



EFECTO DE LA INCLUSIÓN DE PROTEINATO DE COBRE EN LA DIETA SOBRE EL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO, LAS CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL Y LA CALIDAD DE LA CARNE DE CERDOS EN FINALIZACIÓN[†]

[EFFECT OF COPPER PROTEINATE INCLUSION IN FOOD ON GROWTH PERFORMANCE, CARCASS TRAITS AND MEAT QUALITY OF FINISHING PIGS]

M.B. Colín-Álvarez¹, I.A. Domínguez-Vara^{1,*}, J.L. Bórquez-Gastelum¹, J.A. Partida-De la Peña², J.E. Sánchez-Torres¹, E. Morales Almaraz¹ and D. Trujillo-Gutiérrez¹

¹Departamento de Nutrición Animal. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma del Estado de México. Campus Universitario "El Cerrillo", Toluca, Estado de México. Email: igy92@hotmail.com

²Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal, INIFAP. México.

*Corresponding author

RESUMEN

El objetivo fue evaluar el efecto de incluir 0, 75, 150 y 225 mg de proteinato de cobre .kg⁻¹ MS (P-Cu) en el alimento sobre el crecimiento, las características de la canal y la calidad de carne de cerdos para abasto. Se emplearon 24 porcinos (12 hembras y 12 machos), peso inicial 60.3±0.55 kg, alimentados con dieta basal (DB) durante 46 días, distribuidos en un diseño completamente aleatorizado, factorial 4×2 (niveles de P-Cu y sexo): T1=DB (0 mg de P-Cu kg⁻¹ MS), T2=DB+75 mg de P-Cu, T3=DB+150 mg de P-Cu y T4=DB+225 mg de P-Cu. La dosis de 225 mg de P-Cu mejoró la ganancia de peso (GDP) y la eficiencia alimenticia (EFA) (P<0.05). El P-Cu aumentó el área de chuleta (ACH) en hembras y redujo la grasa dorsal (GD) en machos (P<0.05). El P-Cu aumentó (12.6%) el rendimiento de cortes primarios (RCP) (P<0.05). En T3 y T4 se redujo la pérdida de agua 58.5 y 82.2% (P<0.05). El P-Cu afectó (P<0.01) el pH final y el índice a* (P<0.05) del músculo *Longissimus thoracis*. En conclusión, el P-Cu mejoró la GDP, la EFA, el ACH y el RCP, y redujo la GD en la canal.

Palabras clave: Proteinato de Cobre; Porcinos; Características de Canal; Calidad de carne.

SUMMARY

The objective was to evaluate the effect of including 0, 75, 150 and 225 mg Cu kg⁻¹ MS of copper proteinate (P-Cu) in the feed on growth, carcass characteristics and meat quality of pigs for market. Twenty four pigs (12 females and 12 males) were used, initial weight 60.3±0.55 kg, fed with basal diet (BD) during 46 days, distributed in a completely randomized design, factorial 4×2 (levels of P-Cu and sex): T1=DB (0 mg of P-Cu kg⁻¹ MS), T2=DB+75 mg of P-Cu, T3=DB+150 mg of P-Cu and T4=DB+225 mg of P-Cu. The dose of 225 mg of P-Cu increased the daily weight gain (DWG) and the feed efficiency (FE) (P<0.05). The P-Cu increased the area of chop (CHA) in females and reduced the back fat (BF) in males (P<0.05). The P-Cu increased (12.6%) the yield of primary cuts (YPC) (P<0.05). In T3 and T4 the water loss was reduced 58.5 and 82.2% (P<0.05). The P-Cu affected (P<0.01) the final pH and the a* index (P<0.05) of the *Longissimus thoracis* muscle. In conclusion, the P-Cu improved the DWG, the FE, the CHA and the YPC, and reduced the BF in the carcass.

Key words: Copper proteinate; Pigs; Carcass traits; Meat quality.

[†] Submitted April 19, 2018 – Accepted March 12, 2019. This work is licensed under a CC-BY 4.0 International License.
ISSN: 1870-0462

INTRODUCCIÓN

El Cobre es un elemento importante en muchos procesos fisiológicos por que interviene en la regeneración de células dañadas por radicales libres, interviene en la síntesis de hemoglobina, elastina, mielina y colágeno. En general, concentraciones de 5 a 25 mg de Cu kg⁻¹ MS en la dieta cubren los requerimientos de cerdos para estos procesos (NRC, 2012). Sin embargo, cuando se suministran cantidades mayores (100 a 250 mg de Cu kg⁻¹ MS) este micro mineral mejora el crecimiento de los cerdos (Cromwell *et al.*, 1989; Dove, 1993; Hill *et al.*, 2000; Hill and Spears, 2001), reduce la grasa en la canal y aumenta el contenido de ácidos grasos insaturados en la carne (Amer y Elliot, 1973; Pettigrew and Esnaola, 2001); no obstante, la respuesta disminuye con la edad y con el suministro durante períodos prolongados (Hastad *et al.*, 2001). Por otro lado, la absorción del Cu en el intestino es baja y varía dependiendo de la fuente (inorgánico u orgánico), el Cu inorgánico se absorbe poco, de 0.5 a 4.0% (Wapnir, 1998); mientras que, el Cu orgánico tiene una mayor absorción y retención tisular. En este sentido, el proteinato de cobre es un quelato orgánico que resulta de la unión de una sal de cobre soluble con aminoácidos. Esto lo hace más biodisponible y bioactivo reduciendo su eliminación hacia el ambiente (Murray *et al.*, 1997; Sciavon *et al.*, 2000). Son pocos los estudios que han evaluado el efecto de dosis altas de Cu orgánico sobre la respuesta en el crecimiento y la calidad de la carne de cerdos para el abasto, por lo que el objetivo del presente estudio fue evaluar la eficiencia en el crecimiento, las características de la canal y la calidad de la carne de cerdos en finalización suplementados con proteinato de Cu en la dieta.

MATERIALES Y MÉTODOS

El Comité de Bioética y Bienestar Animal de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma del Estado de México revisó y aprobó el estudio, el cual se realizó en la Unidad Experimental en Producción Animal de la misma Institución, localizada en el Campus Universitario “El Cerrillo”, Toluca, México. Los procedimientos de manejo de los cerdos se realizaron según los lineamientos oficiales para el cuidado de los animales en México (SAGARPA, 1995); cuidado humanitario del animal durante la movilización (SAGARPA, 2014), sacrificio de animales domésticos y silvestres.

Animales, manejo y tratamientos.

Un total de 24 cerdos (12 hembras y 12 machos castrados) F1 Landrace X Duroc, con 60.3±0.55 kg PV y 120±4 días de edad fueron alojados individualmente en corraletas de piso elevado, con

dimensiones de 1.5x2 m, equipados con bebedero y comedero automáticos. El periodo experimental duró 61 días, de los cuales 15 se consideraron para la adaptación a una dieta basal que cubrió los requerimientos nutricionales (NRC, 2012) (Tabla 1) y 46 fueron de evaluación. Previo al inicio el estudio, los cerdos fueron vitaminados con 1 mL de vitaminas A, D y E (Vigantol; Bayer, México) y desparasitados con 0.5 mL de ivermectina (laboratorio Sanfer, México). Los cerdos fueron pesados de forma individual y asignados al azar a los tratamientos, bajo un diseño experimental completamente aleatorizado, factorial 4x2 (4 niveles de P-Cu y machos y hembras). Los tratamientos fueron: T1=DB (0 mg proteinato de Cu (P-Cu) kg⁻¹ MS), T2=DB+75 mg P-Cu kg⁻¹ MS, T3=DB+125 mg P-Cu kg⁻¹ MS, T4=DB+225 mg P-Cu kg⁻¹ MS. El P-Cu se suministró diariamente a través de la premezcla (Bioplex Cu, Alltech, Inc., Nicholasville, KY[®]) que contiene 1000 mg de Cu kg⁻¹ MS, dispersada con la técnica “top dressing”, extendiendo el producto sobre el alimento para asegurar su consumo de la dosis diaria.

Tabla 1. Ingredientes usados y composición nutrimental de la dieta basal suministrada a los cerdos.

Ingrediente/Composición química	(g kg ⁻¹ MS)
Sorgo molido	789.0
Soya	176.0
Premezcla de minerales y vitaminas ¹	35.0
Fosfato de calcio	5.0
Total	1000.0
Análisis calculado (% BS)	
EM, Mcal kg ⁻¹ MS	3.4
Proteína cruda, g/100g	14.2
Extracto etéreo, g/100g	2.9
Fibra cruda, g/100g	3.5
Calcio, g/100g	0.85
Fósforo, g/100g	0.75
Cobre, ppm ²	15.0
Zinc, ppm	35.0
Hierro, ppm	50.0

¹Premezcla de minerales y vitaminas (Multitec, Malta Cleyton): Ca 4500 g; Zn 1.5 g; Fe 140 g; K 90 g; Co 500 g; Mg 36 g; I 500 mg; Se 90 mg; Na 125 g; Vit. A 3000 UI/Kg; Vit. D3 750 UI/Kg; Vit. E 25 UI/Kg.

²La dieta basal aportó 15 mg Cu kg⁻¹ MS.

Comportamiento animal.

La dieta se suministró a libre acceso, pesando y registrando el alimento ofrecido y rechazado diariamente para calcular el consumo de materia seca (CMS). Se colectaron muestras de alimento dos veces por semana, cada muestra se secó en estufa de aire forzado a 60 °C durante 24 h para analizar su

composición química: MS, cenizas, extracto etéreo, proteína cruda y fibra cruda (métodos con números 930.15, 942.05, 945.16, 984.13 y 962.09 de la AOAC (2007); así como el contenido de Ca, Cu, Zn y Fe, por espectrofotometría de absorción atómica (Fick *et al.*, 1979). Los cerdos se pesaron cada 15 días, al finalizar la prueba del comportamiento productivo se suspendió el suministro de alimento y se trasladaron (25 km) al rastro municipal de Toluca, Estado de México, en donde se pesaron previo ayuno de 12 h, se sacrificaron por métodos humanitarios (SAGARPA, 2014) y faenaron bajo las normas comerciales del rastro.

Evaluación de la canal

Después del aturdimiento eléctrico, los cerdos fueron desangrados y las canales escaldadas en agua a 65 °C; posteriormente, se registró el peso y el rendimiento de la canal caliente. Después se hizo un corte transversal en la canal, a nivel de la última costilla para obtener una porción del músculo *Longissimus thoracis*, en el que se midió el área de ojo de chuleta por planimetría. El espesor de la grasa dorsal fue medido sobre la línea media, a nivel de la 10ª costilla de la media canal derecha. La pérdida por goteo se evaluó con el método de Honikel (1998). El rendimiento de los cortes primarios (RCP) de la canal se estimó a partir de la ecuación de predicción RCP (kg)=10.069+0.459xPCxGD, desarrollada por el INIFAP (Cuarón, 1990); en esta ecuación se basa la Norma Mexicana Productos Pecuarios. Carne de Porcino en Canal-Calidad de la Carne-Clasificación (SAGARPA, 2003).

Calidad de la carne

El pH se midió, en tres diferentes puntos, a 45 minutos y 24 -horas post sacrificio en el músculo *Longissimus thoracis*, a nivel de la última costilla con un potenciómetro equipado con termómetro y electrodo de penetración (Oakton, Vernon Hills, IL, USA) (Honikel, 1998).

El color de la carne (Cie L*, a*, b*) se midió con un colorímetro (Chroma Meter CR-300 Konika Minolta Osaka, Japan), 45 minutos, 24 y 48 h *post mortem* sobre las muestras de carne refrigerada (4 °C), en cinco zonas homogéneas representativas libres de grasa intramuscular y sangre, que fueron seleccionadas al azar. Para esto, se extrajo una porción del músculo *Longissimus thoracis* a nivel de la última costilla, según recomendación de la American Meat Science Association (Hunt *et al.*, 1991; AMSA, 1992).

Análisis estadístico

Los datos se analizaron bajo el Modelo Lineal General en un diseño experimental completamente al

azar, con arreglo factorial 4 X 2 (4 tratamientos y 2 sexos) con Proc Mixed, el análisis del crecimiento de los cerdos se efectuó con medidas repetidas (SAS, 2006) y para evaluar las diferencias ($P \leq 0.05$) entre tratamientos, se compararon las medias con la prueba de Tukey (Steel *et al.*, 1997).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación del crecimiento

La administración de P-Cu a los animales influyó ($P \leq 0.05$) en su crecimiento, ya que los cerdos que recibieron el tratamiento con 225 ppm de P-Cu tuvieron una mayor GDP ($P < 0.05$) y mejor conversión alimenticia ($P < 0.04$), por lo que lograron una alta eficiencia en la transformación del alimento consumido en peso vivo ganado ($P < 0.05$); sin embargo, el P-Cu no tuvo efecto ($P > 0.05$) en el CMS. Lo anterior, contrasta con el efecto regulador del Cu sobre el ARNm y la expresión del neuropeptido-Y (Li *et al.*, 2008), este último inductor del consumo voluntario de alimento. No hubo diferencias entre machos y hembras, ni efecto de la interacción entre el P-Cu y el sexo de los animales ($P > 0.05$) en las variables mencionadas anteriormente (Tabla 2). En estudios realizados con cerdos en crecimiento se observó que la ganancia diaria promedio (GDP) de los animales suplementados con 25, 50 y 100 mg de P-Cu kg^{-1} MS fue mayor que la de los cerdos tratados con 250 mg de P-Cu kg^{-1} MS (Veum *et al.*, 2004); asimismo, se observó que el CMS en los cerdos del grupo control fue mayor que en los cerdos de los otros tratamientos, ya que la dosis de 225 mg de P-Cu kg^{-1} MS lo redujo en 36.3% con respecto al grupo control y esto pudo afectar su crecimiento (Veum *et al.*, 2004). En contraste, en otros trabajos realizados en cerdos en la etapa de crecimiento, la suplementación con 100, 150 y 200 mg kg^{-1} MS del complejo Cu-lisina aumentó linealmente el CMS (Apgar *et al.*, 1995); además, se ha informado que la complementación con 40 mg de P-Cu kg^{-1} MS aumentó la GDP y el CMS de cerdos en la fase de crecimiento (Smith and Henman, 2000). Además, el uso de nano partículas (10-100 nm) de cobre en cerdos (50 mg kg^{-1}), mejoró el crecimiento y la digestibilidad de la grasa cruda y energía, asimismo disminuyó la excreción de Cu en heces (Gonzales-Eguia *et al.*, 2009). Similar comportamiento fue observado en lechones destetados suplementados con 100 mg kg^{-1} de nano partículas de cobre (121.9 nm), lo que resultó en cambios de la morfología intestinal (Zhao *et al.*, 2007) y disminución de microflora intestinal nociva (*E. coli*) (Wang *et al.*, 2012). En el presente estudio, la complementación de la dieta con P-Cu 225 mg kg^{-1} MS mejoró 20% la GDP, 8.3% la CA y 10.8% la eficiencia de uso del alimento, con un ahorro de alimento de 8.3% con respecto al grupo control.

Tabla 2. Efecto de la inclusión de proteínato de cobre en la dieta sobre el comportamiento productivo de cerdos en finalización.

Variable	P-Cu (mg kg ⁻¹ MS)				Sexo		Efecto de:			
	0	75	150	225	Hembras	Machos	EEM ¹	P-Cu	Sexo	P-Cu × Sexo
<i>n</i>	6	6	6	6	12	12				
Peso inicial, kg	59.5	60.5	60.8	60.3	60.6	60.10	1.021	----	----	----
Peso final, kg	102.2	100.0	101.2	105.5	102.8	100.8	4.697	ns	ns	ns
² GDP, kg/d	1.0	1.0	1.0	1.2	1.07	1.06	0.118	0.05	ns	ns
³ CMS, kg/d	2.4	2.5	2.6	2.6	2.50	2.50	0.083	ns	ns	ns
⁴ CA, kg	2.4	2.5	2.6	2.2	2.3	2.4	0.384	0.04	ns	ns
⁵ EFA, %	41.7	40.0	38.5	46.2	42.8	42.4	4.144	0.05	ns	ns

¹Error estándar de la media. ²GDP=Ganancia de peso, ³CMS=Consumo de materia seca, ⁴CA=Conversión alimenticia, ⁵EFA=Eficiencia alimenticia. ns= No significativo ($P>0.05$), *=($P\leq 0.05$).

En cerdos jóvenes, el efecto positivo de niveles altos de Cu (por encima de su requerimiento fisiológico), se atribuye primordialmente a su acción antimicrobiana en el tubo digestivo, lo que repercute en una mayor cantidad de nutrientes absorbidos. En este sentido, un grupo de investigación determinó que un alto contenido de Cu (283 mg kg⁻¹ de dieta) mejoró el crecimiento y la conversión alimenticia, así como la relación entre la altura de las vellosidades y la profundidad de las criptas en lechones criados de forma convencional (Shurson *et al.*, 1990). Asimismo, otro estudio concluyó que la suplementación de cantidades moderadas de Cu en la dieta (<50 mg kg⁻¹), redujeron la población de clostridios y coliformes, incluso concentraciones más altas (>170 mg kg⁻¹) disminuyeron la población de lactobacillus (Jensen, 2016).

Evaluación de las características de la canal

El P-Cu no afectó ($P>0.05$) el peso y el rendimiento de la canal caliente, tampoco hubo diferencia significativa ($P>0.05$) entre machos y hembras, ni efecto de la interacción entre el P-Cu y el sexo sobre esas variables ($P>0.05$). En contraste, el área del ojo de la chuleta fue 9 % mayor ($P<0.05$) en las hembras que en los machos. El P-Cu por sí sólo no influyó en el depósito de grasa dorsal ($P>0.05$), pero la interacción entre el P-Cu y el sexo fue significativa ($P\leq 0.05$) con 12.2% menor depósito de grasa dorsal en los machos. Los tratamientos que proporcionaron P-Cu a los cerdos, originaron 16.7% más rendimiento de los cortes primarios de la canal (en promedio) que el grupo control ($P<0.05$); también, se observó un efecto significativo ($P=0.02$) del sexo sobre los cortes primarios de la canal, siendo 6.8% mayor en las hembras que en los machos, pero no hubo efecto de la interacción del P-Cu con el sexo ($P>0.05$) (Tabla 3).

La falta de efecto del Cu orgánico sobre el área del ojo de chuleta coincide con Castell y Bowland

(1968), quienes observaron que el aumento de Cu dietario (CuSO₄) de 125 a 200 mg kg⁻¹ MS no tuvo efecto ($P>0.05$) en esta variable. Sin embargo, el Cu quelatado (Histidina) promueve el crecimiento del *Longisimmus thoracis* por efecto del estímulo de la hormona de crecimiento (Zhou *et al.*, 1994); lo que sugiere aumento del área del ojo de la chuleta.

Por su parte, la grasa dorsal fue 10.9% menor en los machos suplementados con Cu, esta disminución en la grasa coincide con lo observado por otros autores, quienes indicaron que cerdos suplementados con altas dosis de CuSO₄ en la dieta, redujeron la cantidad de grasa dorsal y modificaron su perfil lipídico, aumentando el contenido de ácidos grasos (AGI) monoinsaturados como el palmitoléico (16:1) y oléico (18:1) y redujeron la proporción de ácidos grasos saturados como el palmítico (16:0) y el esteárico (18:0) (Castell *et al.*, 1975). Por otro lado, se ha demostrado que alimentar pollos en engorda con 180 mg de Cu kg⁻¹ MS en su dieta se reduce 25% el colesterol en hígado, la pechuga y las piernas; contrariamente, un nivel bajo de Cu en la dieta puede causar hipercolesteremia, con aumento del nivel de la enzima glutatión peroxidasa hepática (Konjufca *et al.*, 1997). Recientemente, se ha publicado que la disminución de la grasa corporal se explica por la función que tiene el Cu como regulador endógeno de la lipólisis a nivel del segundo mensajero, AMP cíclico (cAMP), alterando la actividad de la fosfodiesterasa PDE3B degradante de cAMP (Krishnamoorthy *et al.*, 2016).

Calidad de la carne

Respecto a la capacidad de retención de agua (CRA), la carne de los cerdos que consumieron 150 y 225 mg de P-Cu Kg⁻¹ MS, perdió 58.5 y 82.2% menos agua ($P<0.01$) que la del tratamiento control; en los mismos tratamientos el P-Cu redujo 18.7% el contenido de proteína ($P<0.10$). No hubo efecto del

P-Cu, del sexo o interacción Cu con sexo ($P>0.05$) en los contenidos de humedad y grasa de la carne (Tabla 4).

La menor PG en la carne de los cerdos suplementados con 150 y 225 mg de Cu kg^{-1} MS vs el grupo de cerdos control puede deberse a la función del Cu como cofactor de la enzima citocromo oxidasa, la cual es esencial en la producción de ATP en la cadena respiratoria (Lim and Paik, 2006); por lo tanto, la mayor bio actividad del Cu orgánico, favorece la disponibilidad de ATP en la célula y mantiene más tiempo la integridad de las proteínas del músculo, con menor pérdida de agua en el proceso de transformación del músculo en carne.

Se observó un efecto significativo ($P<0.01$) del P-Cu en los valores de pH del músculo *Longissimus thoracis* (LT), en los dos tiempos de medición (45 min y 24 h post mortem), conforme aumentó la dosis de P-Cu en la dieta de los cerdos el pH del músculo se incrementó; los valores de pH más bajos se observaron en el tratamiento control, en contraste, en

la dieta con 225, mg P-Cu kg^{-1} MS los valores de pH, en ambos tiempos, fueron mayores a 6.4 (Tabla 5).

Según la norma NMX-EF-081-2003 (SAGARPA, 2003), cuando el valor del pH del músculo *Longissimus thoracis* de los cerdos es menor a 5.8, medido a los 45 min post mortem, tiene un grado de aceptabilidad bajo, tal como ocurrió en los tratamientos testigo y en los que recibieron 75 y 150 mg P-Cu kg^{-1} MS, y sí el pH tiene valores entre 5.9 y 6.8, a los mismos 45 min, el grado de aceptación es bueno, tal como aconteció en el tratamiento con la dosis más alta, 225 mg de P-Cu kg^{-1} MS. Asimismo, cuando el pH muscular declina rápidamente ($<$ de 6.0 a 5.8 en las primeras horas *post mortem*) debido al exceso de ácido láctico acumulado, la fuerte acidez muscular, si se combina con temperatura muscular alta, puede resultar en una desnaturalización proteica y en consecuencia desarrollar una carne (PSE) suave de textura, pálida de color y exudativa; la rápida disminución del pH muscular puede atribuirse a predisposición genética, estrés pre sacrificio, o a la combinación de ambos.

Tabla 3. Efecto de la inclusión de proteínato de cobre en la dieta sobre variables de la canal de cerdos en finalización.

Variable	P-Cu (mg kg^{-1} MS)				Sexo		EEM ¹	Efecto de:		
	0	75	150	225	Hembras	Machos		P-Cu	Sexo	P-Cu \times Sexo
² PVS, kg	102.2	100.0	101.2	105.5	102.8	100.8	4.697	ns	ns	ns
³ PCC, kg	82.1	80.2	81.5	84.1	82.3	81.6	2.524	ns	ns	ns
⁴ RC, %	80.3	80.2	80.5	79.7	80.0	80.9	2.344	ns	ns	ns
⁵ ACH, cm^2	56.7	55.8	57.8	57.8	59.1	54.2	3.014	ns	0.05*	ns
⁶ GD, cm	1.3	1.7	1.5	1.43	1.6	1.4	0.104	ns	ns	0.05*
⁷ RCP, kg	59.8	70.8	64.3	65.3	69.0	62.1	4.516	0.05*	0.02*	ns

¹Error estándar de la media. ns= No significativo ($P>0.05$), *= ($P\leq 0.05$). ²PVS=Peso vivo a sacrificio, ³PCC=Peso canal caliente, ⁴RC=Rendimiento de canal, ⁵ACH=Área de chuleta, ⁶GD=Grasa dorsal. ⁷Rendimiento de cortes primarios; estimado a partir de la ecuación de predicción RCP (kg)=10.069+0.459xPCxGD, desarrollada por el INIFAP, y en la cual se basa la Norma Mexicana NMX-FF-81-2003-SCFI. Dónde: PC=Peso Canal (kg), GD=Grasa Dorsal (cm).

Tabla 4. Efecto del proteínato de cobre sobre la capacidad de retención de agua y la composición química de la carne de cerdos en finalización.

Variable	P-Cu (mg kg^{-1} MS)				Sexo		EEM ¹	Efecto de:		
	0	75	150	225	Hembras	Machos		P-Cu	Sexo	Cu \times Sexo
Pérdida por goteo, %	6.75	5.92	2.80	1.20	4.2	4.2	0.205	0.01*	ns	0.03*
Humedad, %	69.6	68.8	68.5	66.5	69.2	67.7	1.834	ns	ns	ns
Grasa, % BH	2.92	2.72	2.73	2.97	2.81	2.85	0.512	ns	Ns	ns
Proteína, % BH	15.5	15.3	12.8	12.4	15.9	12.6	0.818	0.10 [¥]	Ns	ns

¹Error estándar de la media. ns= No significativo ($P>0.10$), * ($P\leq 0.05$), ** ($P\leq 0.01$), [¥]= con tendencia a cambio ($P\geq 0.05$ y ≤ 0.10).

Tabla 5. Efecto del proteinato de Cu sobre el pH final y el color del músculo *Longissimus thoracis* de cerdos en finalización.

Variable	Cu (mg kg ⁻¹ MS)				Sexo		Efecto de:			
	0	75	150	225	Hembras	Machos	EEM ¹	Cu	Sexo	Cu × Sexo
pH 45 min	5.11	5.36	5.63	6.70	6.20	6.20	0.172	0.01	ns	ns
pH 24 h	5.23	5.30	5.45	6.47	5.53	5.67	0.043	0.01	ns	ns
<i>Colorimetría:</i>										
L*45 min	49.95	50.86	48.56	52.82	50.21	50.77	4.903	ns	ns	ns
L*24 h	55.14	49.02	50.86	48.98	53.18	49.45	4.781	ns	ns	ns
L*48 h	54.77	50.39	53.01	50.14	53.87	50.79	4.634	ns	ns	ns
a*45 min	10.29	9.89	6.73	7.71	8.80	8.55	0.796	0.01	ns	ns
a*24 h	9.22	6.90	5.46	5.32	6.22	7.08	0.745	0.01	ns	ns
a*48 h	9.57	7.35	6.02	6.11	6.99	7.46	0.548	0.01	ns	0.01
b*45 min	4.92	4.40	4.03	4.49	4.66	4.31	0.731	0.06	ns	ns
b*24 h	7.75	5.50	5.51	5.99	6.07	5.84	0.902	0.06	ns	ns
b*48 h	8.29	6.85	6.74	5.91	7.42	6.61	0.578	0.06	ns	0.01

¹Error estándar de la media. ns= No significativo ($P>0.10$), * ($P\leq 0.05$), ** ($P\leq 0.01$), [‡]= con tendencia a cambio ($P\geq 0.05$ y ≤ 0.10).

No obstante, cuando el nivel de glucógeno muscular de reserva es bajo, la concentración de ácido láctico acumulado es menor y en consecuencia el pH es mayor a 6 en el período post mortem, lo que puede producir carne DFD de color oscuro, textura firme y seca. Además, la acumulación intramuscular excesiva de ácido láctico puede causar valores de pH muscular final menores a 5.5, y entonces la carne virtualmente es normal, de color rojo, textura suave y exudativa; sin embargo, el pH extremadamente bajo causa que las proteínas musculares pierdan afinidad por el agua, originando menor capacidad de retención de esta (Apple, 2002).

No se observó efecto del P-Cu, sexo o su interacción ($P>0.05$) en la luminosidad (L) del músculo *Longissimus thoracis* en ninguno de los tiempos de medición *post mortem*; en cambio, el P-Cu si tuvo efecto ($P<0.01$) en el índice de rojo (a*) en los tres tiempos de medición, y en el índice de amarillo (b*) hubo tendencia a cambiar ($P=0.06$) por efecto del P-Cu en los tres tiempos de medición *post mortem* (Cuadro 5). El color de la carne de cerdo puede ser “extremadamente pálido” hasta “extremadamente oscuro”; por lo general, la carne muy pálida, presenta el defecto de ser suave y exudativa, por lo que no es apta para elaborar productos procesados por su baja capacidad para retener el agua, lo cual reduce el rendimiento y al cocinarla se seca mucho; en contraste, la carne muy oscura tiene una apariencia no deseable y causa rechazo por el consumidor; por lo tanto, no se recomienda para venta en fresco o elaboración de productos procesados (Rubio *et al.*, 2013).

De acuerdo con las categorías para la clasificación cualitativa de la carne magra de la canal caliente de la norma NMX-EF-081-2003 (SAGARPA, 2003),

cuando el color del músculo *Longissimus thoracis* de los cerdos es pálido y rosa grisáceo, el grado de aceptación es bueno y cuando el color es rojo oscuro, rojo claro o ligeramente rosa, su grado de aceptación es bajo, es decir se rechaza. El aumento de la dosis de P-Cu en la dieta de los cerdos redujo, consistentemente, los valores del índice a*; por lo tanto, en el presente estudio, las dosis crecientes de P-Cu en la dieta de los cerdos pudieron haber influido en el color para un grado mayor de aceptación.

CONCLUSIÓN

La adición de P-Cu a la dieta mejoró el crecimiento y la eficiencia alimenticia de los cerdos en finalización, las hembras mostraron mayor área de ojo de chuleta, en tanto que los machos que consumieron el P-Cu tuvieron menor espesor de grasa dorsal, por lo tanto, el P-Cu mejoró las características de la canal. El P-Cu aumentó el rendimiento de los cortes primarios de la canal y redujo la pérdida de agua en la carne; el aumento de la dosis de P-Cu en la dieta también influyó en el pH del músculo y se redujeron los índices a* y b* del músculo *Longissimus thoracis*, por lo tanto, el P-Cu mejoró la calidad de la carne de los cerdos.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma del Estado de México, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, y la Secretaría de Educación Pública del Gobierno de México.

REFERENCIAS

Amer, M.A., Elliot, J.I. 1973. Influence of supplemental dietary copper and vitamin E

- on the oxidative stability of porcine depot fat. *Journal of Animal Science*. 37:87-90. <https://doi.org/10.2527/jas1973.37187x>
- AMSA. 1992. Guidelines for meat color evaluation. American Meat Science Assoc. Nat. Livestock and Meat Board. Chicago IL, USA.
- AOAC. 2007. Official Methods of Analysis. 18th ed. Association of Official Analysis Chemists. Arlington, VA, USA.
- Apgar, G.A., Kornegay, E.T., Lindemann, M.D., Notter, D.R. 1995. Evaluation of copper sulfate and a copper lysine complex as growth promoters for weanling swine. *Journal of Animal Science*. 73:2640-2646. <https://doi.org/10.2527/1995.7392640x>
- Apple, J.K. 2002. Nutritional effects on pork quality in swine production. National swine nutritional guide. Factsheet. Pork Information Gateway. 1-13. <http://porkgateway.org/wp-content/uploads/2015/08/nutritiona-effects-on-pork-quality.pdf>
- Castell, A.G., Bowland, J.P. 1968. Supplemental copper for swine: growth, digestibility and carcass measurements. *Canadian Journal of Animal Science*. 48:403-413. <https://doi.org/10.4141/cjas68-053>
- Castell, A.G., Allen, R.D., Beames, R.M., Bell, J.M., Belzile, R., Bowland, J.P., Elliot, J.I., Ihnat, M., Larmond, E., Mallard, T.M., Spurr, D.T., Stothers, S.C., Wilton, S.B.,—Young, L.G. 1975. Copper supplementation of Canadian diets for growing-finishing pigs. *Canadian Journal of Animal Science*. 55:113-134. <https://doi.org/10.4141/cjas75-014>
- Cromwell, G.L., Stahly, T.S., Monegue, H.J. 1989. Effects of source and level of copper on performance and liver copper stores in weanling pigs. *Journal of Animal Science*. 67:2996-3002. <https://doi.org/10.2527/jas1989.67112996x>
- Cuarón, I.J.A. 1990. Composición de la Canal. Análisis por Rangos de Peso al Sacrificio. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, SARH, México.
- Dove, C.R. 1993. The effect of adding copper and various fat sources to the diets of weanling swine on growth performance and serum fatty acid profiles. *Journal of Animal Science*. 71:2187-2192. <https://doi.org/10.2527/1993.7182187x>
- Fick, K.R., McDowell, L.R., Wilkinson, N.S., Funk, D.J., Conrad, J.H., Valdivia, R. 1979. Métodos de análisis de minerales para tejidos de plantas y animales. Florida, USA: Departamento de Ciencia Animal, Universidad de Florida.
- Gonzales-Eguia, A., Fu, C.-M., Lu, F.-Y., and Lien, T.-F. 2009. Effects of nanocopper on copper availability and nutrients digestibility, growth performance and serum traits of piglets. *Livestock Science*. 126:122–129. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2009.06.009>
- Hastad, C.W., Dritz, S.S., Nelssen, J.L., Tokach, M.D., Goodband, R.D. 2001. Evaluation of different copper sources as a growth promoter in swine finishing diets. *Kansas Agric. Exp. Sta. Prog. Rep.* 880; 2001; 880:111-117. Available at: <http://www.ksre.ksu.edu/library/lvstk2/srp880.pdf>. Accessed 6 January 2018.
- Hill, G.M., Spears, J.W. 2001. Trace and ultratrace elements in swine nutrition. In: Lewis AJ, Southern LL, Eds. *Swine Nutrition*. 2nd ed. CRC Press. Boca Raton, Florida. pp.229-261.
- Hill, G.M., Cromwell, G.L., Crenshaw, T.D., Dove, C.R., Ewan, R.C., Knabe, D.A., Lewis, A.J., Libal, G.W., Mahan, D.C., Shurson, G.C., Southern, L.L., Veum, T.L. 2000. Growth promotion effects and plasma changes from feeding high dietary concentrations of zinc and copper to weanling pigs (regional study). *Journal of Animal Science*. 78:1010-1016. <https://doi.org/10.2527/2000.7841010x>
- Honikel, K.O. 1998. Reference methods for assessment of physical characteristics of meat. *Meat Science*. 60:103-109. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(98\)00034-5](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(98)00034-5)
- Hunt, M.C., Acton, J.C., Benedict, R.C., Calkins, C.R., Cornforth, D.P., Jeremiah, L.E. 1991. AMSA guidelines for meat colour evaluation. In: Proceedings of the 44th annual reciprocal meat conference.
- Jensen, B.B. 2016. Extensive literature search on the effects of copper intake levels in the gut microbiota profile of target animals, in particular piglet. European Food Safety Authority (EFSA) supporting publication. EN-1024:68.
- Konjufca, V.H., Pesti, G.M., Bakalli, R.I. 1997. Modulation of cholesterol levels in broiler meat by dietary garlic and copper. *Poultry*

- Science. 76:1264-1271. <https://doi.org/10.1093/ps/76.9.1264>
- Krishnamoorthy, L., Cotruvo, Jr. J.A., Chan, J., Kaluarachchi, H., Muchenditsi, A., Pendyala, V.S., Jia, S., Aron, A.T., Ackerman, C.M., Vander, W.M.N., Guan, T., Smaga, L.P., Farhi, S.L., New, E.J., Lutsenko, S., Chang, C.J. 2016. Copper regulates cyclic-AMP-dependent lipolysis. *Nature Chemical Biology*. 12:586-592. <https://doi.org/10.1038/nchembio.2098>
- Li, Z., Yi, G., Yin, J., Sun, P., Li, D., Knight, C. 2008. Effects of organic acids on growth performance, gastrointestinal pH, intestinal microbial populations and immune responses of weaned pigs. *Asian-Australasian Journal of Animal Science*. 21: 252e61. <https://doi.org/10.5713/ajas.2008.70089>
- Lim, K.S., Paik, I.K. 2006. Effects of dietary supplementation of copper chelates in the form of methionine, chitosan and yeast in laying hens. *Asian-Australasian Journal Animal Science*. 19:1174-1178. <https://doi.org/10.5713/ajas.2006.1174>
- Murray, R., Mayes, P., Granner, D., Rodwell, V. 1997. *Bioquímica de Harper*. Ed. Manual moderno. México.
- NRC. 2012. Nutrient requirements of swine: eleven revised edition, Subcommittee on Swine Nutrition, Committee on Animal Nutrition, National Research Council. National Academy Press, Washington, D.C., USA.
- Pettigrew, J.E., Esnaola, M.A. 2001. Swine nutrition and pork quality: a review. *Journal of Animal Science*. 2001. 79:E316-E342. <https://doi.org/10.2527/jas2001.79E-SupplE316x>
- Rubio, L.M.S., Braña, V.D., Méndez, M.R.D., Delgado, S.E. 2013. Composición de la carne mexicana. INIFAP. SAGARPA. México.
- SAS. 2006. User's Guide. Statistics, Version 9. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. 1995. Norma Oficial Mexicana NOM-051-ZOO-1995, trato humanitario en la movilización de animales. Dirección General Jurídica. SAGARPA. México.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2003. Norma Oficial Mexicana NMX-FF-081-2003. Productos pecuarios. Carne de porcino en canal-Calidad de la carne-Clasificación. Dirección General Jurídica. SAGARPA. México.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2014. Norma Oficial Mexicana NOM-033-SAG/ZOO-2014. Métodos para dar muerte a los animales domésticos y silvestres. Dirección General Jurídica. SAGARPA. México.
- Schiavon, S., Bailoni, L., Ramanzin, M., Vincenzi, R., Simonetto, A., Bittante, G. 2000. Effect of proteinate or sulphate mineral sources on trace elements in blood and liver of piglets. *Animal Science*. 71:131-139. <https://doi.org/10.1017/S1357729800054953>
- Shurson, G.C., Ku, P.K., Waxler G.L., Yokoyama, M.T., Miller, E.R. 1990. Physiological relationships between microbiological status and dietary copper levels in the pig. *Journal of Animal Science*. 68:1061-1071. <https://doi.org/10.2527/1990.6841061x>
- Smith, R.J., Henman, D.J. 2000. Practical experiences with bioplexes in intensive production. *In: Lyons, T.P., Jacques, K.A. (Eds.). Biotechnology in the Feed industry. Proc. Alltech's 16th Annual Symposium. Nottingham Univ. Press, UK. pp. 293-300.*
- Steel, R.G.D., Torrie, J.H., Dickey, D.A. 1997. Principles and procedures of statistics: a biometrical approach. 3rd ed., McGraw-Hill Series in Probability and Statistics. USA.
- Veum, T.L., Carlson, M.S., Wu, C.W., Bollinger, D.W., Ellesieck, M.R. 2004. Copper proteinate in weanling pig diets for enhancing growth performance and reducing fecal copper excretion compared with copper sulfate. *Journal of Animal Science*. 82:1062-1070. <https://doi.org/10.2527/2004.8241062x>
- Wang, M.Q., Du, Y.J., Wang, C., Tao, W.J., He, Y. D., Li, H. 2012. Effects of copper-loaded chitosan nanoparticles on intestinal microflora and morphology in weaned piglets. *Biological Trace Element Research*. 149:184-189. doi:10.1007/s12011-012-9410-0. <https://doi.org/10.1007/s12011-012-9410-0>
- Wapnir, R. 1998. Copper absorption and bioavailability. *American Journal Clinic Nutrition*. 67:1054S-60. <https://doi.org/10.1093/ajcn/67.5.1054S>
- Zhao, J., Harper, A.F., Estienne, M.J., Webb, Jr K.E., McElroy, A.P., Denbow, D.M. 2007. Growth performance and intestinal morphology responses in early weaned pigs to

supplementation of antibiotic-free diets with an organic copper complex and spray-dried plasma protein in sanitary and nonsanitary environments. *Journal of Animal Science*. 85:1302e10.
<https://doi.org/10.2527/jas.2006-434>

Zhou, W., Kornegay, E.T., Lindemann, M.D., Swinkels, J.W., Welten, M.K., Wong, E.A. 1994. Stimulation of growth by intravenous injection of copper in weanling pigs. *Journal of Animal Science*. 72:2395-2403.
<https://doi.org/10.2527/1994.7292395x>