



Growth performance, carcass characteristics and meat quality of pigs fed sorghum-soybean meal diets with chromium methionine supplementation at different stages.

Desempeño productivo, características de la canal y calidad de la carne de cerdos alimentados con dietas base sorgo-pasta de soya adicionadas con metionina de cromo en diferentes etapas de desarrollo.

Juan Manuel González-Alvarado¹, Tania Gómez-Hernández¹, Noemí Hernández-Camacho¹, Edmundo W. Sánchez-Márquez¹, Alfonso Soto-Sánchez¹, Marco Antonio Cruz-Portillo¹, Jesús Aragón-Hernández¹, Adelfo Vite-Aranda², Jorge Luis Yáñez-Hernández^{1*}

Centro de Producción e Investigación Porcino, Facultad de Agrobiología, Licenciatura de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Tlaxcala, Tlaxcala 90000, México; ²Grupo Biotecap S.A. de C.V., Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México.

*Corresponding author

E-mail address: joorgee@hotmail.com (J.L. Yáñez-Hernández)

Article history:

Received: 12 March 2018 / Received in revised form: 12 June 2018 / Accepted: 24 June 2018 / Published online: 1 October 2018.

<https://doi.org/10.29267/mxjb.2018.3.4.1>

ABSTRACT

The objective was to evaluate the effect of chromium methionine (Cr-Met) supplementation on growth performance, carcass traits and meat quality of finishing pigs. Thirty pigs were blocked by weight (60 ± 2.8 kg) and sex, and allotted to one of three treatments: 1) control-treatment in that pigs were fed finishing-diets without Cr-Met from 60 to 100 kg live weight; 2) control + 0.8 mg Cr-Met/kg from 60 to 100 kg, and 3) control + 0.8 mg Cr-Met/kg from 80 to 100 kg. Chromium-supplemented pigs ate less feed ($P \leq 0.05$), grew faster ($P \leq 0.05$) and were heavier ($P \leq 0.05$) and more efficient ($P \leq 0.05$) than control pigs, but the beneficial effect was more pronounced when animals were supplemented at lighter weight. Also, Cr-Met increased loin muscle area ($P \leq 0.01$), hot carcass yield ($P \leq 0.01$), and reduced backfat thickness ($P \leq 0.01$), meat pork pH ($P \leq 0.01$) and luminosity value (*L; $P \leq 0.01$). Moreover, Cr-Met reduced cooking losses ($P \leq 0.01$) and shear force value of *Longissimus dorsi* muscle ($P \leq 0.01$) but chromium-effect on tenderness was more pronounced in pigs supplemented at lighter weight. In conclusion, dietary supplementation

of Cr-Met for finishing pigs improves growth performance, carcass traits and some meat quality properties but stage when supplementation begins may affect differently the animal response.

Keywords: Chromium methionine, stage, productive performance, carcass traits, meat quality.

RESUMEN

Se evaluó el efecto de la suplementación con metionina de cromo (Met-Cr) sobre el desempeño productivo y características de la canal en cerdos en finalización. Se evaluaron 3 tratamientos; 1) testigo en donde los cerdos fueron alimentados con dietas de finalización de 60 a 100 kg; 2) testigo + 0.8 mg de Cr/kg de alimento desde 60 hasta 100 kg; y 3) testigo + 0.8 mg de Cr/kg de alimento desde 80 hasta 100 kg. Los cerdos suplementados con Met-Cr consumieron menos alimento ($P \leq 0.05$), crecieron más rápido ($P \leq 0.05$) y fueron más pesados ($P \leq 0.05$) y más eficientes ($P \leq 0.05$) que los cerdos testigo, pero el efecto benéfico fue mayor cuando la suplementación inició a menor peso. La adición de Met-Cr incrementó el área del músculo *Longissimus dorsi* ($P \leq 0.01$), el rendimiento de canal ($P \leq 0.01$) y redujo el espesor de grasa dorsal ($P \leq 0.01$). Además, la carne de cerdos suplementados presentó valores de pH y luminosidad (L^*) más bajos ($P \leq 0.01$) que de cerdos testigo. Incluso, el consumo de Met-Cr redujo las pérdidas a la cocción ($P \leq 0.01$) y la fuerza de corte ($P \leq 0.01$), pero el efecto sobre la suavidad fue mayor al suplementar a menor peso. En conclusión, la suplementación de Met-Cr en cerdos mejora el desempeño productivo, las características de la canal y algunos indicadores de calidad de la carne, pero la etapa en que inicia la suplementación con Cr puede afectar la respuesta animal.

Palabras clave: metionina de cromo, etapa, desempeño productivo, características de la canal, calidad de carne.

1. INTRODUCCION

El cromo (Cr) se ha estudiado desde final del siglo XIX, pero es a partir de 1990 que se estudia como un elemento esencial en animales de producción (Pechova & Pavlata, 2007), principalmente por su participación en el metabolismo de los carbohidratos, lípidos y proteínas (Rosebrough & Steele, 1981; Mertz, 1993; Anderson, 1994; Pechova & Pavlata, 2007). El Cr es un componente activo en la estructura molecular del factor de tolerancia a la glucosa (FTG) (NRC, 2012) que potencializa la acción de la insulina y estimula el metabolismo de los carbohidratos favoreciendo el desempeño productivo del animal (Anderson, 1994). La respuesta de los cerdos a la adición de Cr en su dieta a partir de distintas fuentes orgánicas (tripicolinato de Cr, nicotinato de Cr, propionato de Cr) es variable e inconsistente (Lindemann et al., 1995; Matthews *et al.*, 2003, 2005). De acuerdo con Lindemann *et al.* (1995), la suplementación dietética con Cr orgánico mostró ser benéfica de una forma análoga al consumo de dietas de alto contenido energético, excediendo lo requerido por el cerdo, 3,235 kcal EM/kg.

La movilización del Cr de las reservas corporales es importante para animales en estrés fisiológico y físico; sin embargo, por efecto del estrés se agotan las reservas corporales de Cr trivalente (Cr^{+3}), ya que el FTG (Mavromichalis, 1999) se moviliza cuando se necesita, pero no se reabsorbe y se excreta en la orina (Anderson, 1987). Recientemente se ha evaluado la suplementación de Cr orgánico en forma de metionina de Cr (**Met-Cr**) y sus efectos en el desempeño productivo y características de la canal en bovinos en etapa de finalización (Barajas *et al.*, 2008a, 2008b), cerdos (Kornegay *et al.*, 1997; Matthews *et al.*, 2001), pollos de engorda (Lien *et al.*, 1999), producción de huevo en gallinas ponedoras (Sahin *et al.*, 2002a) y en codorniz japonesa (Sahin *et al.*, 2002b); sin embargo, los estudios con cerdos en etapa de finalización son escasos. Se ha sugerido que la adición de Cr en la etapa de finalización de los cerdos puede modificar el desempeño productivo y mejorar algunas características de la canal, especialmente aquellas relacionadas con la deposición de grasa, pero la respuesta puede ser diferente dependiendo del peso corporal al que se inicia la suplementación. El objetivo de este trabajo fue evaluar el desempeño productivo y las características de la canal de cerdos alimentados con dietas típicas sorgo-soya suplementadas con Met-Cr en la etapa de finalización cuando los cerdos alcanzan los 60 o 80 kg de peso.

2. MATERIALES Y METODOS

2.1. Localización

El trabajo experimental se llevó a cabo en el Centro de Producción e Investigación Porcina (CPIP), de la Licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia, perteneciente a la Facultad de Agrobiología de la Universidad Autónoma de Tlaxcala, localizado en la ciudad de Huamantla, Tlaxcala. Todos los procedimientos aplicados a los cerdos fueron realizados de acuerdo las normas oficiales mexicanas sobre el uso, cuidado humanitario y transportación de los animales domésticos (NOM-051-Z00-1995) y sobre el sacrificio de los animales domésticos y silvestres (NOM-033/SAG-ZOO-2014).

2.2. Animales e instalaciones

Se utilizaron 30 cerdos (14 machos y 16 hembras) cruzados ([Yorkshire x Hampshire] x [Duroc x Landrace]), de 3 meses de edad y 60 ± 2.8 de peso vivo (PV) promedio, provenientes del CPIP. Previo al experimento, los cerdos fueron alimentados con una dieta de crecimiento a base de sorgo-pasta de soya. Los animales fueron identificados con aretes, pesados individualmente y distribuidos en grupos por sexo y peso. Los cerdos fueron albergados en corrales de 15 m² con piso de concreto y paredes de 1.3 m de altura dentro de una nave abierta sin control de la temperatura ambiente (18-27°C). Cada corral cuenta con una superficie techada con lámina de asbesto y otra área sin techo, y están equipados con un comedero de plástico tipo tolva (Tigsa, modelo CE194N, capacidad 45 kg, 35 cm de largo, 35 cm de ancho y 105 cm de alto) y bebedero de chupón.

2.3 Fuente de metionina de cromo

Se utilizó un producto comercial de cromo en levadura en forma de Met-Cr (Bioways Cromo ®, Grupo Biotecap, S. A, de C. V., Jalisco, México), con una concentración de 2,000 mg Cr/kg de suplemento y 98% de biodisponibilidad. Este producto es altamente estable en las condiciones fisicoquímicas de la digesta del tracto digestivo y no es tóxico. La dosis utilizada de Bioways Cromo® fue de 400 g/tonelada de alimento terminado, con esta dosis se estimó una concentración final de 0.8 mg de Cr/kg de alimento terminado.

2.4 Dietas y diseño experimental

Se formularon 2 dietas para cubrir los requerimientos de los cerdos (NRC, 2012) en las etapas de 60-80 kg (**E1**) y 80-100 kg (**E2**) como se muestran en la Tabla 1. Las dietas E2 fueron suplementadas con 10 ppm de ractopamina y por consecuencia, los niveles de aminoácidos fueron incrementados según las recomendaciones del NRC (2012). Para cada etapa se fabricaron dos dietas isonutritivas, la primera no contenía aditivo (**0-Cr**) y la segunda fue adicionada con 0.8 mg de Cr/kg a partir de Met-Cr (**0.8-Cr**).

2.5 Procedimiento experimental

Se evaluaron tres tratamientos definidos por la etapa en que se suplementó la Met-Cr. El primer tratamiento fue el testigo sin adición de Cr (**Testigo**). El segundo tratamiento consistió en suplementar Met-Cr desde el inicio del experimento cuando los cerdos pesaban 60 kg y hasta alcanzar los 100 kg de peso vivo (**Cr60-100**), mientras que en el último tratamiento los cerdos iniciaron el consumo de Met-Cr hasta que alcanzaron 80 kg (**Cr80-100**). Los cerdos fueron bloqueados por peso (60 ± 2.8 kg) y sexo; y a continuación, los animales de cada bloque se distribuyeron aleatoriamente a cada uno de los tratamientos. Cada tratamiento fue replicado 5 veces y la unidad experimental para evaluar criterios productivos fue el corral con dos animales. El ensayo tuvo una duración de 71 días. Los cerdos fueron alimentados ad-libitum y con acceso permanente al agua de bebida.

Tabla 1. Porcentaje de inclusión de ingredientes y análisis calculado de las dietas experimentales para cerdos en las etapas de 60-80 y 80-100 kg, respectivamente.

Ingredientes, %	Etapa			
	60-80 kg (E1)		80-100 kg (E2)	
	0-Cr	0.8-Cr	0-Cr	0.8-Cr
Sorgo molido	77.93	77.84	74.21	74.16
Pasta de soya	19.02	19.04	22.08	22.09
Aceite vegetal	1.10	1.13	1.50	1.50
Carbonato de calcio	0.89	0.89	0.92	0.92
Fosfato dicálcico	0.55	0.55	0.44	0.44
Lisina	0.07	0.07	0.36	0.36
Premix de vitaminas ¹	0.04	0.04	0.04	0.04
Premix de minerales ²	0.10	0.10	0.10	0.10
Sal común	0.30	0.30	0.30	0.30
Bioways cromo ³	0.00	0.04	0.00	0.04
Ractopamina ⁴	0.00	0.00	0.05	0.05
Total	100.00	100.00	100.00	100.00
<i>Análisis calculado</i>				
EM, Mcal/kg	3.300	3.300	3.306	3.305
PC, %	15.5	15.5	16.5	16.5
Lisina, % ⁵	0.675	0.675	0.970	0.970
Fósforo total, %	0.47	0.47	0.45	0.45
Calcio, %	0.50	0.50	0.50	0.50
Cromo (de Met-Cr), mg/kg	0.00	0.80	0.00	0.80
Ractopamina, mg/kg	0.00	0.00	10.00	10.00

¹Premix de vitaminas por kg proporciona vitamina A, 3,000 UI; vitamina D, 1,050 UI; vitamina E, 100 UI, vitamina B₁₂ 20.0 µg; vitamina K, 190.4 mg.

²Premix microminerales por kg proporciona Cobre (Di-lisina de Cobre) 20,000 ppm; manganeso (Di-lisina de manganeso) 30,000 ppm, Zinc (Di-lisina de Zinc) 52,000 ppm; cobalto (péptido de cobalto) 2,000 ppm, células de levadura viva 1.0x 10⁴ UFC/g

³Bioways cromo proporciona 2,000 mg de Cromo por kg de suplemento.

⁴Ractopamina Paylean 20, clorhidrato de ractopamina adicionado a 0.5% proporciona 10 ppm/ kg de alimento terminado.

⁵Los requerimientos de Lisina están en base a digestible ileal estandarizada.

2.6 Variables de comportamiento productivo y evaluación de la canal y calidad de la carne

El pesaje de los cerdos se realizó cada 7 días a las 0900 h utilizando una báscula electrónica (IPASA, capacidad 150 kg) y con estos datos se calculó la ganancia diaria de peso (**GDP**) semanal y global. Las cantidades de alimento ofrecido y sobrante de cada corral fueron registradas diariamente y con esta información se calculó el consumo diario de alimento (**CDA**) y la conversión alimenticia (**CA**).

A la conclusión del ensayo de crecimiento se registró el peso final (**PF**) de los cerdos y a continuación fueron trasladados a un rastro comercial. Las características de la canal fueron registradas posteriores al sacrificio. Se registraron por separado el peso de la cabeza y el peso de la canal caliente (**PCC**, sin vísceras y sin cabeza). Se eligió al azar la canal de un cerdo por corral (5 animales por tratamiento) para realizar un corte entre la 10ma y 11va costilla y medir el espesor de la grasa dorsal (**EGD**, cm) con un vernier, así mismo para determinar el área del músculo (**AML**) *Longissimus dorsi* (**LD**) mediante el uso de cuadrículas centimétricas diseñadas por la Universidad de Iowa (Cooperative Extension Service, 1991. AS 235), únicamente se midió el lado derecho de la canal de cada cerdo. A continuación, se tomaron muestras del músculo del lomo (200-350 g) y se colocaron en un termo con hielo para su traslado al laboratorio donde se llevaron a cabo las pruebas de calidad de carne. De cada canal se midió el pH y la conductividad eléctrica del músculo **LD** a los 45 min (pH inicial) y a las 24 horas post-mortem (pH final) insertando el estilete entre la 10ma y 11va vertebra dorsal utilizando un electrodo combinado (Ingold Xerolyt, Techpron, Munich, Germany).

El método para determinar el color y la dispersión interna de la luz se realizó con una sonda de fibra óptica FOP (Premier Electronics Northern Ltd., England). La determinación del color de la carne se realizó 24 h después del sacrificio, tomando una muestra y se le retiró por completo la grasa externa y el tejido conectivo. Se midió el atributo de color L^* (colorímetro Minolta CR-200), para establecer los niveles de color se tomó en cuenta la escala de color en arreglo de vectores en tres ejes como se muestra en la Figura 1 tomando en cuenta la siguiente clasificación:

RFN - Roja, Firme, No Exudativa. Minolta L^* menor que 50; pH u entre 5.5 y 6.1.

RSE - Roja, Blanda, Exudativa. Minolta L^* menor que 50; pH u menor que 5.5.

PSE - Pálida, Blanda y Exudativa. Minolta L^* mayor que 50.

DFD - Oscura, Dura y Seca. Minolta L^* menor que 38; pH u mayor que 6.1.

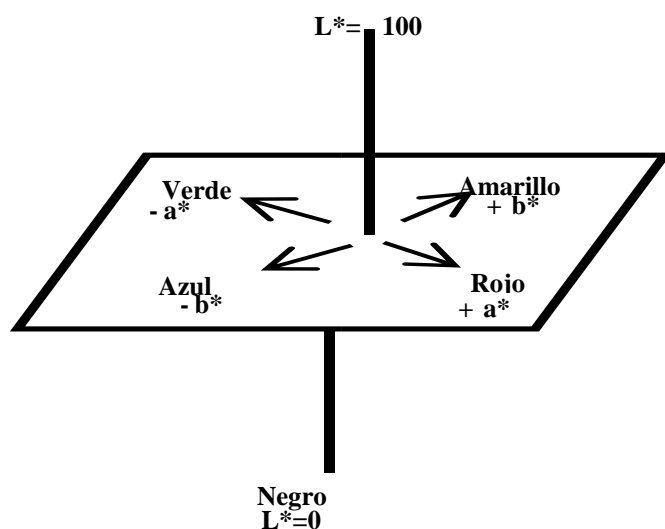


Fig. 1. Escala de color en arreglo de vectores en tres ejes, donde L^* (luminosidad) va de claro a oscuro, a^* va de verde a rojo y b^* va de azul a amarillo (Adaptado de Rettig & Ahnen, 2014).

La terneza de la carne del músculo *LD* se midió través de la fuerza de corte. Se utilizó una cuchilla “Warner Bratzler Shear Test” descrito por Honikel (1998) que mide tal fuerza y establece la terneza de la carne posterior a la cocción a 75°C por 50 minutos, expresados en kg fuerza o newton. El aparato empleado fue un texturómetro (Stable Micro Systems Texture Analyser, Model TA-XT plus, Reino Unido). La muestra seccionada consistió en un rectángulo de sección de 1 cm² con la dirección de las fibras paralelas a lo largo del rectángulo y con una longitud no menor de 30 mm. Las muestras fueron seccionadas en ángulo recto al eje de las fibras, la velocidad de ensayo aplicada fue de 3.33 mm/seg y el resultado se expresó en kg de fuerza.

2.7 Análisis estadístico

Los datos de todas las variables fueron analizados estadísticamente con un diseño en bloques completos al azar utilizando el procedimiento MIXED (SAS, Institute Inc., Cary, NC). La unidad experimental fue distinta dependiendo de los criterios de evaluación, en el caso de las características productivas fue el corral, mientras que en el caso de las características de la canal y calidad de la carne fue la canal del cerdo. Los efectos fueron considerados significativos cuando $P \leq 0.05$; y cuando se detectaron estos efectos, las medias fueron comparadas con el comando LS MEANS.

3. RESULTADOS

Los cerdos permanecieron sanos durante las etapas del experimento y consumieron todo el alimento ofrecido diariamente sin importar la dieta ofrecida, lo que sugiere que la palatabilidad de las dietas no afectó la conducta alimenticia.

3.1 Comportamiento productivo

Los resultados de comportamiento productivo se muestran en la Tabla 2. La adición de Cr aumentó ($P \leq 0.05$) el peso final de los cerdos, pero el incremento fue significativamente mayor cuando la suplementación comenzó a pesos más bajos (+4.1% y +2.4% para cerdos Cr60-100 y Cr80-100, respectivamente). Los cerdos suplementados con Cr consumieron menos alimento ($P \leq 0.05$), crecieron más rápido ($P \leq 0.05$) y fueron más eficientes ($P \leq 0.05$) que los cerdos testigo; no obstante, el efecto acumulado fue mayor cuando los cerdos son suplementados a menor edad y por más tiempo. Al analizar el periodo completo de 60 a 100 kg no se detectaron diferencias en el consumo de alimento, pero los cerdos Cr60-100 ganaron más peso ($P \leq 0.05$) que los cerdos testigo, mientras que los cerdos Cr80-100 mostraron ganancias intermedias; consecuentemente, la eficiencia alimenticia sólo fue mejor cuando la suplementación se inició a 60 kg.

Tabla 2. Peso final, ganancia diaria de peso (GDP), consumo diario de alimento (CDA) y eficiencia alimenticia (EA) de cerdos alimentados con dietas adicionadas con cromo (a partir de Met-Cr) a distinto peso y edad.

Variable	Tratamientos			EEM (n = 5)	Valor-P
	Testigo	Cr60-100	Cr80-100		
Peso inicial, kg	60.87	60.93	60.83	0.45	—
Peso final, kg	91.93 ^C	95.71 ^a	94.12 ^b	0.18	<0.001
60-70, kg de PV					
GDP, kg	0.726	0.790	0.738	0.04	0.490
CDA, kg	2.721 ^a	2.468 ^b	2.705 ^a	0.02	<0.001
EA, kg/kg	0.267 ^b	0.319 ^a	0.272 ^b	0.01	0.039
70-80 de PV					
GDP, kg	0.710 ^b	0.801 ^a	0.714 ^b	0.02	0.057
CDA, kg	3.046 ^a	2.774 ^b	3.069 ^a	0.04	<0.001
EA, kg/kg	0.232 ^b	0.289 ^a	0.232 ^b	0.01	0.001
80-100 kg de PV					
GDP, kg	0.781 ^b	0.896 ^a	0.922 ^a	0.01	0.031
CDA, kg	3.722 ^a	3.539 ^b	3.545 ^b	0.03	0.005
EA, kg/kg	0.210 ^b	0.253 ^a	0.260 ^a	0.01	0.006
60-100 kg de PV					
GDP, kg	0.739 ^b	0.829 ^a	0.791 ^{ab}	0.02	0.046
CDA, kg	3.163	2.927	3.107	0.11	0.305
EA, kg/kg	0.236 ^b	0.287 ^a	0.255 ^b	0.01	<0.001

^{a,b,c} Medias en el mismo renglón con letras superíndice distintas son estadísticamente diferentes entre sí ($P \leq 0.05$).

3.2 Características de la canal y calidad de la carne

En la Tabla 3 se muestran los resultados de las características de la canal y calidad de la carne. La adición de Cr incrementó el peso y rendimiento de la canal caliente ($P \leq 0.01$), redujo el espesor de la grasa dorsal ($P \leq 0.01$) y aumentó el área del músculo LD ($P \leq 0.01$). Aunque la etapa de 80 a 100 kg tuvo una duración de menos de 23 días, el efecto del Cr para incrementar el peso y rendimiento de la canal fue mayor cuando la suplementación se inició hasta los 80 kg; por el contrario, el efecto sobre el AML fue más marcado al suplementar desde los 60 kg de peso.

La carne de los cerdos suplementados con Cr presentó valores de pH_{24h} y luminosidad (valor L*) más bajo ($P \leq 0.01$) que en los cerdos testigo. La suplementación con Cr no afectó la tendencia al rojo (valor a*) de la carne, pero la tendencia al amarillo (valor b*) se redujo ($P \leq 0.01$) únicamente cuando los cerdos fueron suplementados de 80 a 100 kg. El consumo de Cr redujo las pérdidas a la cocción ($P \leq 0.01$) y la fuerza de corte de la carne ($P \leq 0.01$), pero el efecto del Cr sobre la suavidad de la carne fue mayor cuando la suplementación inició a pesos más bajos.

Tabla 3. Efecto de la adición de metionina de cromo a distinto peso y edades de los cerdos sobre características de la canal y calidad del músculo del lomo.

Variable	Tratamientos			EEM (n = 5)	Valor-P
	Testigo	Cr60-100	Cr80-100		
Peso canal caliente, kg	72.32 ^c	76.47 ^b	77.56 ^a	0.32	<0.001
Rendimiento de canal, %	78.7 ^c	79.9 ^b	82.4 ^a	0.35	<0.001
Espesor de grasa dorsal, cm	1.45 ^a	0.67 ^b	0.64 ^b	0.04	<0.001
Área del músculo LD, cm ²	25.4 ^c	27.8 ^a	26.6 ^b	0.19	<0.001
pH 24 h	5.78 ^a	5.41 ^c	5.52 ^b	0.03	<0.001
Valores CIE, 24 h					
L*	53.0 ^a	50.6 ^b	48.1 ^c	0.60	<0.001
a*	6.5	6.1	6.7	0.22	0.115
b*	5.8 ^a	5.7 ^a	4.9 ^b	0.21	0.008
Pérdidas por cocción, %	27.1 ^a	19.8 ^b	19.6 ^b	0.48	<0.001
Fuerza de corte, kg/cm ²	6.3 ^a	4.6 ^c	5.5 ^b	0.14	<0.001

^{a,b,c} Medias en el mismo renglón con letras superíndice distintas son estadísticamente diferentes entre sí ($P \leq 0.05$).

4. DISCUSIÓN

El uso de Cr como aditivo alimenticio en la etapa de finalización de los cerdos ha sido poco estudiado y la respuesta observada ha sido variable en función de la fuente utilizada (Shelton et al., 2003). En años recientes el uso de Cr ligado a compuestos orgánicos como aminoácidos o ácidos orgánicos ha mostrado mayor consistencia en los resultados productivos y fisiológicos en comparación con el uso de fuentes inorgánicas (Ohh & Lee, 2005). En algunos trabajos, la adición de Cr en forma de Met-Cr ha mostrado efectos benéficos sobre el desempeño productivo y algunas características de la canal (Park et al., 2009), especialmente aquellas relacionadas con la deposición de grasa (Lindeman et al., 1995), pero la respuesta puede ser diferente dependiendo del peso corporal al que se inicia la suplementación (Júnior et al., 2017).

4.1 Desempeño productivo

En general, la adición de Met-Cr mejoró el desempeño productivo de los animales sin importar el peso al cual se inició la suplementación, pero fue evidente que el tiempo y el tipo de dieta pueden modificar el efecto del Cr. Los cerdos suplementados con Cr mejoraron su eficiencia alimenticia tanto por incremento en la ganancia de peso como por reducción del consumo de alimento en cada etapa particular; sin embargo, el consumo acumulado fue similar entre los tres tratamientos. La reducción del consumo de alimento y mejora de la eficiencia alimenticia que se observó en el presente estudio al utilizar Met-Cr coincide con Boleman et al. (1995) y Matthews et al. (2001) quienes también reportaron mejoría de la eficiencia alimenticia y reducción del consumo; sin embargo, en esos estudios utilizaron picolinato o propionato de Cr. Los resultados de la presente investigación sugieren que la respuesta productiva de los cerdos al consumo de Met-Cr es similar al consumo de picolinato, no obstante, Park et al. (2009) y Peres et al. (2014) señalan que los

efectos del Cr sobre el desempeño de los cerdos puede variar con de la fuente de Cr utilizada. Por ejemplo, la suplementación alimenticia con 200 ppb de Cr vía picolinato de Cr o Met-Cr mejoran el desempeño productivo de cerdos en la etapa de crecimiento-finalización, pero la mejoría fue más evidente con Met-Cr (Park et al., 2009). Sales & Jancik (2011) realizaron un meta-análisis para describir cuantitativamente los efectos de la suplementación alimenticia con cromo sobre el desempeño productivo, características de la canal y calidad de carne en cerdos; en dicho trabajo se reportó que la adición dietética de Cr no afecta el consumo de alimento, pero mejora la ganancia de peso y la eficiencia alimenticia. El tamaño promedio del efecto fue mediano para eficiencia y pequeño para ganancia, con respuestas homogéneas a través de los 31 estudios y 74 comparaciones (Testigo vs. Suplementados). El consumo de alimento de los cerdos suplementados con Cr presentó una respuesta heterogénea entre los diversos estudios (Sales & Jancik, 2011) lo que indica que la mejoría de la eficiencia alimenticia no está correlacionada con el consumo de alimento y sugiere que el efecto del Cr es mediado por cambios en el metabolismo y repartición de los nutrientes.

En el presente estudio, la suplementación con Met-Cr se realizó en la fase de finalización cuando los cerdos alcanzaron 60 u 80 kg de peso vivo. El consumo de Cr incrementó la ganancia de peso sin importar el peso corporal de los animales al momento de iniciar la suplementación. Un efecto similar de la Met-Cr sobre la ganancia de peso y eficiencia alimenticia de cerdos en finalización ha sido reportado recientemente por Li et al. (2013) y Peres et al. (2014), quienes iniciaron la suplementación hasta los 75 y 60 kg de peso. Page et al. (1993) y Lindemann et al. (1995) también reportaron incrementos en la ganancia de peso de cerdos suplementados con Cr a partir de picolinato, pero la suplementación la iniciaron a menores pesos. En general, los datos de desempeño productivo sugieren que la Met-Cr actúa como un mejorador del crecimiento, de forma similar como lo hacen otras fuentes de Cr como picolinato (Kornegay et al., 1997; Mooney & Cromwell, 1999; Matthews et al., 2001; Zhang et al., 2011) o propionato (Matthews et al., 2005; Shelton et al., 2003), pero la eficacia del Cr puede depender de la forma química en que se consume, la capacidad de absorción a nivel intestinal y el complejo químico que forma para poder ser transportado a nivel sanguíneo e intersticial (Vincent, 2000).

4.2 Características de la canal y calidad de carne

En estudios previos se ha demostrado que la suplementación de Cr en forma de picolinato o propionato incrementa la tasa de retención de tejido muscular y reduce la tasa de deposición de grasa en cerdos (Jackson et al., 2009; Matthews et al., 2005; Page et al., 1993). Estudios más recientes indican que la Met-Cr también puede mejorar diversas características de la canal (Li et al., 2013; Park et al., 2009). El estudio meta-analítico de Sales y Jancik (2011) indica que todas las características de la canal de los cerdos respondieron de forma heterogénea a la suplementación de Cr; además, el tamaño promedio de los efectos para el porcentaje de engrasamiento de la canal y espesor de la grasa dorsal estuvieron relacionados negativamente con el peso inicial, mientras que, el área del músculo *Longissimus* se relacionó positivamente. Los investigadores sugieren que la grasa en la canal disminuye y el tejido magro se incrementa en mayor medida cuando la suplementación se inicia a mayor peso. En este experimento, la suplementación con Met-Cr incrementó el peso y rendimiento de la canal en comparación con los cerdos que no fueron suplementados; sin embargo, el efecto del Cr fue más evidente cuando la suplementación se

realizó hasta los 80 kg de peso vivo lo que sugiere mayor tasa de retención de tejidos musculares en los animales suplementados a mayor peso. Estos resultados concuerdan con Boleman et al. (1995) quienes encontraron que la suplementación de Cr a partir de picolinato incrementó la proporción de tejido muscular en la canal de los cerdos cuando fueron suplementados hasta el periodo de finalización, pero no se detectaron mejoras cuando se suplementó desde la etapa de crecimiento.

En cerdos se ha sugerido que ocurre un pico de máxima deposición muscular entre los 60 y 90 kg de peso vivo, a partir de ese punto los depósitos de grasa constituyen el principal componente de la ganancia de peso (Wagner et al., 1999). La deposición de proteína en músculo es completamente dependiente del suministro adecuado de aminoácidos y energía. En este experimento la dieta para cerdos de 80 kg también fue suplementada con ractopamina, un agonista beta-adrenérgico que incrementa la deposición de tejido magro, por lo que se incrementaron los niveles dietéticos de aminoácidos en apego a las recomendaciones del NRC (2012). De esta manera, es probable que los cerdos que iniciaron la suplementación con Cr a 60 kg pudieran tener cierta desventaja nutricional en comparación con los cerdos suplementados hasta 80 kg. De hecho, los cerdos suplementados con Cr a 60 kg consumieron dietas con 0.675% de lisina digestible a nivel ileal (**LISIL-DIG**) mientras que los suplementados hasta 80 kg consumieron dietas con 0.97% de LISIL-DIG; esto sugiere que justo al iniciar la suplementación, los cerdos de 80 kg disponían 43% más lisina disponible en intestino, lo cual puede explicar dos cosas. Primero, que los cerdos suplementados a 60 kg tardaran más tiempo en manifestar mejores ganancias de peso (hasta 70 kg) y que los suplementados a 80 kg ganaran mayor peso en toda la fase tardía de suplementación y mejoraran el peso y rendimiento de la canal caliente. Aunque Lindemann (1999) sugiere que aparentemente no existe una necesidad de mayor concentración de proteína dietética cuando los cerdos son suplementados con Cr, el NRC (2012) sugiere incrementos sustanciales de los aminoácidos dietéticos cuando se suplementa ractopamina. Aunque este experimento no tenía el objetivo de estudiar interacción entre Met-Cr y ractopamina, fue evidente que los cerdos que iniciaron la suplementación con Cr a 60 kg, no tuvieron la misma respuesta en las características de la canal como los animales que iniciaron el consumo de Cr a 80 kg, a pesar que también consumieron la dieta con ractopamina y niveles altos de aminoácidos.

La suplementación de Met-Cr redujo el EGD y aumentó el AML de los cerdos en concordancia con otros estudios previos (Li et al., 2013; Park et al., 2009), y de forma similar a los efectos observados con picolinato (Kornegay et al., 1997; Boleman et al., 1995; Page et al., 1993). La participación del Cr en la utilización de aminoácidos por el músculo esquelético (Evans & Bowmann, 1992) y el metabolismo de los ácidos nucleicos (Okada et al., 1989) y lípidos (Riales & Albrink, 1981) es conocido parcialmente. Sun et al. (2000) propuso que el Cr modifica el metabolismo de la glucosa a través de un activador de receptores de membrana conocido como cromodulina. La cromodulina es un oligopéptido de glicina, cisteína, aspartato y glutamato unido con alta afinidad a 4 iones crómicos (Vincent, 2000). Esta molécula capacita al Cr para promover la autoamplificación de las señales de insulina para mantener la conformación activa de los receptores de insulina en la membrana de diferentes tipos de células y causar una mayor captura de glucosa (Socha et al., 2005; Lien et al., 2001; Vincent, 2000).

Lien et al. (2001) sugieren que los incrementos del AML y tejido magro asociados a la suplementación de Cr pueden deberse a la estimulación de transporte de AA y síntesis de proteína en las células musculares que manifiestan mejoría en la internalización de la

insulina por acción de la cromodulina. Evans y Bowman (1992) reportaron que el picolinato de Cr incrementa la fluidez de la membrana celular promoviendo la internalización de la insulina e incrementando la sensibilidad celular a la glucosa, resultando en mayor tasa de absorción celular y menor concentración de glucosa sanguínea. Diversos estudios muestran claramente que la suplementación con Cr incrementa la tasa de depuración y reducen la vida media de glucosa sanguínea en cerdos (Amoikon et al., 1995; Matthews et al., 2001), aves (Noori et al., 2012) y rumiantes (Leiva et al., 2018; Bernhard et al., 2012; Kegley et al., 2000).

El consumo de Cr también redujo el espesor de la grasa dorsal sin importar el peso al que inició la suplementación, lo que sugiere modificaciones del metabolismo lipídico en los cerdos suplementados. Otros investigadores también han reportado reducciones significativas del engrasamiento de la canal de cerdos suplementados con Cr en forma de Picolinato (Lien et al., 2001; Mooney & Cromwell, 1995; Page et al., 1993) o Met-Cr (Li et al., 2013; Park et al., 2009). Se ha sugerido que la deposición de grasa debería aumentar debido al incremento de la internalización y sensibilidad de la insulina por la acción del Cr; sin embargo, Gomes et al. (2005) sugieren que existe un diferencial de acción del Cr en los diferentes tejidos mediado por receptores de membrana, de tal manera que al promoverse la captura de glucosa por el tejido muscular se previene el exceso de glucosa plasmática y se reduce su conversión a grasa en los adipocitos. Otros posibles mecanismos que explican la acción Cr sobre el metabolismo lipídico en cerdos sugieren incrementos de la actividad lipolítica (Choi et al., 1998) y(o) inhibición de la lipogénesis (Xi et al., 2001). En el presente trabajo, fue interesante notar que el efecto del Cr sobre el engrasamiento subcutáneo de la canal tuviera la misma magnitud sin importar el tiempo de consumo, lo que sugiere que la acción del Cr inicia desde los primeros días de la suplementación y, probablemente, bajo ciertas circunstancias sea conveniente suplementar a mayor peso.

4.3 Calidad de carne

El color de la carne, la textura y la terneza son los factores más importantes que determinan la preferencia de los consumidores. La calidad de la carne porcina varía principalmente por efectos de la velocidad y magnitud de la caída del pH muscular después del sacrificio (Johnson, 1994). Los cambios post-mortem del pH de la carne afectan la estructura superficial del tejido muscular y las concentraciones de pigmentos musculares, alterando la proporción de luz reflejada y el color intrínseco del producto. El pH intramuscular disminuye debido a la degradación del glucógeno a ácido láctico en ausencia de oxígeno (Pearson & Tauber, 1984). Si la glucólisis post-mortem es excesiva y rápida provoca una caída repentina del pH muscular, desnaturalización de varias proteínas miofibrilares y reducción de la capacidad de retención de agua del músculo (Barton, 1997). Si la glucólisis es lenta entonces la reducción del pH también es lenta y afecta la forma química de los pigmentos musculares. Los pigmentos responsables del color del músculo son la hemoglobina y la mioglobina, esta última es una proteína hidrosoluble que se encuentra en tres formas, oximioglobina, deoximioglobina y metamioglobina, las proporciones relativas de estos pigmentos determinan el color de la carne fresca. Cuando la carne entra en contacto con el aire, se produce la oxigenación de la mioglobina y su transformación a oximioglobina imponiendo un color rojo brillante purpura (Wallace et al., 1982).

En la presente investigación, la mayoría de las variables de calidad de carne fueron modificadas por la suplementación con Met-Cr. La carne de los cerdos suplementados con

Cr presentó menor pH a las 24 h post-mortem, menor luminosidad, menores pérdidas a la cocción y menor fuerza de corte en comparación con los cerdos sin suplemento; sin embargo, la tendencia al rojo no fue afectada. La reducción de la fuerza de corte fue mayor en los cerdos suplementados desde los 60 kg, lo que sugiere que la respuesta puede estar asociada con mayor tiempo o cantidad de Met-Cr consumida. Los datos del presente estudio sugieren que el Cr puede ayudar a regular la caída del pH de la carne post-mortem alterando la luminosidad de la carne y la terneza. La reducción de la luminosidad puede estar asociada a la disminución de grasa corporal, que en el caso de los cerdos es de color blanco; por lo tanto, pudo afectar la cantidad de luz reflejada por la carne de cerdos que fueron suplementados. Así mismo, nuestros resultados coinciden parcialmente con Li et al. (2013) quienes observaron una reducción de la luminosidad de la carne de cerdos suplementados con Met-Cr a partir de los 75 kg de peso. Por el contrario, Peres et al. (2014) no observaron cambios en ninguna variable de calidad de carne cuando suplementaron Met-Cr a cerdos de 60 kg. En el mismo sentido, Li et al. (2013) tampoco observaron cambios en el pH e intensidad del amarillo de la carne de cerdos suplementados con dosis crecientes de Met-Cr a partir de 75 kg de peso vivo; sin embargo, la fuerza de corte tendió a incrementarse linealmente y la intensidad del rojo a reducirse cuadráticamente al suplementar de 0 a 0.9 mg Cr/kg de alimento.

La terneza de la carne varía por diversas causas pre- y post-mortem (Braña-Varela et al., 2011). Entre los factores pre-mortem más influyentes se reconoce a la raza y el sistema de producción, mientras que entre los factores post-mortem se sugiere al acortamiento de los sarcómeros, la cantidad y características del tejido conjuntivo, el sistema de refrigeración-congelación, la maduración de la carne y la temperatura de cocción (Braña-Varela et al., 2011). La cantidad acumulada de grasa intramuscular puede favorecer la terneza de la carne, pero el contenido cuantitativo y cualitativo de colágeno influye de forma importante en la dureza (Honikel, 1998). En este experimento, no se midió la grasa intramuscular pero los resultados de espesor de la grasa dorsal y luminosidad sugieren que el Cr redujo la acumulación de grasa intramuscular y no explicarían la reducción de la fuerza de corte del músculo LD. Por otro lado, se sabe que la concentración de colágeno no cambia significativamente durante el desarrollo del animal, aunque tiende a incrementarse con la edad; sin embargo, lo que cambia es su solubilidad asociada a las concentraciones de hidroxilisina e hidroxiprolina que se producen después de la síntesis de la cadena polipeptídica promoviendo mayor número de entrecruzamientos por uniones covalentes entre las cadenas (Honikel, 1998). Otros aditivos que modifican la tasa de acumulación de tejido muscular también afectan el tipo de colágeno y la cantidad de entrecruzamiento; por ejemplo, en ovinos, el uso de zeranol modifica las características del colágeno intramuscular del lomo reduciendo la fuerza de corte (Maiorano et al., 1993). En conjunto, la reducción de la fuerza de corte del músculo *Longissimus* y el menor grado de engrasamiento de la canal asociados al consumo de Met-Cr sugieren que la acción del Cr para promover la síntesis de proteína muscular podría haber alterado directa o indirectamente la solubilidad del colágeno, la cantidad de entrecruzamientos o ambos.

En conclusión, la suplementación de Cr en forma de Met-Cr en cerdos en finalización mejora el desempeño productivo, las características de la canal y algunos indicadores de calidad de la carne. El momento al cual inicia la suplementación con Cr puede afectar en forma distinta las características de la canal y se deben tener presentes las metas de producción para tomar la decisión del peso de los cerdos para iniciar la suplementación con Met-Cr.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al PROMEP (IDCA: 7459, Fortalecimiento de los Cuerpos Académicos 2012, Secretaría de Educación Pública) y a grupo BIOTECAP (Proyecto YAÑ-02, 2012) por el financiamiento para la realización del presente estudio.

CONFLICTO DE INTERESES

Adelfo Vite-Aranda es Gerente Comercial de la empresa Biotecap S. A. de C. V. Los autores del presente trabajo declaran no tener conflicto de intereses.

REFERENCIAS

Amoikon, E. K., Fernandez, J. M., Southern, L. L. Thompson, Jr. D. L., Ward, T. L. & Olcott, B. M. 1995. Effect of chromium tripicolinate on growth, glucose tolerance, insulin sensitive, plasma metabolites, and growth hormone in pigs. *J. Anim. Sci.* 73:1123-1130.

Anderson, R. A. 1987. Chromium. In: Trace elements in human and animal nutrition, 5th ed, W. Mertz (ed.), Academic Press, San Diego, CA. 225-244.

Anderson, R. A. 1994. Stress effects on chromium nutrition of humans and farm animals. Pages 267-274 In: Proceedings of Alltech's 10th Annual Symposium Biotechnology in the Feed Industry, Lyons T. P. & Jacques K. A. (ed.), University Press. Nottingham, England.

Barajas, R., Cervantes, B. J., Velázquez, E. A., Romo, J. A., Juárez, F., Rojas, P. J. & Peña, F. R. 2008a. Chromium methionine supplementation on feedlot performance and carcass characteristics of bulls: I results cool season in the Northwest of México. *Proc. Western Section, Am. Soc. Anim. Sci.* 59:383-386.

Barajas, R., Cervantes, B. J., Velázquez, E. A., Romo, J. A., Juárez, F., Rojas, P. J. & Peña, F. R. 2008b. Chromium methionine supplementation on feedlot performance and carcass characteristics of bulls: II results including trough hot and humidity season in the Northwest of Mexico. *Proc. Western Section, Am. Soc. Anim. Sci.* 59:374-377.

Barton, P. 1997 In: Manipulating Pig Production VI. Ed. P.D. Cranwell. Australasian Pig Sci. Assoc. pp: 100-123.

Bernhard, B. C., Burdick, N. C., Rathmann, R. J., Carroll, J. A., Finck, D. N., Jennings, M. A., Young, T. R., & Johnson, B. J. 2012. Chromium supplementation alters both glucose and lipid metabolism in feedlot cattle during the receiving period. *J. Anim. Sci.* 90:4857-4865.

Boleman, S. L., Boleman, S. J., Bidner, T. D., Southern, L. L, Ward, T. L., Pontif, J. E., & Pike M. M. 1995. Effect of chromium picolinate on growth, body composition, and tissue accretion in pigs. *J. Anim. Sci.* 73:2033-2042.

Braña-Varela, D., Ramírez-Rodríguez, E., Rubio-Lozano, M. S., Sánchez-Escalante, A. Torrecano-Urrutia, G., Arenas-de Moreno, M.L., Partida-de la Peña, J. A., Ponce-Alquicira, E. & Ríos-Rincón, F. G. 2011. Manual de Análisis de Calidad en Muestras de Carne. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal. Folleto técnico N.º1, octubre 2011. ISBN: 978-607-425-612-3.

Choi, Y. J., Kim, H. G., Cho, J. S., Chung, I. B., Kim, Y. H. & Han, I. K., 1998. Effects of chromium picolinate on in vitro lipogenesis and lipolysis in adipose tissue and protein synthesis in liver tissue of pigs. *Asian-Aus. J. Anim. Sci.* 11:428-433.

Evans, G. W., & Bowman, T. D. 1992. Chromium picolinate increases membrane fluidity and rate of insulin internalization. *J. Inorg. Biochem.* 46:243–250.

Gomes, M. R., Rogero, M. M. & Tirapegui, J. 2005. Considerações sobre cromo, insulina e exercício físico. *Revista Brasileira Medicina do Esporte* 11:262-266.

Honikel, K. O. 1998. Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. *Meat Sci.* 49: 447-457.

Jackson, A.R., Powell, S., Johnston, S. L., Matthews, J. O., Bidner, T. D., Valdez, F. R. & Southern, L. L. 2009. The effect of chromium as chromium propionate on growth performance, carcass traits, meat quality, and the fatty acid profile of fat from pigs fed no supplemented dietary fat, choice white grease, or tallow. *J. Anim. Sci.* 87:4032-4041.

Johnson, J. L. 1994. Pathogen microorganisms and microbial toxins associated with muscle foods. In: Kinsman DM, Kotula AW, Breidestein BC. *Muscle foods meat, poultry and seafood technology*. USA: Chapman and Hall.

Júnior, J. G. C., Kiefer, C., Ferreira, E. V. & Vieira, B. S. 2017. Chromium and selenium-enriched yeast for castrated finishing pigs: effects on performance and carcass characteristics. *Semina: Ciências Agrárias.* 38:3851-3859.

Kegley, E. B., Galloway, D. L., & Fakler, T. M. 2000. Effect of dietary chromium-L-methionine on glucose metabolism of beef steers. *J. Anim. Sci.* 78:3177–3183.

Kornegay, E. T., Wang, Z., Wood, C. M. & Lindemann, M. D. 1997. Supplemental chromium picolinate influences nitrogen balance, dry matter digestibility, and carcass traits in growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 75:1319- 1323.

Leiva, T., Cooke, R. F., Brandao, A. P., Bertin, R. D., Colombo, E. A., Miranda, V. F. B., Lourenco, L. A. C., Rodrigues, S. M. B., & Vasconcelos, J. L. M. 2018. Effects of supplemental calcium salts of palm and chromium-propionate on insulin sensitivity and productive and reproductive traits of mid- to late-lactating Holstein×Gir dairy cows consuming excessive energy. *J. Dairy Sci.* 101:491-504.

Li, Y. S., Zhu, N. H., Niu, P. P., Shi, F. X., Hughes, C. L., Tian, G. X. & Huang, R. H., 2013. Effects of dietary chromium methionine on growth performance, carcass

composition, meat colour and expression of the colour-related gene myoglobin of growing-finishing pigs. *Asian-Aus. J. Anim. Sci.* 26:1021-1029.

Lien, T. F., Horng, Y. M. & Yang, K. H. 1999. Performance, serum characteristics, carcass traits and lipid metabolism of broilers as affected by supplement of chromium picolinate. *Br. Poult. Sci.* 40:357-363.

Lien, T. F., Wu, C. P., Wang, B. J., Shiao, M. S., Shiao, T. Y., Lin, B. H., Lu, J. J. & Hu, C. Y. 2001. Effect of supplemental levels of chromium picolinate on the growth performance, serum traits, carcass characteristics and lipid metabolism of growing-finishing pigs. *Anim. Sci.* 72:289-296.

Lindemann, M. D. 1999. Chromium and swine nutrition. *J. Trace Elem. Med. Bio.* 12:149-161.

Lindemann, M. D., Wood, C. M., Harper, A. F., Kornegay, E. T. & Anderson, R. A. 1995. Dietary chromium picolinate additions improve gain:feed and carcass characteristics in growing-finishing pigs and increase litter size in reproducing sows. *J. Anim. Sci.* 73:457-465.

Maiorano, G., McCrominck, R. J., Field, R. A. & Snowden, G. 1993. Intramuscular collagen characteristics of ram, whether and zeranol-implanted lambs. *J. Anim. Sci.* 71:1817-1822.

Matthews, J. O., Guzik, A. C., LeMieux, F. M., Southern, L. L. & Bidner, T. D. 2005. Effects of chromium propionate on growth, carcass traits, and pork quality of growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 83:858-862.

Matthews, J. O., Higbie, A. D., Southern, L. L., Coombs, D. F., Bidner, T. D. & Odgaard, R. L. 2003. Effect of chromium propionate and metabolizable energy on growth, carcass traits, and pork quality of growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 81:191-196.

Matthews, J. O., Southern, L. L., Fernandez, J. M., Pontif, J. E., Bidner, T. D. & Odgaard, R. L. 2001. Effect of chromium picolinate and chromium propionate on glucose and insulin kinetics of growing barrows and on growth and carcass traits of growing-finishing barrows. *J. Anim. Sci.* 79:2172-2178.

Mavromichalis, J. 1999. A chromium supplement after weaning. *Pig International* 29 (3): 23-24.

Mertz, W. 1993. Chromium in human nutrition: A review. *J. Nutr.* 123:626-633.

Mooney, K. W. & Cromwell, G. L. 1995. Effects of dietary chromium picolinate supplementation on growth, carcass characteristics, and accretion rates of carcass tissues in growing-finishing swine. *J. Anim. Sci.* 73:3351-3357.

- Mooney, K. W. & Cromwell, G. L. 1999. Efficacy of chromium picolinate on performance and tissue accretion in pigs with different lean gain potential. *J. Anim. Sci.* 77:1188-1198.
- Noori, K., Farhoomand, P., & Ebrahimzadeh, S. K. 2012. Effects of the chromium methionine supplementation on performance, serum metabolites and carcass traits in broiler chickens. *J. Anim. Sci. Adv.* 2:230-235.
- NRC. 2012. Nutrient Requirements of Swine. 11th rev. ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC.
- Okada, S., Tsukada, H. & Tezuka, M. 1989. Effect of chromium (III) on nuclear RNA synthesis. *Biol. Trace Elem. Res.* 21:35–39.
- Ohh, S. J. & Lee, J. Y. 2005. Dietary chromium-methionine chelate supplementation and animal performance. *Asian-Aust J. Anim. Sci.* 18:898-907.
- Page, T. G., Southern, L. L., Ward, T. L. & Thompson, Jr. D. L. 1993. Effect of chromium picolinate on growth and serum and carcass traits of growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 71:656–662.
- Park, J. K., Lee, J. Y., Chae, B. J. & Ohh, S. J. 2009. Effects of different sources of dietary chromium on growth blood profiles and carcass traits in growing-finishing pigs. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* 22:1547–1554.
- Pearson, A. M. & Tauber, F. W. 1984. Processed meats. Second edition. Avi publishing company. Westport, Connecticut. 2003 p.
- Pechova, A. & Pavlata, L. 2007. Chromium as an essential nutrient: a review. *Vet. Med.* 52:1–18.
- Peres, I. M., Bridi, A. M., Silva, C. A. D, Andreo, N., Barata, C. C. P., & Dário, J. G. N. 2014. Effect of supplementing finishing pigs with different sources of chromium on performance and meat quality. *Rev. Bras. Zootec.* 43:369-375.
- Rettig, M. K., & Ah-Hen, K. 2014. El color en los alimentos un criterio de calidad medible Color. *AgroSur Univ Austral Chile.* 42:39-48.
- Riales, R., & Albrink, J. M. 1981. Effect of chromium chloride supplementation on glucose tolerance and serum lipids including high density lipoprotein of adult men. *Am. J. Clin. Nut.* 34:670– 2678.
- Rosebrough, R. W. & Steele, N.C. 1981. Effect of supplemental dietary chromium or nicotinic acid on carbohydrate metabolism during basal, starvation, and refeeding periods in poults. *Poult. Sci.* 60:407-417.

Sahin N., Onderci, M. & Sahin, K. 2002a. Effects of dietary chromium and zinc on egg production, egg quality, and some blood metabolites of laying hens reared under low ambient temperature. *Biol. Trace Elem. Res.* 85:47-58.

Sahin, K., Ozbey, O., Ondersi, M., Cikim, G. & Aysondu, M. H. 2002b. Chromium supplementation can alleviate negative effects of heat stress on egg production, egg quality and some serum metabolites of laying japanese quail. *J. Nutr.* 132: 1265-1268.

Sales, J. & Jancik, F. 2011. Effects of dietary chromium supplementation on performance, carcass characteristics, and meat quality of growing-finishing swine: a meta-analysis. *J. Anim. Sci.* 89:4054–4057.

Shelton, J. L. Pyne, R. L., Johnston, S. L. & Bitner, T. D. 2003. Effect of chromium propionate on growth carcass traits, pork quality and plasma metabolites in growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 81:2515-2524.

Sun, Y. J., Ramirez, J., Woski, S. A. & Vincent, J. B. 2000. The binding of trivalent chromium to low-molecular-weight chromium binding substance (LMWCr) and the transfer of chromium from transferrin and chromium picolinate to LMWCr. *J. Bio. Inorg. Chem.* 5:129–136.

Socha, M. T., Tomlinson, D. J., Fakler, T. M. & Ward, T. L. 2005. Chromium applications for dairy cattle. Pages 27-35 In: *Proceedings California Animal Nutrition Conference*, May 11-12. Fresno, California.

Vincent, J.,B. 2000. The biochemistry of chromium. *J. Nutr.* 130:715–718.

Wagner, J. R., Schinckel, A. P., Chen, W., Forrest, J. C., & Coe, B. L. 1999. Analysis of body composition changes of swine during growth and development. *J. Anim. Sci.* 77:1442–1466.

Wallace, W. J., Houtchens, R. A., Maxwell, J. C. & Caughey, W. S. 1982. Mechanism of auto-oxidation for hemoglobins and mioglobins. Promotion superoxide production by protons and anions. *J. Biol. Chem.* 257:4966-4977.

Xi, G., Xu, Z. Wu, S. H. & Chen, S. 2001. Effect of chromium picolinate on growth performance, carcass characteristics, serum metabolites and metabolism of lipid in pigs. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* 14:258–262.

Zhang, H., Dong, B. Zhang, M. & Yang, J. 2011. Effect of chromium picolinate supplementation on growth performance and meat characteristics of swine. *Biol. Trace Elem. Res.* 141:159–169.