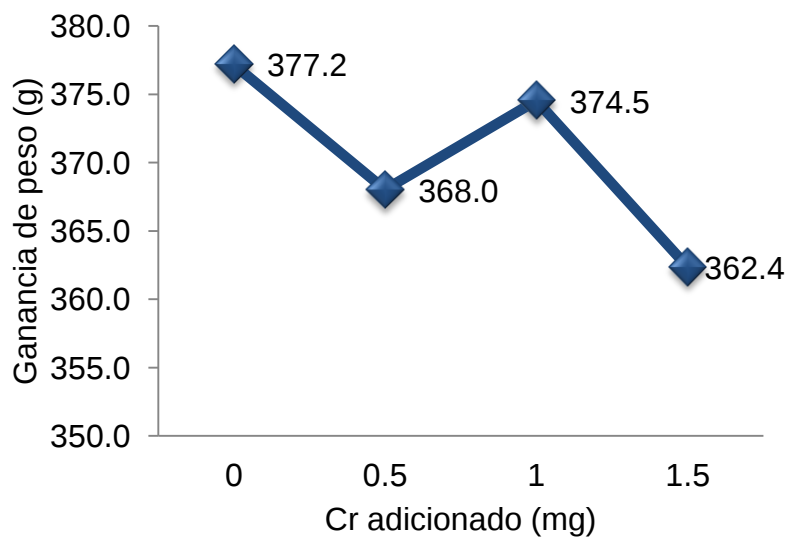


Figura 8. Efecto del cromo en la ganancia de peso.

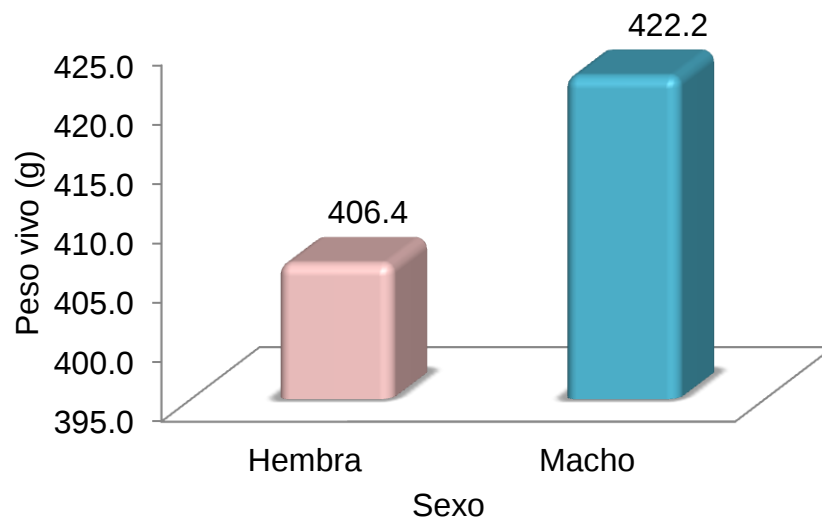


Figura 9. Peso vivo final del pollo en la etapa de iniciación.

Crecimiento: de 15 a 28 d de edad

Las interacciones dobles y la triple no fueron estadísticamente significativas en ninguna de las variables analizadas ($p > 0.05$). En esta etapa la suplementación de Cu y Cr no afectó ($p > 0.05$) el PV, el C ni la GP (Cuadro 7).

La adición de 200 mg de Cu disminuyó 4.7% (1.63 vs 1.71) la CV ($p < 0.0031$) (Figura 10). Aunque no se observó diferencia significativa ($p > 0.182$) en la GP y PV ($p > 0.6672$), la adición de 200 mg de Cu incrementó 24.8 g (782.2 vs 757.4 g) la GP y 11.7 g el PV (1188.9 vs 1177.2 g). Estos resultados son benéficos para la producción de pollo de engorda, ya que se hizo más eficiente el uso de ingredientes que tienen un costo elevado, como la soya que es una fuente de proteína y el sorgo como fuente de energía. El Cr no ($p > 0.0818$) afectó la CV. El sexo de las aves no afectó ($p > 0.05$) el C de alimento (Figura 12). Sin embargo, los machos tuvieron 6.2% (1220.8 vs 1149.7 g) más PV ($p < 0.0001$), 7.4% (798.6 vs 743.3 g) mayor GP ($p < 0.0001$) y 4.6% (1.63 vs 1.71) menor CV ($p < 0.0003$) que las hembras (Cuadro 7 y Figuras 11, 13 y 14).

Cuadro 7. Promedios y probabilidades del peso vivo (PV), consumo de alimento (C), ganancia de peso (GP) y conversión alimenticia (CV) de pollos de engorda en la etapa de crecimiento (15-28 d).

Dosis	PV, g	C, g	GP, g	CV
Cu				
0	1177.2	1293.7	757.4	1.71
100	1189.7	1287.7	773.1	1.67
200	1188.9	1271.4	782.2	1.63
EEM ^x	10.87	11.44	9.27	0.018
Cr				
0	1177.8	1280.9	756.4	1.70
0.5	1176.4	1273.7	764.6	1.67
1	1187.1	1295.9	769.1	1.69
1.5	1199.6	1286.6	793.6	1.62
EEM ^x	12.55	13.22	10.70	0.018
Sexo				
Hembra	1149.7	1272.7	743.3	1.71
Macho	1220.8	1295.8	798.6	1.63
EEM ^x	8.88	9.34	7.57	0.018
Probabilidad				
Fuente de variación				
Cu	0.6672	0.376	0.182	0.0115
Cr	0.5466	0.6818	0.1104	0.0818
Cu*Cr	0.0679	0.3724	0.0855	0.2661
Sexo	<.0001	0.0929	<.0001	0.0003
Cu*Sexo	0.9523	0.5418	0.8568	0.9012
Cr*Sexo	0.9372	0.7883	0.876	0.7982
Cu*Cr*Sexo	0.8221	0.4446	0.7573	0.3262
Contraste				
Cu Lineal	0.4557	0.1805	0.0707	0.0031
Cu Cuadrático	0.6229	0.7161	0.7752	0.912
Cr Lineal	0.1874	0.5104	0.0232	0.0385
Cr Cuadrático	0.5876	0.9383	0.4567	0.4375
Cr Cúbico	0.8564	0.3122	0.626	0.1558

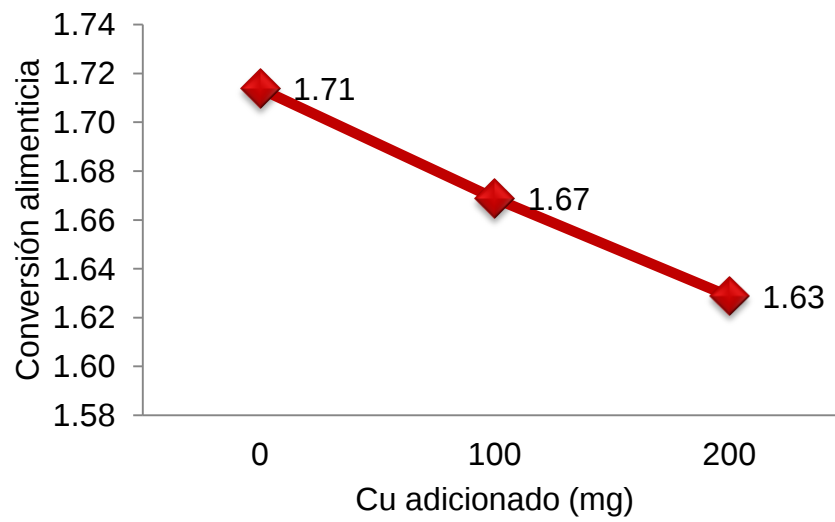


Figura 10. Efecto del Cu en la conversión alimenticia.

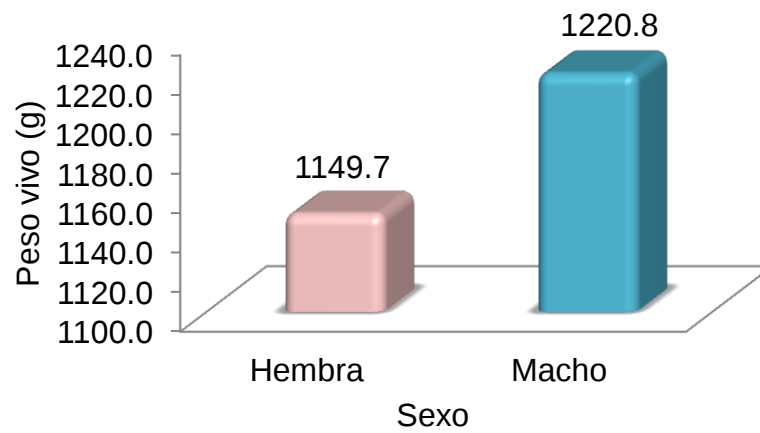


Figura 11. Peso vivo de hembras y machos de 28 d de edad.

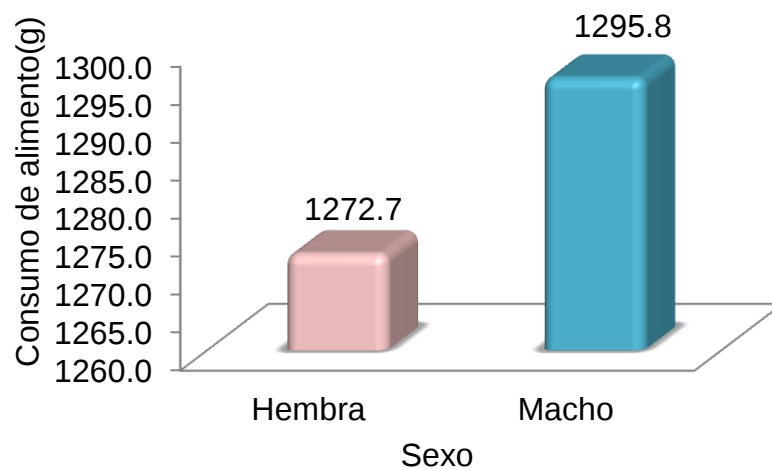


Figura 12. Consumo de alimento de hembras y machos de 28 d de edad.

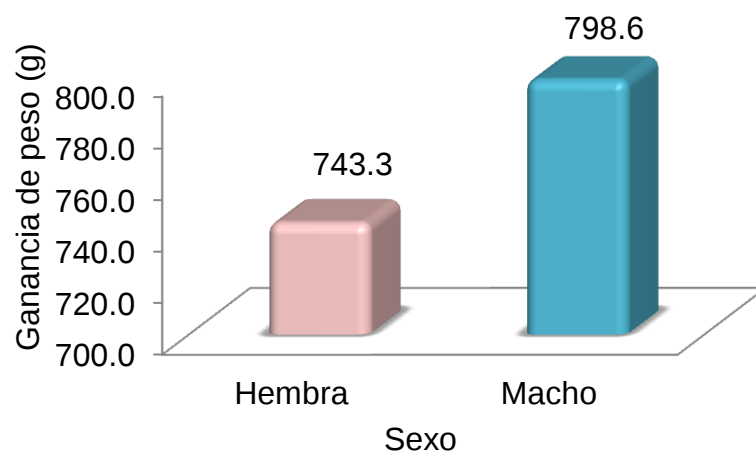


Figura 13. Ganancia de peso de machos y hembras de 28 d de edad.

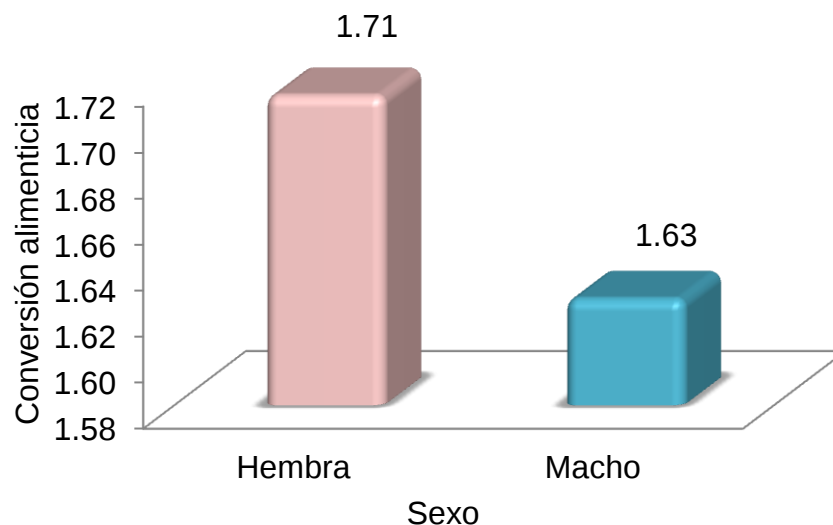


Figura 14. Conversión alimenticia de machos y hembras.

A diferencia de lo encontrado en el presente trabajo, Miñón-Huesca *et al.* (2006) observaron que al suplementar 200 mg de Cu kg⁻¹ de alimento disminuyó 21% la CV. Resultados similares por el efecto de Cu fueron reportados por Brainer *et al.* (2003) quienes reportan que la adición de 75 mg de Cu en la dieta disminuyó 2% la CV (1.976 vs 2.014) en la etapa de desarrollo de las aves. Ewing *et al.* (1998) observaron que la suplementación de 125 mg de Cu kg de alimento disminuyó la CV 6% aproximadamente. Sin embargo, Konjufca *et al.* (1997) observaron que la suplementación de 180 mg de Cu kg⁻¹ de alimento no afectó la CV de pollos de engorda (1.51 vs 1.48).

Con la adición de Cr en la dieta no se afectó el PV ($p>0.5466$), el C ($p>0.6818$), la GP ni la CV ($p>0.0818$), pero aunque no fueron estadísticamente significativos al adicionar 1.0 mg de Cr kg⁻¹ de alimento el PV incrementó 9.3 g (1187.1 vs 1177.8 g), 15 g el C (1295.9 vs 1177.8 g) y 12.7 g (769.1 vs 756.4 g) la GP.

Los resultados observados por la adición de Cr en esta investigación no concuerdan con los reportados por Navidshad *et al.* (2010) observaron que al adicionar 0.5 mg de Cr kg⁻¹ de alimento en la etapa de crecimiento (10 a 28 días

de edad) incrementó 7% el C (90.7 vs 84.6 g ave⁻¹ día⁻¹) y 5% la GP (63.3 vs 60 g ave⁻¹ día⁻¹).

Finalización: de 29 a 49 d de edad

Las interacciones dobles y la triple no fueron estadísticamente significativas en ninguna de las variables analizadas ($p>0.05$). Al incluir dosis crecientes de Cu se disminuyó de forma lineal el PV ($p<0.0111$), el C ($p<0.0170$) y la GP ($p<0.0066$) (Cuadro 8; Figuras 15, 16 y 17).

Es importante resaltar que al adicionar 100 mg de Cu kg⁻¹ de alimento el PV solamente disminuyó un 0.51% (2736.4 vs 2750.3 g), 2.27% (2501.4 vs 2444.7) el C y 1.67% (1144.2 vs 1163.6) la GP. Lo anterior resulta una disminución relativamente baja si se compara con las disminuciones (3.15% el PV, 3.34 % el C y 6.22% la GP) que se obtienen al adicionar 200 mg de Cu kg⁻¹ de alimento. La adición de Cu no afectó la CV (Cuadro 8).

Estadísticamente la adición de Cr a la dieta de pollos de engorda no afectó el PV ($p>0.3501$), el C ($p>0.7671$) y la GP ($p>0.0738$). Sin embargo, la suplementación de 1.0 mg de Cr kg⁻¹ de alimento incrementó 41.7 g el PV (2741.9 vs 2700.2 g), 30.7 g (2475.7 vs 2445.0 g) el C y 68.5 g más de GP.

En esta etapa los machos tuvieron 10% (2847.6 vs 2585.8 g) más PV ($p<0.0001$), 2.2% (2481.4 vs 2427.9 g) mayor C, 13.3% (1204 vs 1062 g) más GP ($p<0.0001$) y 9.6% (2.07 vs 2.29) menor CV ($p<0.0001$) que las hembras (Cuadro 8 y Figuras 18, 19, 20 y 21).

Cuadro 8. Promedios y probabilidades del peso vivo (PV), consumo de alimento (C), ganancia de peso (GP) y conversión alimenticia (CV) de pollos de engorda en la etapa de finalización (29-49 d).

	PV, g	C, g	GP, g	CV
Cu				
0	2750.3	2501.4	1163.6	2.17
100	2736.4	2444.7	1144.2	2.14
200	2663.4	2417.8	1091.2	2.23
EEM ^x	21.60	23.64	16.63	0.030
Cr				
0	2700.2	2445.0	1095.9	2.24
0.5	2738.2	2440.0	1152.7	2.13
1	2741.9	2475.7	1164.4	2.14
1.5	2686.5	2458.0	1119.1	2.21
EEM ^x	24.95	25.73	19.20	0.035
Sexo				
Hembra	2585.8	2427.9	1062.0	2.29
Macho	2847.6	2481.4	1204.0	2.07
EEM ^x	17.64	18.94	13.57	0.025
Probabilidad				
Cu	0.0219	0.0503	0.0171	0.1248
Cr	0.3501	0.7671	0.0738	0.0819
Cu*Cr	0.4759	0.105	0.1859	0.4941
Sexo	<.0001	0.0531	<.0001	<.0001
Cu*Sexo	0.7241	0.6522	0.739	0.6748
Cr*Sexo	0.7995	0.5083	0.8645	0.8718
Cu*Cr*Sexo	0.6754	0.1388	0.9819	0.8711
Contrastes				
Cu Lineal	0.0111	0.017	0.0066	0.1552
Cu Cuadrático	0.2795	0.5932	0.4218	0.1477
Cr Lineal	0.7476	0.539	0.3702	0.5409
Cr Cuadrático	0.0796	0.8121	0.0158	0.0152
Cr Cúbico	0.828	0.4237	0.8916	0.7259

^xEEM = Error Estándar de la Media

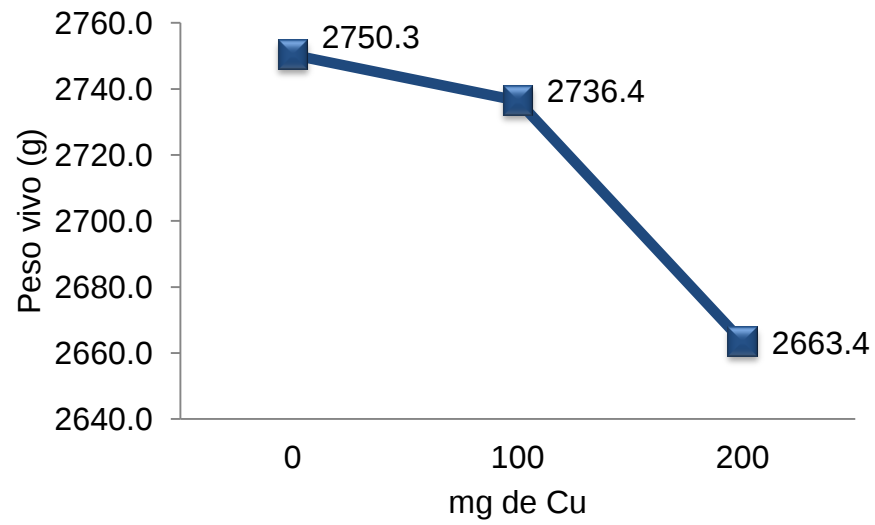


Figura 15. Efecto del cobre en el peso vivo.

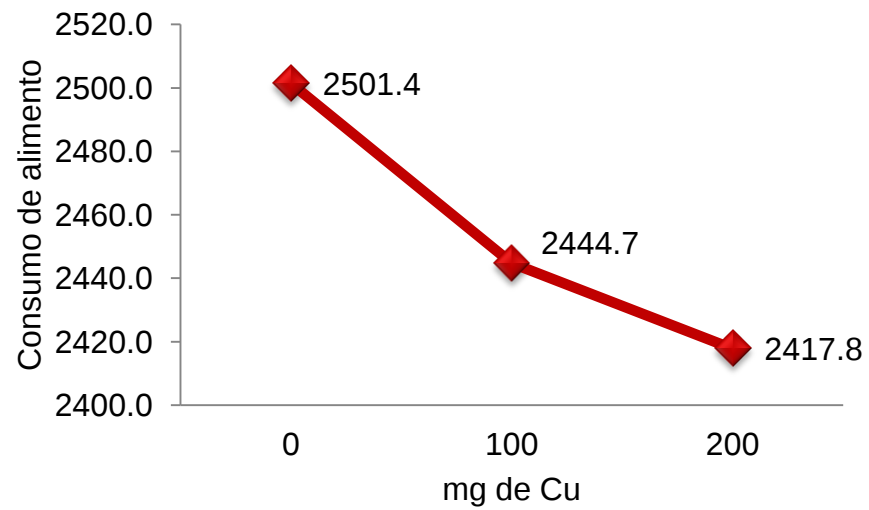


Figura 16. Efecto del cobre en el consumo de alimento.

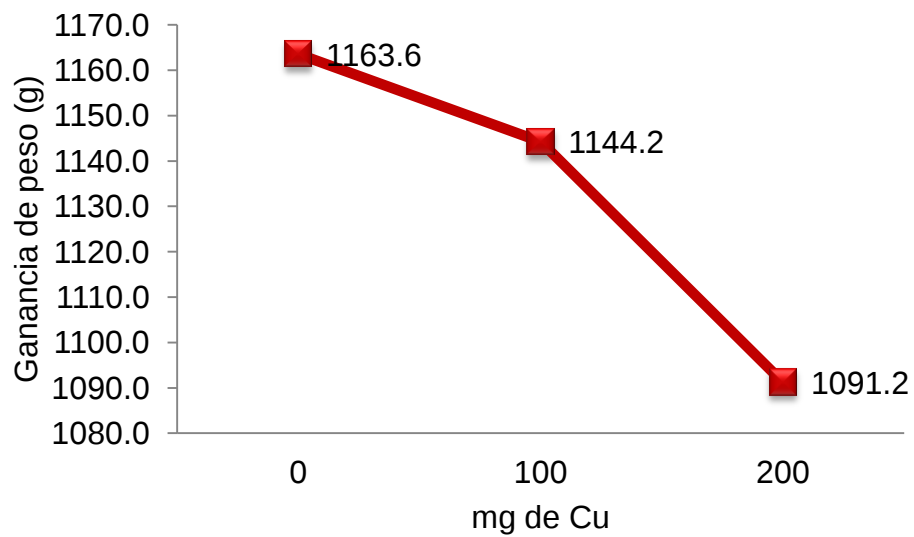


Figura 17. Ganancia de peso de pollos suplementados con cobre.

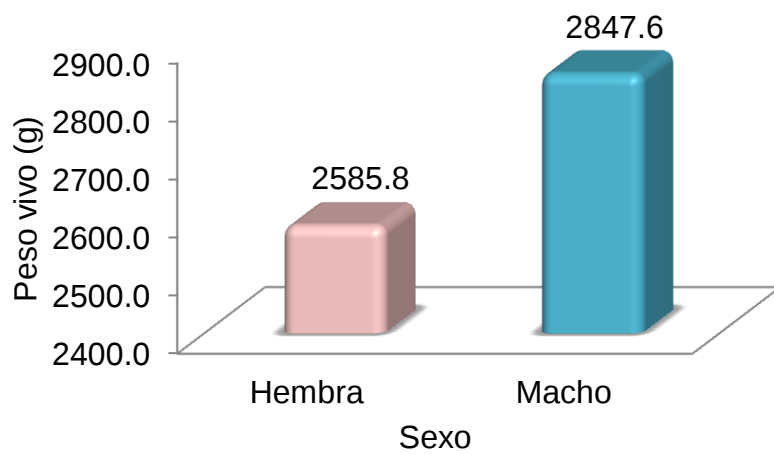


Figura 18. Peso vivo de hembras y machos de 49 d de edad.

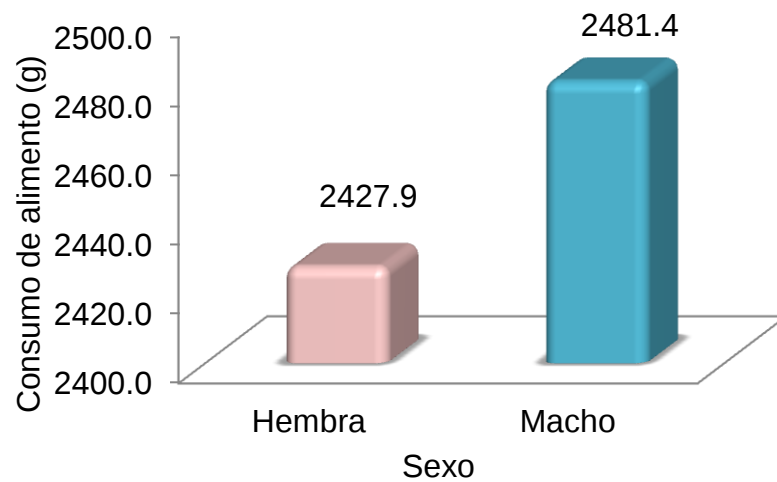


Figura 19. Consumo de alimento de hembras y machos.

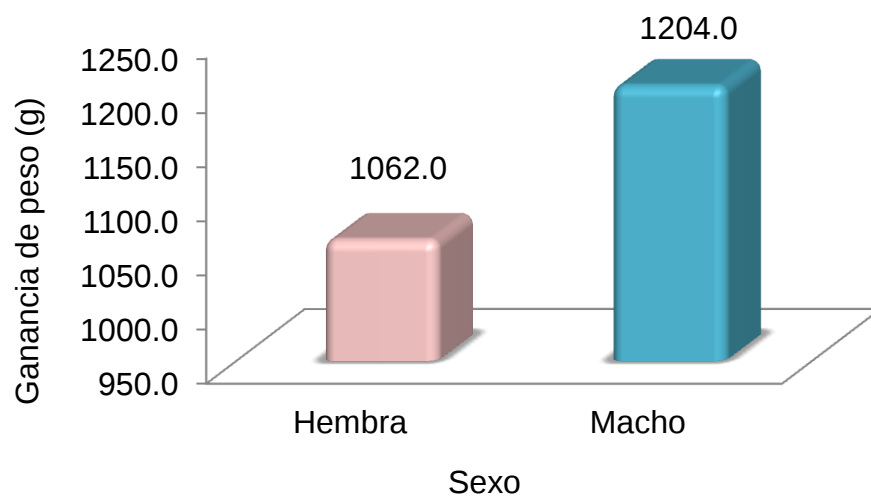


Figura 20. Ganancia de peso de hembras y machos.

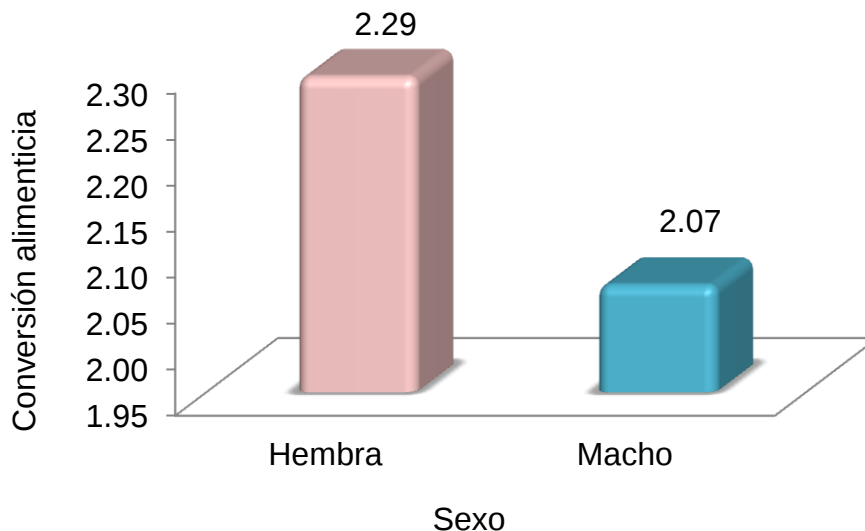


Figura 21. Conversión alimenticia de hembras y machos.

Los resultados en esta etapa no concuerdan con los observados por Miñón-Huesca *et al.* (2006) quienes suplementaron ocho niveles de Cu (0, 50, 100, 150, 200, 250, 300 y 350 mg kg⁻¹) en pollos de engorda en la etapa de finalización (22-42 d) y observaron que al suplementar 100 mg de Cu kg⁻¹ de alimento aumentó 15% el C, 22% la GP y 14% la PV.

Los resultados en esta etapa, por la suplementación con Cr, son diferentes a los encontrados por Króliczewska *et al.* (2005) quienes suplementaron 0.3 y 0.5 mg de Cr en forma de levadura en pollos de engorda y encontraron que al suplementar 0.5 mg de Cr kg⁻¹ incrementó 3.79% (2009.16 vs 2085.41 g) el PV y 3.9% (1969.07 vs 2046.09 g) la GP.

Comportamiento productivo de 1 a 49 días de edad

La suplementación con Cu afectó el PV ($p<0.126$) y la GP ($p<0.125$), los cuales disminuyeron linealmente conforme se incrementó el nivel de Cu en la dieta (Cuadro 9). Es importante señalar que la adición de 100 mg de Cu kg⁻¹ de alimento disminuyó 0.39% (2736.4 vs 2746.8 g) el PV y 0.35% (55.9 vs 56.1 g) la GP. Lo anterior resulta una disminución relativamente baja si se compara con las disminuciones (3.04% el PV y 3.03% la GP) que se obtienen al adicionar

200 mg de Cu kg⁻¹ de alimento. También hubo una tendencia ($p>0.1634$) de disminución lineal en el C por efecto del Cu. El peso inicial y CV fueron similares entre tratamientos.

Con la suplementación de Cr no se observaron diferencias estadísticas en ninguna de las variables productivas. Sin embargo, al adicionar 1.0 mg de Cr kg⁻¹ de alimento se incrementó 41.7 g (2741.9 vs 2700.2 g) el PV (Cuadro 9).

El peso inicial en machos fue 0.8 g mayor en machos que en hembras, los machos también tuvieron 10.22% (2847.6 vs 2583.5 g) más peso final, 4.32% (106.3 vs 101.9 g) mayor C y 10.24% (58.1 vs 52.7g) mayor GP que las hembras, mientras que la CV fue mayor en las hembras que en los machos (Cuadro 9).

Los resultados encontrados por efecto del Cu del día 1 al 49 de esta investigación son diferentes a los reportados por Konjufca *et al.* (1997) quienes suplementaron dos niveles de Cu (63 y 180 mg de Cu kg⁻¹ de alimento) y encontraron que el Cu en el alimento no afectó la GP ni la CV. Chiou *et al.* (1999) suplementaron tres niveles crecientes de Cu (100, 250 y 500 mg Cu kg⁻¹) y observaron que la adición de hasta 250 mg de Cu kg⁻¹ de alimento no afectó el C, la GP y la CV, pero al adicionar 500 mg de Cu kg⁻¹ de alimento disminuyó 9.6% el C y 13% la GP. Por otra parte, Zia-Ur-Rahman *et al.* (2001) observaron que la suplementación de 350 mg de Cu kg⁻¹ de alimento ocasionó laceraciones en la molleja, redujo 4% (4.6 g ave⁻¹ día⁻¹) el C y 7.7% (4.9 g día⁻¹) la GP. Brainer *et al.* (2003) suplementaron dos niveles de Cu (75 y 200 mg de Cu kg⁻¹ de alimento y observaron que la adición de Cu no afectó el PV, GP, C ni la CV en pollos de 1-42 días de edad

Cuadro 9. Promedios y probabilidades del peso vivo al inicio (PV-1), peso vivo final (PV-49) consumo de alimento (C), ganancia de peso (GP) y conversión alimenticia (CV) de pollos de engorda de 1-49 d de edad.

	PV-0, g	PV-49, g	C, g	GP, g	CV
Cu					
0	44.0	2746.8	105.2	56.1	1.88
100	43.5	2736.4	104.5	55.9	1.87
200	43.8	2663.4	102.6	54.4	1.89
EEM ^x	0.32	20.74	0.96	0.42	0.017
Cr					
0	44.2	2700.2	104.7	55.1	1.90
0.5	43.8	2738.2	104.1	55.9	1.87
1	43.5	2741.9	105.1	56.0	1.88
1.5	43.7	2681.8	102.7	54.7	1.88
EEM ^x	0.37	23.94	1.11	0.49	0.020
Sexo					
Hembra	43.4	2583.5	101.9	52.7	1.93
Macho	44.2	2847.6	106.3	58.1	1.83
EEM ^x	0.26	17.58	0.81	0.36	0.015
Probabilidades					
Cu	0.5088	0.0160	0.1634	0.0159	0.6193
Cr	0.5589	0.1691	0.4495	0.1686	0.5300
Cu*Cr	0.8308	0.4287	0.1529	0.4282	0.5450
Sexo	0.0407	<.0001	0.0016	<.0001	0.0003
Cu*Sexo	0.0184	0.8383	0.8020	0.8380	0.6149
Cr*Sexo	0.3943	0.6677	0.2790	0.6668	0.6349
Cu*Cr*Sexo	0.8100	0.6827	0.4620	0.6828	0.5059
Contrastes					
Cu Lineal	0.6496	0.0126	0.0681	0.0125	0.6825
Cu Cuadrático	0.2884	0.1300	0.6433	0.1302	0.3829
Cr Lineal	0.2594	0.9207	0.3420	0.9182	0.3948
Cr Cuadrático	0.4141	0.0301	0.4277	0.0300	0.3181
Cr Cúbico	0.7702	0.7118	0.3106	0.7134	0.4822

^x EEM= Error Estándar de la Media

Los resultados observados por el efecto del Cr son similares a los encontrados por: Anandhi *et al.* (2006) adicionaron tres niveles de Cr orgánico (0.250, 0.500 y 0.750 mg de Cr kg⁻¹ de alimento) y observaron que la adición de Cr a la dieta de pollos de engorda de seis semanas de edad no afectó la GP, el C y la CV,

los resultados reportados por estos autores son similares a los encontrados en esta investigación por efecto del Cr orgánico. Otra investigación similar fue realizada por Naghich *et al.* (2010) quienes suplementaron 0.6 y 1.2 mg de Cr kg⁻¹ de alimento, encontraron que el Cr no afectó el C, el PV y la CV, el consumo fue de 158 g día⁻¹, el peso corporal de 2148 g y la CV fue de 2.12, estos valores son similares a los encontrados en esta investigación.

Por otra parte Navidshad *et al.* (2010) suplementaron cinco niveles de Cr (0.250, 0.500, 0.750, 1 y 1.500 mg de Cr kg⁻¹) en forma de picolinato en pollos de engorda en la etapa de finalización (29-42 días de edad) y observaron que la adición de Cr no afectó el C ni la GP. Sin embargo, si disminuyó la CV 4.5% (1.88 vs 1.97) al suplementar 1.5 mg de Cr kg⁻¹ de alimento.

3.6 Conclusiones

En la etapa de crecimiento la adición de Cu disminuyó de forma lineal la conversión alimenticia, mientras que en la etapa de iniciación y finalización la suplementación de Cu disminuyó de forma lineal el consumo de alimento, la ganancia de peso y el peso final. La adición de Cr disminuyó la ganancia de peso y el peso vivo del pollo en la etapa de iniciación.

La interacción Cr y Cu no afectó el comportamiento productivo del pollo de engorda. Los machos consumieron más alimento, tuvieron mejor ganancia de peso, menor conversión alimenticia y mayor peso final que las hembras.

3.7 Literatura citada

- Anandhi, M., R. Mathivanan, K. Viswanathan, and B. Mohan. 2006. Dietary inclusion of organic chromium on production and carcass characteristics of broilers. *International Journal of Poultry Science* 5(9): 880-884.
- Arias, V. J., and E. A. Koutsos. 2006. Effects of copper source and level on intestinal physiology and growth of broiler chickens. *Poultry Science* 85: 999-1007.
- Brainer, M. M., de A., J. F. 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: 441-445.
- 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 in broiler chickens. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 12: 548-553.
- European Commission. 2003. Opinion of the scientific committee for animal nutrition on the use of copper in feedingstuffs. http://ec.europa.eu/food/fs/sc/scan/out115_en.pdf. Consultado 30 de mayo de 2003.
- Ewing, H. P., G. P. Pesti, R. I. Bakalli, and J. F. Menten. 1998. Studies on the feeding of cupric sulfate pentahydrate, cupric citrate, and copper oxychloride to broiler chickens. *Poultry Science* 77: 445-448.
- Jackson, A. R., S. Powell, S. Johnston, J. L. Shelton, T. D. Bidner, F. R. Valdez, and L. L. Southern. 2008. The effect of chromium propionate on growth performance and carcass traits in broilers. *Journal of Applied Poultry Research* 17: 476-481.
- Konjufca, V. H., G. M. Pesti, and R. I. Bakalli. 1997. Modulation of cholesterol levels in broiler meat by dietary garlic and copper. *Poultry Science* 76: 1264-1271.
- Króliczewska, B., W. Zawadzki, T. Skiba, and D. Mista. 2005. Effects of chromium supplementation on chicken broilers growth and carcass characteristics. *Acta Veterinaria Brno* 74: 543-549.
- Miñón-Huesca E., M. J. González-Alcorta, M. Huerta-Bravo, G. Crespo-López, S. Carrillo-Domínguez, R. M. Castillo-Domínguez, J. M. Cuca-García, y J. E. Morales-Barrera. 2006. Niveles óptimos biológicos y económicos de cobre dietético en pollos de engorda. *Agrociencia* 40: 163-170.
- Naghich, A., M. Toghyani, A. A. Gheisari, S. E. Saeed, and H. Mirazadeh. 2010. Effect of different sources of supplemental chromium on performance immune responses of broiler chicks. *Journal of Animal and Veterinary Advances* 9: 354-358.
- Navidshad, B., Z. A. Pirsaraei, and Y. Chashnidel. 2010. Effects of dietary chromium polynicotinate supplementation on performance, fat deposition

- and plasma lipids of broiler chickens. *Italian Journal of Animal Science* 9: 1-14.
- Pechova, A., and L. Pavlata. 2007. Chromium as an essential nutrient: a review. *Veterinarni Medicina* 52: 1–18.
- SAS. 2002. *SAS/STAT 9.1 User's Guide*. Volumen 1-7. SAS Publishing, Cary, NC. USA.5180 p.
- Suksombat, W., and S. Kanchanatawee. 2005. Effects of various sources and levels of chromium on performance of broilers. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 18:1628-1633.
- Underwood, E. J., and N. F. Suttle. 2003. *Los minerales en la nutrición del Ganado*. 3^a ed. Editorial Acribia, Zaragoza, España. 637 p.
- Zia-Ur-Rahman, B. Faiza, M. A. Ali, A. B. Essaddig, Z. I. Mahjiub, H. Mehdi, M. R. Masoud, J. S. A. Shoukat, and A. Navid. 2001. Effects of copper supplement on haematological profiles and broiler meat composition. *International Journal of Agriculture and Biology* 2: 203-205.

4. CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL DE POLLOS DE ENGORDA SUPLEMENTADOS CON COBRE Y CROMO

4.1 Resumen

El objetivo de este experimento fue evaluar las características de la canal de pollos suplementados con 0, 100 y 200 mg de cobre (Cu) y 0, 0.5, 1.0 y 1.5 mg de cromo (Cr) kg^{-1} de alimento. Se utilizó un diseño completamente al azar con 1296 pollos de la línea Ross 308 (648 hembras y 648 machos) de un día de nacidos, repartidos en 24 tratamientos resultantes del arreglo factorial de los tres niveles de Cu con cuatro de Cr y los dos sexos. Las dietas fueron a base de sorgo, pasta de soya, gluten de maíz, aceite de soya, mismas que cubrieron los requerimientos de la línea. A los 49 días de edad se sacrificaron dos pollos por corral, a los cuales se les evaluó el peso del pollo sacrificado (PS), pierna (PPi), muslo (PM), pechuga (PPe) y peso de la grasa abdominal (PGA), rendimiento de la pierna (RPi), del muslo (RM) y de la pechuga (RPe), el contenido de grasa y colesterol. La suplementación de Cu en hembras afectó ($p<0.05$) de manera cuadrática el PS. En machos se observó una disminución lineal de PS conforme se incrementó la dosis de Cu. El PGA y porcentaje de grasa fueron similares ($p>0.05$) entre niveles de Cu, mientras que el colesterol y colesterol total se afectaron ($p<0.05$) de forma cuadrática. La suplementación con Cr no afectó las variables evaluadas. En conclusión, la adición de Cu incrementó el peso al sacrificio de hembras, pero no disminuyó la grasa de la canal y, afectó de forma cuadrática el colesterol de la carne; el Cr no afectó las características de la canal.

Palabras clave: pollo, cobre, cromo, canal, grasa abdominal, colesterol.

Tesis de Maestría en Ciencias en Innovación Ganadera, Universidad Autónoma Chapingo”

Autor: Leodan Tadeo Rodríguez Ortega

Codirectores de Tesis: Ph.D. Mariano Jesús González Alcorta y Ph.D. Sergio Gómez Rosales

4.2 Abstract

CARCASS CHARACTERISTIC OF BROILERS SUPPLEMENTED WITH COPPER AND CHROMIUM

The objective of this experiment was to evaluate the carcass characteristics of broilers supplemented with 0, 100 and 200 mg of copper (Cu) and 0, 0.5, 1.0 and 1.5 mg of chromium (Cr) kg⁻¹ feed. A complete randomized design with 1296, one day old, Ross 308 broilers (648 females and 648 males) was used, divided into 24 treatments resulting from the factorial arrangement of 3 levels of Cu, 4 levels of Cr and the sex. There were three feeding phases: starter (1-14 days), grower (15-28 days) and finisher (29-49 days). The diets were based on sorghum, soybean meal, corn gluten, soy oil, which covered the nutrient recommendations of the line. At 49 days of age two broilers per pen were killed, in which the slaughtered weight (PS), leg (PPI), thigh (PM), breast (PPE) and abdominal fat weight (PGA), yield of the leg (RPI), thigh (RM) and breast (RPe), the fat and cholesterol content were evaluated. Dietary Cu had a quadratic effect ($p < 0.05$) in the PS in females. In males, a linear reduction of PS was observed as the dose of dietary Cu increased. The PGA and the fat percentage were not affected ($p > 0.05$) with Cu supplementation, while the cholesterol and total cholesterol were affected ($p < 0.05$) in quadratic form. Cr supplementation did not affect any of the variable responses. The addition of Cu in females positively affected the characteristics of the carcass. In conclusion, the addition of Cu increased the slaughter weight of females, but decreased the carcass fat and quadratically affected in cholesterol in the meat; Cr did not affect the carcass characteristics

Key words: chicken, copper, chromium, carcass, abdominal fat, cholesterol.

Master of Science Thesis, Universidad Autónoma Chapingo

Author: Leodan Tadeo Rodríguez Ortega

Coadvisors: Ph.D. Mariano Jesús González Alcorta and Ph.D. Sergio Gómez Rosales

4.3 Introducción

En virtud del alto índice de enfermedades cardiovasculares en México como en otros países, hoy existe un gran interés por consumir alimentos con un bajo contenido de grasa. Suplementar la dieta de pollos de engorda con cobre (Cu) y cromo (Cr) podría ser una alternativa para reducir la concentración de colesterol y la grasa en la carne de pollo. El Cr es un elemento que juega un papel importante en el metabolismo de los lípidos, carbohidratos y proteínas, y forma parte del factor de tolerancia a la glucosa (GTF) (Pechova y Pavlata, 2007). Anandhi *et al.* (2006) observaron que al adicionar 0.5 mg de Cr kg⁻¹ de alimento disminuyó 13% el contenido de colesterol de la pechuga y 9% del muslo. Lien *et al.* (1999) observaron que al suplementar 1.6 y 3.2 mg de Cr kg⁻¹ de alimento en pollos de engorda incrementó 10% el peso final. En otra investigación Króliczewska *et al.* (2005) suplementaron 0.3 y 0.5 mg de Cr en forma de levadura en pollos de engorda y encontraron que al suplementar 0.5 mg de Cr kg⁻¹ se incrementó en 3.79% el peso final.

El Cu es un mineral esencial utilizado en pollos de engorda como un promotor de crecimiento. Es un elemento esencial para la reproducción, el desarrollo óseo, crecimiento, desarrollo del tejido conectivo y la pigmentación de los apéndices cutáneos (Underwood y Suttle, 2003). Konjufca *et al.* (1997) suplementaron dos niveles de Cu (63 y 180 mg de Cu kg⁻¹ de alimento) y observaron que al adicionar 180 mg de Cu Kg⁻¹ se redujo 21% el colesterol del muslo y 23% el de la pechuga, Por otra parte, Zia-Ur-Rahman *et al.* (2001) observaron que la adición de 350 mg de Cu kg⁻¹ de alimento en pollos de engorda redujo 18% el colesterol en plasma y 17% los triglicéridos del plasma.

En las investigaciones mencionadas anteriormente el Cr y el Cu se han adicionado a la dieta por separado, pero no se ha evaluado la posibilidad de encontrar un efecto sinérgico entre estos dos minerales sobre la concentración de grasa y colesterol en la canal, lo cual podría redundar en un mayor beneficio sobre la salud del consumidor y la reducción de problemas cardiovasculares. Por lo anterior, el objetivo de este experimento fue suplementar 0, 100 y 200 mg de Cu y 0, 0.5, 1.0 y 1.5 mg de Cr la dieta de pollos de engorda y evaluar su

efecto sobre las características de la canal: peso del pollo sacrificado, de la pierna, del muslo, de la pechuga, de la grasa abdominal, el contenido de colesterol y grasa intramuscular.

4.4 Materiales y métodos

El experimento se realizó en la nave de pollos del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal (CENID Fisiología INIFAP), ubicado en Ajuchitlán, Querétaro del 27 de octubre al 15 de diciembre de 2010.

Se utilizaron 1,296 pollos de la línea Ross 308 (648 hembras y 648 machos) de un día de nacidos con peso promedio de 43.78 g; se repartieron en 48 corrales de 2 m², resultantes del arreglo factorial de tres niveles de Cu (0, 100, 200 mg) por cuatro de Cr (0, 0.5, 1, 1.5 mg).

Fuentes de cobre y cromo utilizadas

La fuente de Cu que se utilizó fue Cu en levadura (1.0×10^4 UFC g⁻¹), con número de registro en SAGARPA: A-009-020, producto manufacturado en México. El contenido de Cu en levadura fue: 100,000 ppm ó 10%.

También se utilizó Cr en levadura (1.0×10^4 UFC g⁻¹), con número de registro de SAGARPA: A-0019-001, producto manufacturado en México. El contenido de Cr en levadura: 2 000 ppm ó 2%.

Combinaciones de los niveles de cobre con los niveles de cromo

Las combinaciones de los tres niveles de Cu y los cuatro de Cr, se muestran en el Cuadro 10.

Cuadro 10. Arreglo factorial de los tres niveles de cobre por cuatro de cromo.

Combinación	Nivel de cobre, mg	Nivel de cromo, mg
1	0	0
2	0	0.5
3	0	1.0
4	0	1.5
5	100	0
6	100	0.5
7	100	1.0
8	100	1.5
9	200	0
10	200	0.5
11	200	1.0
12	200	1.5

La alimentación de las aves se dividió en tres etapas: iniciación (1-14 d), crecimiento (14-28 d) y finalización (28-49 d), las dietas fueron a base de sorgo, soya, gluten de maíz, aceite de soya en base a los requerimientos nutricionales de la estirpe Ross 308 (Aviagen, 2007).

En la etapa de finalización se sacrificaron 96 pollos (48 hembras y 48 machos), dos pollos de cada corral (48 corrales), las variables evaluadas en cada ave sacrificada fueron:

Peso pollo sacrificado (PS): se sacrificaron dos pollos del mismo sexo de cada corral, el sacrificio fue por medio de dislocación de la cervical, cuando estos mostraron estar sin vida se pesaron y se etiquetaron (corral, sexo y muestra: Figura 22).

Se separó y se pesó: la pierna (PPI) (Figura 23), el muslo (PM), la pechuga (PPe). La grasa abdominal se extrajo de forma manual, procurando quitar la mayor cantidad de la cavidad abdominal y se pesó (PGA). El peso de la pierna, del muslo y de la pechuga se sumó y se formó una nueva variable (PPiMPe).

También se estimó el rendimiento de Pi, M, Pe y PiMPe dividiendo cada una estas variables entre el peso corporal, estas se expresan en porcentaje (R_{Pi}, R_{PM}, R_{Pe}).

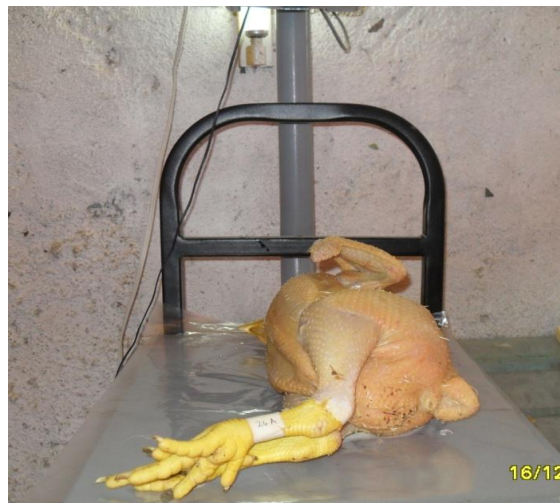


Figura 22. Peso del pollo sin plumas.

Cada pollo se empacó en bolsas de plástico previamente etiquetados con el número de corral al que pertenecía, el número de pollo sacrificado (A ó B) y se refrigeraron a -20 °C.



Figura 23. Canal de un pollo de 49 días.

Los pollos congelados se molieron completamente (carne y vísceras) (Figura 24), la carne molida se mezcló y se empacó en bolsas etiquetadas con el

número de pollo y el corral al que pertenecía para ser liofilizada y analizar el contenido de colesterol y grasa.



Figura 24. Carne de pollo molida.

El análisis de colesterol de las muestras liofilizadas se realizó en el laboratorio del Instituto de Nacional de Ciencias Medicas y Nutrición Salvador Zubirán ubicado en Ciudad de México.

La determinación del contenido de lípidos totales en la carne se realizó a través del método oficial de la AOAC (2000, método 923.07), utilizando una mezcla de solventes cloroformo:etanol (J.T. Baker 9180-02 y 9014-02) en una proporción 1:1, para la extracción de los mismos Se determinó por gravimetría y se expresó como porcentaje en relación a 100 g de muestra.

El análisis de colesterol de cada muestra fue por saponificación directa (Abell *et al.*, 1951) y se cuantificó por cromatografía de gases (Fenton y Sim, 1991). El colesterol se cuantificó, utilizando como estándar interno el 5 alfa colestano, en un cromatógrafo de gases Varian 3400CX, equipado con una columna capilar DB-5 (3 m x0.25 mm id) y un detector de ionización de flama. El gas usado para acarrear fue nitrógeno aplicando un flujo de 30 mL/min. Las temperaturas utilizadas fueron: columna 280°C, Inyector 260°C, Detector 280°C.

Diseño experimental

Para evaluar las variables de características de la canal se utilizó un diseño estadístico completamente al azar y con arreglo factorial de tratamientos de acuerdo al siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ijkl} = \mu + NCu_i + NCr_j + (NCu_i * NCr_j) + S_k + (NCu_i * S_k) + (NCr_j * S_k) + (NCu_i * NCr_j * S_k) + E_{ijkl}$$

Donde: Y_{ijkl} es el valor de la variable respuesta, μ es la media general, NCu_i es el nivel dietético de cobre, NCr_j es el nivel dietético de cromo, $NCu_i * NCr_j$ es la interacción de cobre con cromo, S es el sexo, $(NCu_i * S_k)$ es la interacción de cobre con sexo, $(NCr_j * S_k)$ es la interacción de cromo con sexo, $NCu_i + NCr_j * S_k$ es la interacción de cobre con cromo por sexo y E_{ijkl} es el error experimental. Los resultados se analizaron en el programa SAS, y las medias se compararon por contrastes ortogonales (SAS, 2002).

4.5 Resultados y discusión

La adición de Cr no afectó el PS, PPI, PM, PPe, PPIMPe ni el PGA ($p>0.05$) (Cuadros 11 y 12). Los resultados de esta investigación son diferentes a los encontrados por Lien *et al.* (1999) quienes observaron que al suplementar 1.6 y 3.2 mg de Cr kg⁻¹ de alimento en pollos de engorda el peso final se incrementó 10%. En otra investigación, Króliczewska *et al.* (2005) suplementaron 0.3 y 0.5 mg de Cr en forma de levadura en pollos de engorda y encontraron que al suplementar 0.5 mg de Cr kg⁻¹ se incrementó en 3.79% (2009.16 vs 2085.41 g) el peso final. Por otra parte, Anandhi *et al.* (2006) adicionaron 0.25, 0.5 y 0.75 mg de Cr en la dieta de pollos de engorda y no encontraron efecto en el PS.

Cuadro 11. Probabilidad de efectos principales y contrastes para: peso del pollo sacrificado (PS), piernas (PPI), muslos (PM), pechuga (PPe), peso de la pierna, muslo y pechuga, y grasa abdominal (PGA).

Efecto	PS	PPI	PM	PPe	PPIMPe	PGA
Cr	0.796	0.624	0.236	0.768	0.434	0.732
Cu	0.015	0.724	0.330	0.030	0.053	0.434
Sexo	<.001	<.001	<.001	<0.001	<0.001	0.005
Cu *Cr	0.971	0.328	0.287	0.979	0.563	0.190
Sexo * Cu	0.011	0.010	0.251	0.242	0.020	0.268
Sexo * Cr	0.895	0.815	0.339	0.958	0.782	0.724
Contrastes						
Cr Lineal	0.325	1.000	0.378	0.783	0.844	0.701
Cr Cuadrático	0.983	0.706	0.077	0.399	0.114	0.393
Cr Cúbico	0.883	0.211	0.561	0.569	0.844	0.536
Cu Lineal	0.006	0.489	0.143	0.073	0.042	0.201
Cu Cuadrático	0.316	0.689	0.811	0.048	0.180	0.926
Cr Lineal, hembras	0.579	0.765	0.213	0.820	0.708	0.319
Cr Cuadrático, hembras	0.646	0.689	0.454	0.823	0.615	0.353
Cr Cúbico, hembras	0.906	0.142	0.154	0.618	0.669	0.738
Cr Lineal, machos	0.400	0.765	1.000	0.870	0.828	0.646
Cr Cuadrático, machos	0.625	0.894	0.079	0.333	0.083	0.779
Cr Cúbico, machos	0.744	0.765	0.542	0.758	0.901	0.587
Cu Lineal, hembras	0.277	0.624	0.318	0.519	0.539	0.819
Cu Cuadrático, hembras	0.009	0.080	0.180	0.026	0.029	0.895
Cu Lineal, machos	0.005	0.148	0.279	0.136	0.031	0.046
Cu Cuadrático, machos	0.187	0.024	0.313	0.943	0.288	0.791

Respecto al PPI y PPe, los resultados observados en esta investigación son similares a los reportados por Liu *et al.* (2010) quienes observaron que la suplementación de 0.2 mg de Cr en la dieta de pollos de engorda no ($p>0.05$) afectó el PPI ni de la PPe (455.40 vs 447.44 g).

Cuadro 12. Promedios de peso del pollo sacrificado (PS), piernas (PPI), muslos (PM), pechuga (PPe), peso de las piernas, muslos y pechuga (PPIMPe), grasa abdominal (PGA).

Dosis	PS, g	PPI, g	PM, g	PPe, g	PPIMPe, g	PGA, g
Cobre						
0	2864	252	302	658	1211	55
100	2836	248	296	671	1214	52
200	2724	248	286	631	1165	50
EEM ^x	25.27	3.40	7.50	10.57	15.92	2.67
Cromo						
0.0	2835	250	280	648	1178	55
0.5	2813	246	304	666	1216	50
1.0	2803	254	300	653	1207	52
1.5	2780	246	294	646	1186	53
EEM ^x	29.17	3.92	8.66	12.21	18.38	3.08
Sexo						
Hembra	2651	222	262	626	1110	57
Macho	2965	276	328	681	1284	48
EEM	20.63	2.77	6.13	8.63	13.00	2.18

^x EEM= Error Estándar de la Media

La adición de Cu afectó el PS ($p<0.011$), PPI ($p<0.010$) y PPIMPe ($p<0.020$) de manera diferente entre sexos (interacción sexo * Cu; Cuadro 11).

El PS promedio entre machos y hembras disminuyó linealmente ($p<0.006$) (Cuadro 11), detectándose una disminución respecto al testigo, de únicamente un 0.97% (2836 vs 2864 g) cuando se suplementó con 100 mg de Cu kg⁻¹, mientras que disminuyó un 4.88 % (2724 vs 2864 g) cuando se suplementó con 200 mg de Cu kg⁻¹ (Cuadro 12).

Cabe aclarar que el efecto de Cu fue diferente entre sexos debido a que se detectó una interacción entre el Cu y el sexo ($p<0.011$) (Cuadro 11). En las hembras, el PS incrementó 3.56% (2759 vs 2664 g) al adicionar 100 mg de Cu

kg⁻¹ (efecto cuadrático, $p<0.009$); pero en los machos el PS se redujo 6.66% (2888 vs 3094 g) (efecto lineal, $p<0.005$) (Figura 25).

Los resultados observados en machos son diferentes a los reportados por Ewing *et al.* (1998) quienes suplementaron 63 mg de Cu kg⁻¹ de alimento en pollos machos de 56 d de edad y observaron que se incrementó 9% (3.541 vs 3.245 kg) el peso final.

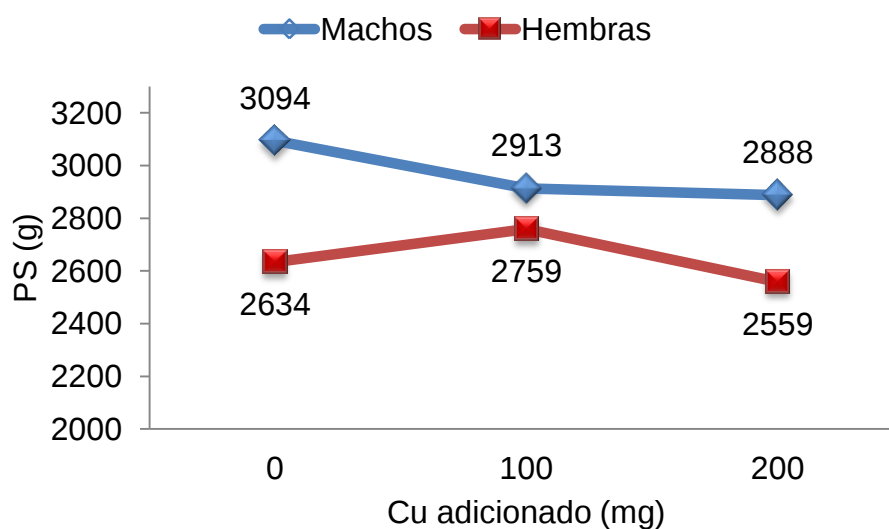


Figura 25. Peso al sacrificio de machos y hembras alimentados con cobre.

En el PPI se presentó una interacción ($p=0.010$) entre el nivel de Cu y el Sexo (Cuadro 11). Lo anterior debido a qué, con un nivel de 100 mg de Cu kg⁻¹, el PPI en las hembras tendió (efecto cuadrático, $p=0.080$; Cuadro 11) a incrementarse de 216 a 230 g (Figura 26); mientras que en los machos se redujo (efecto cuadrático, $p = 0.024$, Cuadro 5) de 286 a 265 g (Figura 26). La adición de Cu no afectó ($p>0.05$) el PM. Los machos produjeron ($p\leq 0.05$) un 25.19 % más PM que las hembras (Cuadro 12).

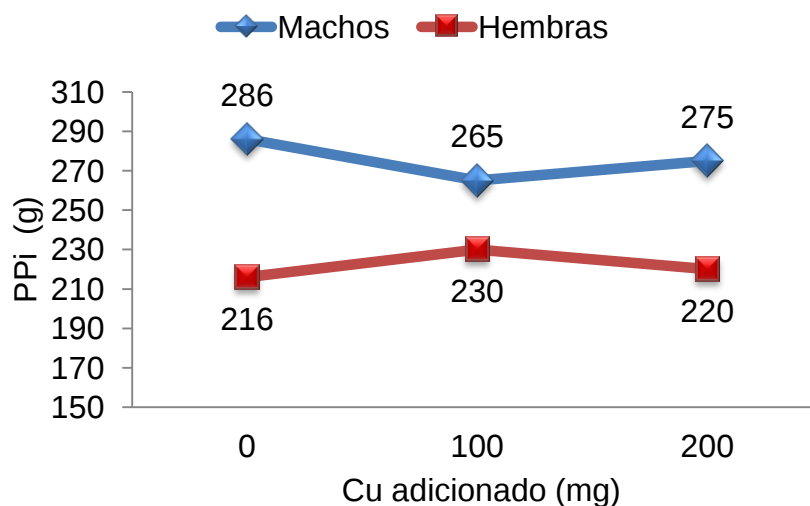


Figura 26. Peso de la pierna de animales suplementados con cobre.

En el PPI_{MPe} se observó una interacción ($p=0.020$) entre el nivel de Cu y el sexo. Lo anterior debido a que, con un nivel de 100 mg de Cu kg^{-1} , el PPI_{MPe} en las hembras tendió (efecto cuadrático, $p=0.029$; Cuadro 11) a incrementarse de 1097 a 1163 g (Figura 27); mientras que en los machos se redujo (efecto lineal, $p = 0.031$, Cuadro 5) de 1326 a 1260 g (Figura 27).

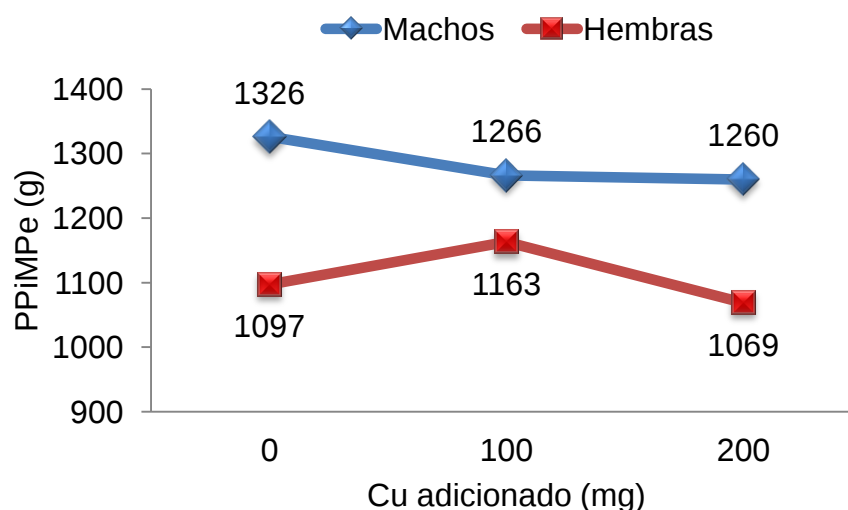


Figura 27. Peso de la pierna, muslo y pechuga de animales alimentados con cobre.

El Cu afectó el PPe ($p<0.030$), se presentó un patrón cuadrático ($p<0.048$), al adicionar 100 mg de Cu kg⁻¹ el PPe incrementó 1.97% (671 vs 658 g) (Figura 28), el efecto del Cu se reflejó en las hembras de forma cuadrática ($p=0.026$) pero no en los machos (Cuadro 11). El mayor peso de pechuga de hembras se observó al adicionar 100 mg de Cu kg⁻¹ de alimento (Figura 29).

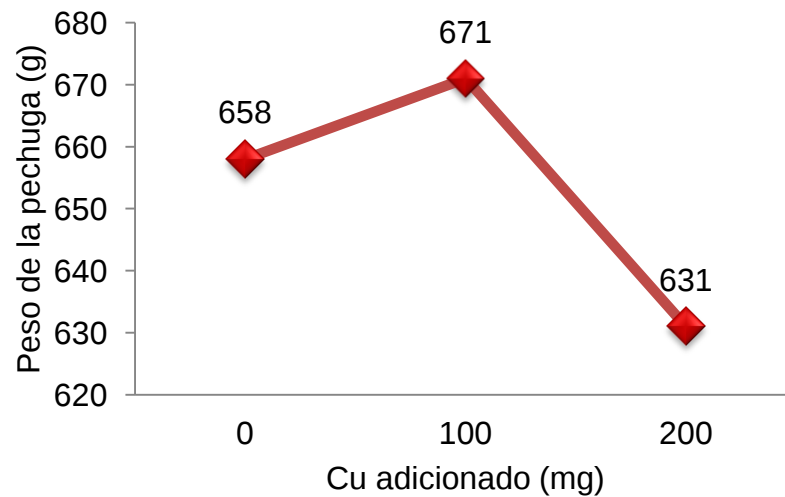


Figura 28. Peso de la pechuga de animales suplementados con cobre.

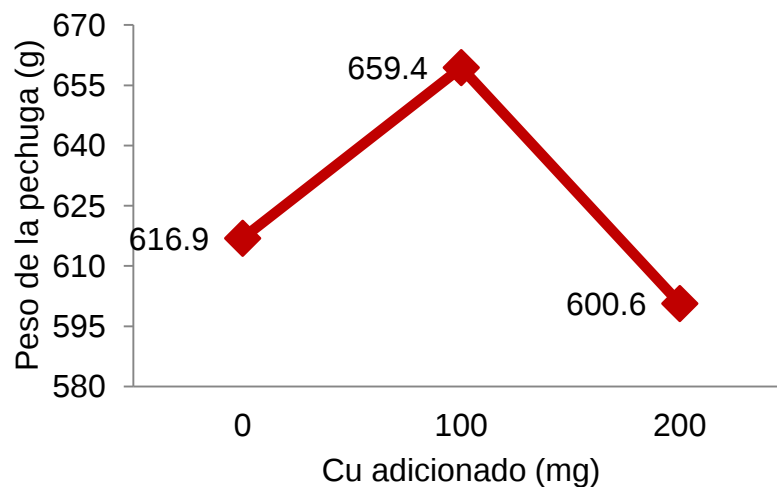


Figura 29. Peso de la pechuga de hembras alimentadas con diferentes niveles de cobre.

Arias y Koutsos (2006) suplementaron 180 mg de Cu kg⁻¹ de alimento en forma de sulfato de cobre en pollos de engorda y observaron que la adición de Cu no afectó el peso de la pechuga, el peso promedio de la pechuga de esas aves fue de 443 g ave⁻¹.

El PGA no se afectó con la suplementación de Cu ($p>0.434$). Se observó una diferencia significativa entre sexos ($p<0.005$), los machos presentaron menor PGA que las hembras (Figura 30).

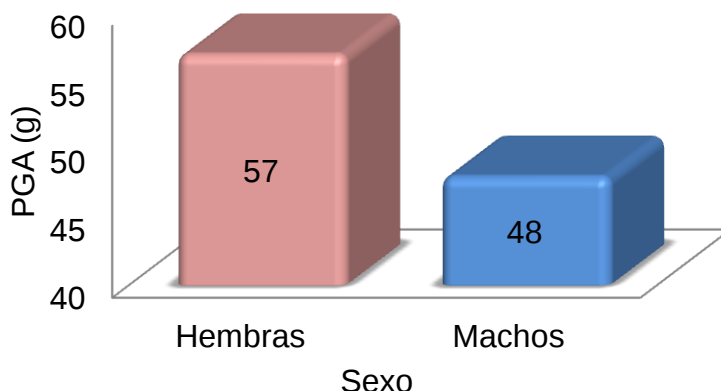


Figura 30. Peso de la grasa abdominal de machos y hembras.

Rendimiento de la canal

La adición de Cr no afectó el RPi, RM ni RPe, pero en el RPiMPe se encontró una tendencia significativa ($p<0.064$) del nivel de Cr (Cuadro 13). En el análisis de contrastes se observó un patrón de tipo cuadrático en donde la mayor respuesta ($p<0.039$) fue con un nivel de 0.5 mg de Cr en la dieta (Cuadros 13 y 14 y Figura 31).

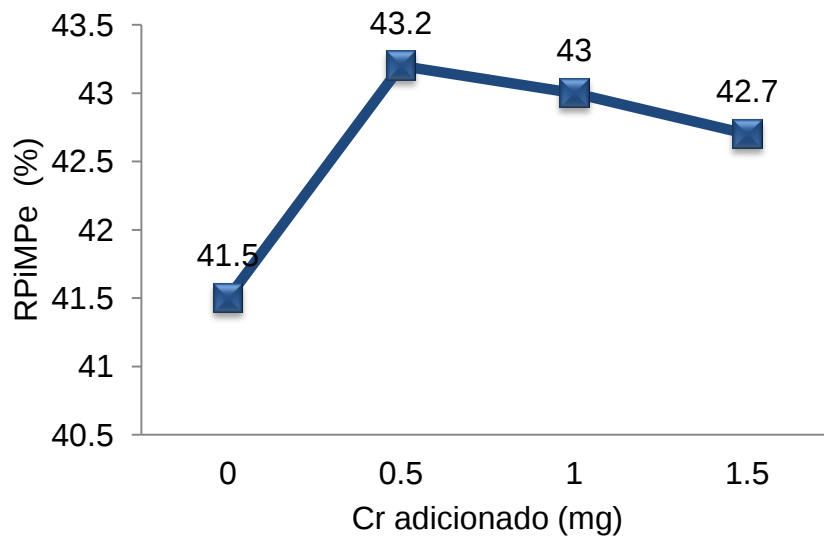


Figura 31. Rendimiento de pierna, muslo y pechuga de animales suplementados con cromo.

Jackson *et al.* (2008) agregaron tres niveles de Cr orgánico (0.2, 0.4 y 0.8 mg de Cr kg⁻¹ de alimento) observando que la adición de Cr a la dieta de pollos de engorda no afectó el PS, ni el RPe. Sin embargo, el RPe de esta investigación es mayor al encontrado por estos autores, esto puede deberse que el peso del pollo sacrificado de esta investigación fue mayor (2864 vs 2120 g).

La adición de Cu afectó el RPi ($p < 0.002$) de manera diferenciada por sexos (interacción Cu * sexo). En las hembras, el mayor RPi se observó con el nivel de 100 mg de Cu (efecto cuadrático, $p < 0.029$); pero en los machos el RPi se redujo con un nivel de 100 mg de Cu (Efecto cuadrático, $p < 0.021$) (Cuadros 13 y 14).

Cuadro 13. Efectos principales y contrastes del rendimiento de las piernas (R_{Pi}), muslos (R_M), pechuga (R_{Pe}), y piernas, muslos y pechuga (R_{PiM_{Pe}}).

Efecto	R _{Pi} , %	R _M , %	R _{Pe} , %	R _{PiM_{Pe}} , %
Cr	0.533	0.242	0.664	0.064
Cu	0.669	0.335	0.030	0.614
Sexo	<.0001	<.0001	0.001	<.0001
Cu *Cr	0.190	0.297	0.955	0.480
Cu*Sexo	0.002	0.257	0.134	0.818
Cr*Sexo	0.760	0.344	0.934	0.924
Cu*Cr*Sexo	0.389	0.537	0.509	0.975
Contrastes				
Cr Lineal	0.995	0.381	0.744	0.120
Cr Cuadrático	0.674	0.080	0.318	0.039
Cr Cúbico	0.158	0.565	0.498	0.420
Cu Lineal	0.436	0.146	0.073	0.439
Cu Cuadrático	0.662	0.812	0.048	0.541
Cr Lineal, hembras	0.786	0.186	0.802	0.176
Cr Cuadrático, hembras	0.617	0.425	0.807	0.177
Cr Cúbico, hembras	0.066	0.132	0.583	0.401
Cr Lineal, machos	0.766	0.999	0.836	0.421
Cr Cuadrático, machos	0.893	0.107	0.216	0.112
Cr Cúbico, machos	0.762	0.571	0.692	0.795
Cu Lineal, hembras	0.541	0.288	0.477	0.914
Cu Cuadrático, hembras	0.029	0.155	0.014	0.611
Cu Lineal, machos	0.141	0.318	0.058	0.297
Cu Cuadrático, machos	0.021	0.352	0.927	0.722

El Cu afectó el R_{Pe} ($p < 0.030$), presentándose un efecto cuadrático ($p < 0.048$), con el nivel de 100 mg de Cu kg⁻¹ de alimento se observó el mayor R_{Pe} (Figura 32). Los machos mostraron mayor ($p < 0.001$) R_M, R_{Pe} y R_{PiM_{Pe}} respecto de las hembras (Cuadros 13 y 14).

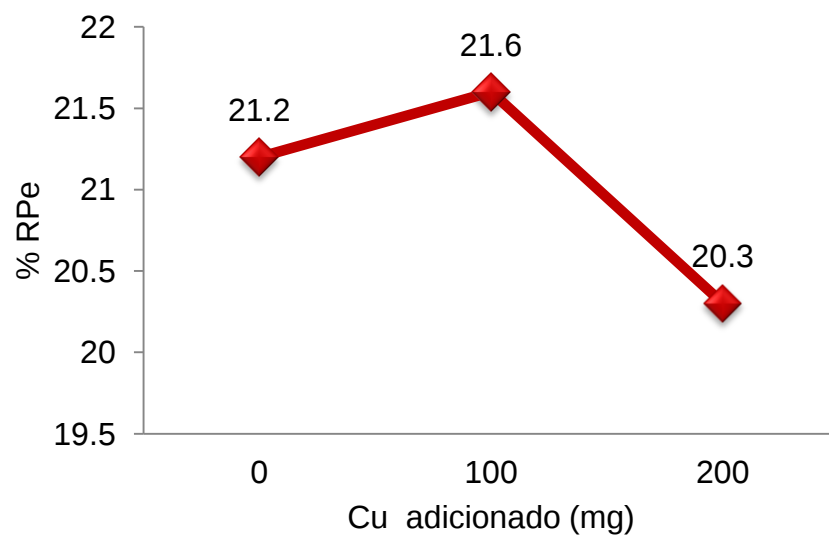


Figura 32. Rendimiento de pechuga de animales suplementados con cobre.

Cuadro 14. Porcentajes del rendimiento de las piernas (RPi), muslos (RM), pechuga (RPe), y piernas, muslos y pechuga (RPIMPe).

	RPi, %	RM, %	RPe, %	RPIMPe, %
Cobre				
0	8.1	9.7	21.2	42.3
100	8.0	9.5	21.6	42.8
200	8.0	9.2	20.3	42.7
EEM ^x	0.109	0.241	0.340	0.406
Cromo				
0.0	8.0	9.0	20.8	41.5
0.5	7.9	9.8	21.4	43.2
1.0	8.1	9.7	21.0	43.0
1.5	7.9	9.4	20.8	42.7
EEM ^x	0.126	0.279	0.392	0.468
Sexo				
Hembra	7.1	8.4	20.1	41.9
Macho	8.9	10.5	21.9	43.3
EEM ^x	0.089	0.197	0.278	0.331

^x EEM= Error Estándar de la Media

Grasa y colesterol de la carne

La adición de Cr en la dieta de pollos de engorda no afectó el contenido de grasa ($p>0.992$), grasa total ($p>0.397$), colesterol ($p>0.942$), y colesterol total ($p>0.198$) (Cuadros 15 y 16). Los resultados observados en el contenido de grasa de la carne en el presente trabajo son similares a los observados por Toghyani *et al.* (2008) que suplementaron tres niveles de Cr orgánico e inorgánico (0.5, 1.0 y 1.5 mg de Cr kg^{-1} de alimento) en pollos de engorda y observaron que la adición de Cr no afectó el contenido de grasa intramuscular, sin embargo la suplementación de 1.5 mg de Cr orgánico kg^{-1} de alimento incrementó el contenido de proteína de la pechuga. Nuevamente Toghyani *et al.* (2010) suplementaron cuatro niveles de levadura de Cr (0.2, 0.4, 0.8 y 1.2 mg de Cr kg^{-1} de alimento) y observaron que la adición de Cr en la dieta no afectó el contenido de grasa intramuscular del muslo.

El efecto observado por el Cr en el contenido de colesterol es similar al observado por Lien *et al.* (1999) quienes suplementaron tres niveles de Cr en forma de picolinato (0.8, 1.6 y 3.2 mg de Cr kg^{-1} de alimento) en pollos de engorda y observaron que el Cr no disminuyó el contenido de colesterol. Sin embargo, Anandhi *et al.* (2006) observaron que al adicionar 0.5 mg de Cr kg^{-1} de alimento disminuyó 13% el contenido de colesterol de la pechuga y 9% del muslo, observándose también que el muslo tiene mayor contenido de colesterol que la pechuga (106.06 mg 100 g^{-1} de tejido en muslo y 77.62 mg 100 g^{-1} de tejido en pechuga). Por otra parte, Sands y Smith (2002) observaron que al adicionar 0.4 mg de Cr kg^{-1} de alimento en pollos de engorda disminuyó el colesterol total (132.6 vs 141.9 mg dL^{-1}). Navidshad *et al.* (2010) observaron que la suplementación de 0.500 mg de Cr disminuyó 20% el colesterol del plasma (76.4 vs 100 mg dL^{-1})

Cuadro 15. Efectos principales y contrastes del contenido de grasa, grasa total, colesterol y colesterol total en carne de pollo suplementados con cobre y cromo.

Efecto	Grasa, %	Grasa total, g	Colesterol, mg/100 g	Colesterol total, g
Cr	0.992	0.942	0.397	0.198
Cu	0.318	0.014	0.019	0.015
Cu*Cr	0.237	0.273	0.704	0.780
Sexo	<0.001	0.308	0.561	0.543
Cu*Sexo	0.657	0.508	0.125	0.095
Cr*Sexo	0.506	0.709	0.798	0.624
Cu*Cr*Sexo	0.263	0.255	0.966	0.941

Contrastes				

Cr Lineal	0.621	0.8506	0.585	0.281
Cr Cuadrático	0.941	0.563	0.572	0.544
Cr Cúbico	0.220	0.923	0.122	0.071
Cu Lineal	0.266	0.014	0.487	0.840
Cu Cuadrático	0.955	0.116	0.007	0.004
Cr Lineal, hembras	0.926	0.823	0.641	0.442
Cr Cuadrático, hembras	0.278	0.240	0.513	0.538
Cr Cúbico, hembras	0.979	0.991	0.183	0.151
Cr Lineal, machos	0.987	0.969	0.661	0.578
Cr Cuadrático, machos	0.645	0.671	0.596	0.488
Cr Cúbico, machos	0.887	0.875	0.651	0.666
Cu Lineal, hembras	0.266	0.146	0.601	0.771
Cu Cuadrático, hembras	0.546	0.074	0.016	0.077
Cu Lineal, machos	0.564	0.043	0.531	0.353
Cu Cuadrático, machos	0.325	0.730	0.342	0.007

La adición de Cu afectó la grasa total ($p<0.014$), de forma lineal con cada incremento en el nivel de Cu ($p<0.014$) (Cuadro 15). Se redujo 9.7% (837.9 vs 928.3 g) con la adición de 200 mg de Cu kg⁻¹ de alimento (Figura 33 y Cuadro 16). Estos resultados son similares al nivel de Cu que reporta Crespo (2007). Crespo (2007) encontró que el nivel óptimo biológico de Cu que minimiza los lípidos totales en el muslo es 196 mg de Cu kg⁻¹ de alimento.

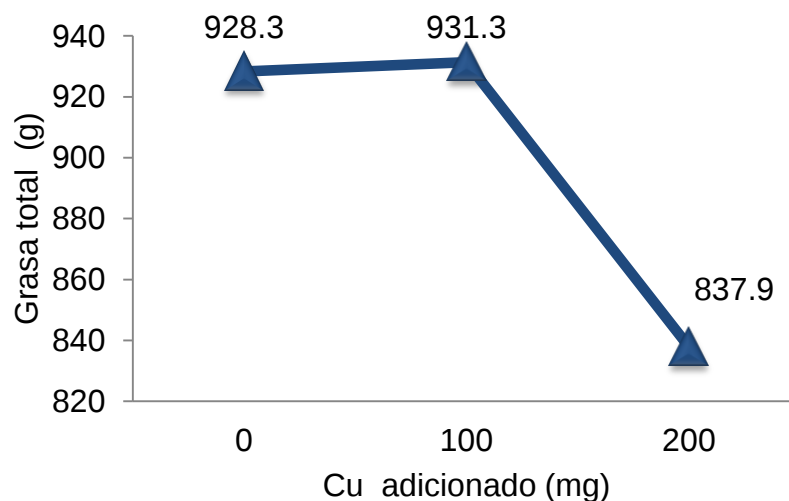


Figura 33. Grasa total de la carne de pollos alimentados con cobre.

El patrón de la respuesta del contenido de colesterol en el cuerpo de los pollos fue de tipo cuadrática ($p < 0.007$) (Figura 34 y Cuadros 15 y 16). Al adicionar 100 mg de Cu incrementó 13% (196.8 vs 174.1 mg/100g). Es importante señalar que al comparar el valor obtenido en 100 mg de Cu con el de 200 mg de Cu kg^{-1} el colesterol disminuyó 8.6% (196.8 vs 179.9 mg/100g).

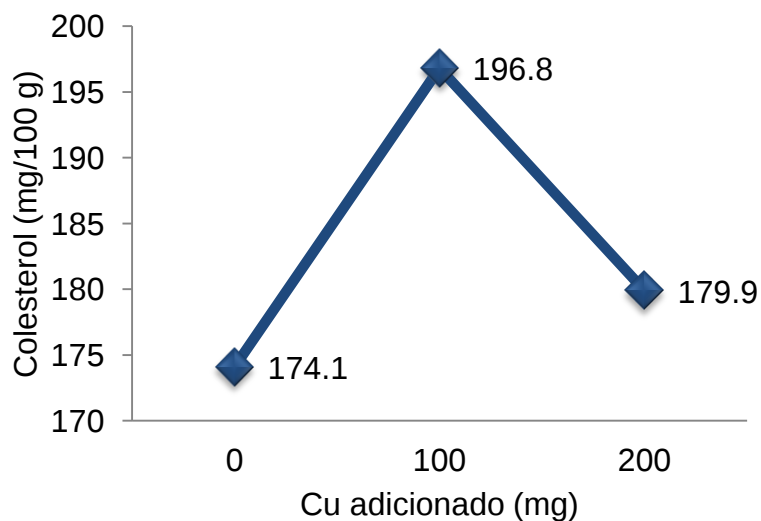


Figura 34. Colesterol de la carne de pollos alimentados con cobre.

El contenido de colesterol total presentó un efecto de forma cuadrática ($p>0.004$) con la adición de Cu. Es importante destacar que la interacción Cu*sexo presentó una tendencia significativa ($p<0.095$), de forma cuadrática en hembras ($p<0.077$) y en machos ($p<0.007$). Al adicionar 100 mg de Cu kg⁻¹ de alimento se observó el mayor nivel de colesterol en hembras y en machos (hembras: 4.91 g y machos: 5.46 g). Sin embargo, al adicionar 200 mg de Cu kg⁻¹ de alimento el nivel de colesterol total disminuyó 7.4% (4.47 vs 4.83 g) en hembras y en machos 14.2% (4.68 vs 5.46 g) comparado con el nivel más alto. Crespo (2007) reportó que el nivel óptimo biológico que minimiza el colesterol en el muslo es de 250 mg de Cu kg⁻¹ de alimento.

Cuadro 16. Medias del contenido de grasa, grasa total, colesterol y colesterol total en carne de pollo suplementados con cobre y cromo.

Cu	Grasa, %	Grasa total, g	Colesterol, mg/100 g	Colesterol total, g
0	32.1	928.3	174.1	4.62
100	32.8	931.3	196.8	5.18
200	31.1	837.9	179.9	4.58
EEM ^x	0.819	24.868	5.725	0.159
Cr				
0.0	32.3	910.7	190.3	5.06
0.5	31.9	893.8	175.6	4.56
1.0	32.0	887.7	187.8	4.92
1.5	32.0	904.4	180.7	4.64
EEM ^x	0.946	28.895	6.611	0.183
Sexo				
Hembras	34.5	914.0	181.6	4.74
Machos	29.6	884.3	185.6	4.85
EEM ^x	0.669	20.437	4.740	0.131

^x EEM= Error Estándar de la Media

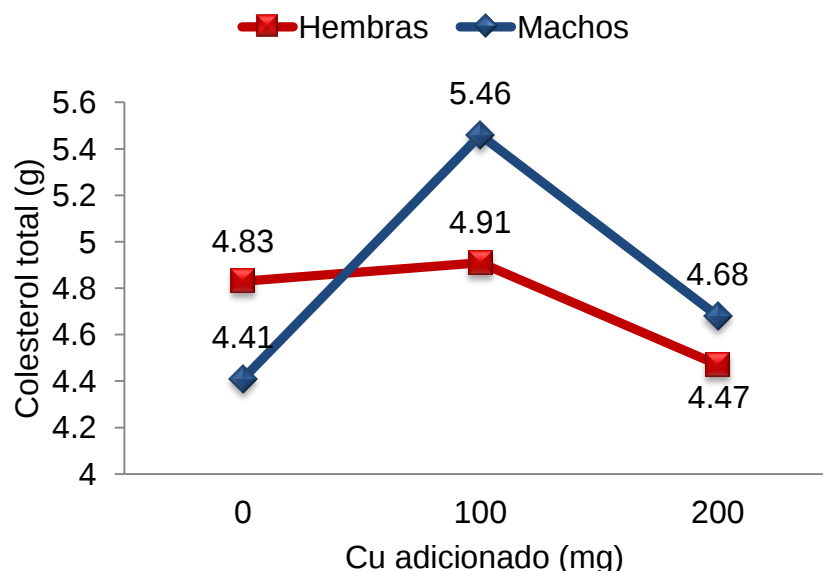


Figura 35. Colesterol total de hembras y machos suplementados con cobre.

El contenido de colesterol encontrado en la carne no concuerda con lo reportado por Konjufca *et al.* (1997) quienes suplementaron dos niveles de Cu (63 y 180 mg de Cu kg⁻¹ de alimento) y observaron que al adicionar 180 mg de Cu Kg⁻¹ se redujo 21% el colesterol del muslo y 23% el de la pechuga, reportando que el músculo del muslo contiene mayor contenido de colesterol que el músculo de la pechuga (muslo: 145 y pechuga: 41 mg 100 g⁻¹ de tejido); una posible explicación es que el colesterol está asociado con el tejido adiposo, el cual es más abundante en el muslo que en la pechuga. Por otra parte, Zia-Ur-Rahman *et al.* (2001) observaron que la adición de 350 mg de Cu kg⁻¹ de alimento en pollos de engorda redujo 18% el colesterol en plasma y 17% los triglicéridos del plasma. Skrivan *et al.* (2010) adicionaron 200 mg de Cu kg⁻¹ de alimento en forma de sulfato de cobre pentahidratado en pollos de engorda y observaron que la adición de redujo 24.8% el contenido de colesterol de la carne.

4.6 Conclusiones

La adición de 0.5, 1.0 y 1.5 mg de Cr en la dieta de pollos de engorda de 1 a 49 días de edad no afectó el PS, PPI, PM, PPe, PPIMPe, PGA, RPi, RM, RPe, contenido de grasa, grasa total, colesterol y colesterol total. En el RPiMPe se observó un patrón de tipo cuadrático en donde la mayor respuesta fue con un nivel de 0.5 mg de Cr en la dieta.

La adición de Cu afectó el PS, PPI, PPIMPe y RPi de manera diferente entre sexos. En las hembras, el mayor PS, PPI, PPIMPe y RPi se observó con un nivel de 100 mg de Cu kg⁻¹. En los machos disminuyó de forma lineal el PS y PPIMPE al aumentar los niveles de Cu en la dieta. El PPe y RPe presentaron una tendencia a disminuir con el nivel de 200 mg de Cu kg⁻¹, independientemente del sexo.

La grasa total se redujo linealmente con cada incremento de Cu en la dieta. El contenido de colesterol en el cuerpo de los pollos tuvo una respuesta cuadrática ya que la concentración fue mayor con el nivel de 100 mg de Cu en la dieta. El colesterol total también fue mayor con el nivel de 100 mg de Cu, pero en los machos y hembras hubo una tendencia a disminuir con el nivel de 200 mg de Cu en la dieta.

Los machos tuvieron mayor PM, PPe, RM y RPiMPe, pero menor PGA que las hembras.

4.7 Literatura citada

- Abell, L.L., B.B. Levy, B.B. Brodie, and F.E. Kendall. 1951. A simplified method for the estimation of total cholesterol in serum and demonstration of its specificity. *Journal of Biological Chemistry* 195: 357-366.
- Anandhi, M., R. Mathivanan, K. Viswanathan, and B. Mohan. 2006. Dietary inclusion of organic chromium on production and carcass characteristics of broilers. *International Journal of Poultry Science* 5: 880-884.
- Arias, V. J., and E. A. Koutsos. 2006. Effects of copper source and level on intestinal physiology and growth of broiler chickens. *Poultry Science* 85: 999-1007.
- Aviagen. 2007. Ross x Ross 308. North American Broiler Performance Objectives. Aviagen, Inc. Huntsville, Alabama, USA. 8 p.
- Crespo, L. G. 2007. Modificación del perfil lipídico en pollos de engorda mediante la suplementación con cobre. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo México. 145 p.
- Ewing, H. P., G. P. Pesti, R. I. Bakalli, and J. F. Menten. 1998. Studies on the feeding of cupric sulfate pentahydrate, cupric citrate, and copper oxychloride to broiler chickens. *Poultry Science* 77: 445-448.
- Fenton M., y J. S. Sim. 1991. Determinación de colesterol en yema de huevo por capilaridad en columna en cromatografía de gases. *Journal of Chromatography* 540.
- Jackson, A. R., S. Powell, S. Johnston, J. L. Shelton, T. D. Bidner, F. R. Valdez, and L. L. Southern. 2008. The effect of chromium propionate on growth performance and carcass traits in broilers. *Journal of Applied Poultry Research* 17: 476-481.
- Konjufca, V. H., G. M. Pesti, and R. I. Bakalli. 1997. Modulation of cholesterol levels in broiler meat by dietary garlic and copper. *Poultry Science* 76: 1264-1271.
- Króliczewska, B., W. Zawadzki, T. Skiba, and D. Mista. 2005. Effects of chromium supplementation on chicken broilers growth and carcass characteristics. *Acta Veterinaria Brno* 74: 543-549.
- Lien, T. F., Y. M. Horng, and K. H. Yang. 1999. Performance, serum characteristics, carcass traits and lipid metabolism of broilers as affected by supplement of chromium picolinate. *British Poultry Science* 40: 357-367.
- Liu, Z. Z., G. Q. Wu, J. X. Zheng, J. Y. An, N. Yang, and G. Y. Xu. 2010. Supplemental Chromium picolinate promotes growth of broiler chickens by enhancing insulin receptor gene expression. *Journal of Animal Science Biotechnology* 1:7-14.

- Navidshad, B., Z. A. Pirsaraei, and Y. Chashnidel. 2010. Effects of dietary chromium polynicotinate supplementation on performance, fat deposition and plasma lipids of broiler chickens. *Italian Journal of Animal Science* 9: 1-14.
- Pechova, A., and L. Pavlata. 2007. Chromium as an essential nutrient: a review. *Veterinarni Medicina* 52: 1–18.
- Sands, J. S., and M. O. Smith. 2002. Effects of dietary manganese proteinate or chromium picolinate supplementation on plasma insulin, glucagon, glucose and serum lipids in broiler chickens reared under thermoneutral or heat stress condition. *International Journal of Poultry Science* 1: 145-149.
- SAS. 2002. SAS/STAT 9.1 User's Guide. Volumen 1-7. SAS Publishing, Cary, NC. USA.5180 p.
- Skrivan, M., V. Skrivanova, M. Marounek, E. Tunova, and J. Wolf. 2010. Influence of dietary fat source and copper supplementation on broiler performance, fatty acid profile of meat and depot fat, and on cholesterol content in meat. *British Poultry Science* 41: 608-614.
- Toghyani, M., A. Khodami, and A. A. Gheisari. 2008. Effect of organic and inorganic chromium supplementation on meat quality of heat-stressed broiler chicks. *American Journal of Animal and Veterinary Sciences* 3: 62-67.
- Toghyani, M., A. A. Gheisari, A. Khodami, M. Toghyani, M. Mohammadrezaei, and R. Bahadoran. 2010. Effect of dietary chromium yeast on thing meat quality of broiler chicks in heat stress condition. *World Academy of Science, Engineering and Technology* 72: 246-249.
- Underwood, E. J., and N. F. Suttle. 2003. Los minerales en la nutrición del Ganado. 3^a ed. Editorial Acribia, Zaragoza, España. 637 p.
- Zia-Ur-Rahman, B. Faiza, M. A. Ali, A. B. Essaddig, Z. I. Mahjiub, H. Mehdi, M. R. Masoud, J. S. A. Shoukat, and A. Navid. 2001. Effects of copper supplement on haematological profiles and broiler meat composition. *International Journal of Agriculture and Biology* 2: 203-205.