

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA
COLEGIO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**



TESIS

**EFFECTO DEL CONSUMO DE CROMO ADICIONAL EN EL
DESEMPEÑO PRODUCTIVO, RESPUESTA INMUNE Y
CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL DE TORETES EN
ENGORDA INTENSIVA**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OBTENER EL
GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**PRESENTA
MARCO ANTONIO ESPINO GARCÍA**

**DIRECTOR DE TESIS
DR. RUBÉN BARAJAS CRUZ**

**CO-DIRECTOR
DR. JAVIER ALONSO ROMO RUBIO**

CULIACAN, SINALOA, ENERO DE 2011

ESTA TESIS FUE REALIZADA POR **MARCO ANTONIO ESPINO GARCÍA**, BAJO LA DIRECCIÓN DEL CONSEJO PARTICULAR QUE SE INDICA; Y HA SIDO APROBADA POR EL MISMO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

CONSEJO PARTICULAR

DIRECTOR DE TESIS _____


DR. RUBÉN BARAJAS CRUZ

CO-DIRECTOR DE TESIS _____


DR. JAVIER ALONSO ROMO RUBIO

ASESOR _____


DR. FELIPE JUÁREZ BARRANCO

CULIACÁN, SINALOA, ENERO DE 2011

DEDICATORIA

A mis padres Ester y Francisco.

A mis hijos Aries, Ariel y Anthony, por ser mi inspiración.

A mis amigos Rubén, Hilda y Billy, por su incondicional apoyo moral.

AGRADECIMIENTOS

Al Colegio de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Sinaloa, por brindarme la oportunidad con su apertura e impulso de la investigación científica.

A mis directores y asesores de tesis, Dr. Rubén Barajas Cruz, Dr. Javier Alonso Romo Rubio y Dr. Felipe Juárez Barranco, por su gran profesionalismo e incansable apoyo en mi formación investigadora.

A mis maestros, por su dedicación y por compartir sus conocimientos.

A Ganadera Los Migueles S.A. de C.V. y al Ing. Regulo Terraza Romero, por su confianza y colaboración para realizar los trabajos de esta tesis.

Al CONACYT, por su valiosa aportación durante mis estudios de maestría.

A PROFAPI-UAS por el financiamiento para el desarrollo de la investigación.

CONTENIDO

INDICE DE CUADROS.....	v
RESUMEN.....	vi
ABSTRACT.....	vii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Generalidades del cromo.....	3
2.2. Absorción y transporte del cromo.....	3
2.3. Función biológica del cromo trivalente.....	3
2.4. Mecanismos de acción del cromo.....	4
2.5. Efecto del cromo adicional sobre la glucosa circulante de bovinos.....	4
2.6. Efecto del cromo adicional en el nivel de cortisol en sangre de bovinos..	5
2.7. Efecto de la adición de cromo en la respuesta inmune de bovinos.....	6
2.8. Influencia del cromo adicional en la ganancia diaria de peso de bovinos durante la etapa de recepción	6
2.9. Influencia del cromo en la ganancia diaria de peso en bovinos durante la etapa de finalización.....	7
2.10. Influencia del cromo en la ganancia diaria de peso en bovinos durante la engorda completa.....	7
2.11. El propionato de cromo.....	9
III. HIPÓTESIS.....	10
IV. OBJETIVO.....	11
V. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
VI. MATERIALES Y METODOS.....	12
6.1. Ubicación geográfica.....	12
6.2. Animales experimentales.....	12

6.3. Diseño experimental y tratamientos.....	13
6.4. Mediciones en suero.....	14
6.5. Desempeño en corral.....	15
6.6. Mediciones en canal.....	16
6.7. Análisis estadístico.....	16
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	19
7.1. Crecimiento, días 1 a 77.....	19
7.2. Finalización, días 78 a 189.....	20
7.3. Engorda completa, días 1 a 189.....	21
7.4. Características de la canal.....	22
7.5. Respuesta inmune.....	23
VIII. CONCLUSIONES.....	28
IX. LITERATURA CITADA.....	29

INDICE DE CUADROS

CUADRO	TÍTULO	PÁGINA
1	Composición porcentual en base seca de las dietas utilizadas en el experimento.....	18
2	Influencia del consumo de cromo adicional a partir de propionato de cromo en la respuesta productiva de becerros en engorda.....	25
3	Influencia del consumo de cromo adicional a partir de propionato de cromo en las características de la canal de bovinos en engorda	26
4	Influencia de la suplementación con propionato de cromo en la concentración de inmunoglobulinas G y M en suero sanguíneo.....	27

Resumen

Efecto del consumo de cromo adicional en el desempeño productivo, respuesta inmune y características de la canal de toretes en engorda intensiva

Marco Antonio Espino García

Con el objetivo de establecer la influencia del consumo de cromo adicional a partir de propionato de cromo en la respuesta inmune de becerros durante sus primeros días en corral, en el desempeño productivo y características de la canal de toretes en engorda intensiva, se realizó un experimento. Se utilizaron 45 becerros con peso inicial 225 ± 10 kg y carga genética aproximada 25% *Bos indicus* y 75% *Bos taurus*. Se alojaron en corraletas en grupos de cinco, en un diseño de Bloques Completos al Azar se asignaron a uno de tres tratamientos: 1) Dieta a base de maíz, pasta de soya y ensilado de maíz (Testigo); 2) Dieta similar al testigo adicionada con 0.15 mg de cromo/kg de MS (Cr-0.15); 3) Dieta similar al testigo adicionada con 0.30 mg de cromo/kg de MS (Cr-0.30). El cromo adicional fue proporcionado a partir de Propionato de cromo. Cr-0.15 incrementó ($P = 0.04$) en 5.5% el peso final, mientras que conjuntamente los animales que recibieron cromo adicional (Cr-0.15 y Cr-0.30) finalizaron con peso superior ($P = 0.03$) en 5.2%, en tanto que la GDP mejoró en 10.8% ($P = 0.02$) comparados con el grupo testigo. El consumo de MS y la conversión alimenticia no fueron modificados ($P > 0.50$), mientras que la energía neta retenida de la dieta fue similar ($P = 0.68$) para los distintos tratamientos. La adición de cromo no modificó ($P > 0.20$) los títulos séricos de IgG e IgM. Las canales de los animales que recibieron Cr-0.15 fueron 5% más pesadas ($P = 0.09$) que los testigos; el rendimiento en canal, espesor de grasa dorsal, área del ojo de costilla, grasa en riñón, pelvis y corazón, así como el grado de marmoleo y el pH muscular no fueron modificados ($P > 0.60$) por los tratamientos.

La inclusión de dosis cercanas a 0.15 mg de cromo/kg de MS a la dieta a partir de propionato de cromo mejora el desempeño productivo sin modificar substancialmente la respuesta inmune ni las características de la canal.

Palabras clave: Cromo, bovinos en engorda, desempeño productivo, características de la canal, respuesta inmune.

Abstract

Effect of additional chromium intake in feedlot performance, immune response, and carcass traits of intensive fattening bulls

Marco Antonio Espino García

With the objective to establish the effect of intake of additional chromium from chromium propionate to feedlot cattle diet on performance, immune response, and carcass traits, an experiment was conducted. 45 crossbreed bulls 25% *Bos indicus* and 75% *Bos taurus*, 225 ± 10 kg initial weight were used. They were allotted in group of five bulls by pen, under a block complete randomized design they were assigned to receive one out of three treatments: 1) Diet based on corn, soybean meal, and corn silage (Control); 2) Diet alike to control added with 0.15 mg of chromium/kg of DM (Cr-0.15); 3) Diet alike to control added with 0.30 mg of chromium/kg of DM (Cr-0.30). Additional chromium was provided derived from chromium propionate. Cr-0.15 increased ($P = 0.04$) a 5.5% the ending weight, while those animals that collectively received additional chromium (Cr-0.15 and Cr-0.30) shown higher ending weight ($P = 0.03$) at 5.2%, whereas ADG increased ($P = 0.02$) in 10.8% compared to control group animals. DMI and gain:feed ratio were no modified ($P = 0.50$), although diet retained NE revealed the same ($P = 0.68$) for each one of the treatments. Animals treated with supplemental chromium had neither modifications ($P > 0.20$) on serum IgG nor serum IgM concentrations at 28 days from the trial beginning. Carcass derived from bulls supplemented Cr-0.15 and Cr-0.30, were 5% heavier ($P = 0.09$) than control, still the treatments did not have an effect ($P > 0.60$) on carcass dressing, backfat coat, rib eye, KPH fat, as well as marbling grade and meat pH.

The addition of dosage nearly to 0.15 mg of chromium/kg of DM from propionate chromium increase productive performance but reveal no changes in immune response or additional modifications on carcass traits.

Key words: chromium propionate, feedlot, productive performance, carcass characteristics, immune response.

I. INTRODUCCIÓN

Los bovinos destinados a la engorda son sometidos a una cantidad considerable de estrés durante los procesos de adquisición, traslado y a su arribo a los corrales de engorda; el estrés provoca una depresión tanto aguda como crónica en el desempeño productivo de ese tipo de animales (Loerch y Fluharty, 1999). La adición de cromo (Cr) a la dieta ha mostrado ser efectiva en la disminución de los efectos dañinos del estrés, disminuye los niveles de cortisol y mejora la respuesta inmune (Chang y Mowat, 1992; Kegley y Spears, 1995; Barajas y Almeida, 1999). La adición de cromo orgánico ha mejorado el desempeño productivo de los becerros recién llegados al corral de engorda (Moonsie-Shageer y Mowat, 1993; Kegley *et al.*, 1997; Barajas y Almeida, 1999; Barajas *et al.*, 1999).

Es limitada la información a cerca de la influencia de la adición de cromo a la dieta durante el proceso completo de la engorda. Pollard *et al.* (1999) adicionaron 0, 0.2 o 0.4 ppm de cromo a partir de levadura rica en cromo a la dieta de novillos en engorda durante 208 días y no observaron mejoría en la ganancia de peso, aunque con Cr-0.2 ppm se incrementó el peso de la canal. Luseba (2001) alimentó a novillos en engorda durante 120 días con 0 o 0.2 ppm de Cr a partir de levadura rica en cromo en la dieta y no observó cambios en la respuesta productiva. Barajas *et al.* (2008b) alimentaron con 0.2 ppm de Cr a partir de metionina de Cr en la dieta a toretes en finalización durante los últimos 34 días en la engorda y observaron un 14% de incremento en la ganancia de peso. Monterrosa *et al.* (2008) adicionaron 0, 0.2 o 0.4 ppm de Cr a partir de metionina de Cr a la dieta de toros durante los últimos 32 días en corral, ellos observaron con 0.4 ppm de Cr un aumento de 4.8% en la ganancia de peso. Con adición de 0.3 ppm de Cr a partir de metionina de Cr durante los 174 días que duró el proceso completo de engorda de toretes, Barajas *et al.* (2008a) observaron que la inclusión de Cr incrementó en 7% el peso final, 14.5% la ganancia diaria de peso y en 6.8% el peso de la canal.

El cromo en forma de propionato de cromo induce un incremento en la lipogénesis en el tejido adiposo y en la producción de leche de vacas Holstein (McNamara y Valdez, 2005), y mejora la utilización de la glucosa en pruebas de reto

tanto en becerros como en vaquillas Holstein (Bunting *et al.*, 2000; Summer *et al.*, 2007). Sin embargo, no existe información de la influencia de la adición de cromo a partir de propionato en la respuesta productiva de bovinos en engorda intensiva.

Este trabajo se llevó a cabo con el objetivo de comprobar el efecto de la adición de propionato de cromo en el desempeño productivo, en la respuesta inmune durante la etapa de recepción y características de la canal de toretes durante el proceso completo de la engorda intensiva.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Generalidades del cromo.

El cromo es el octavo elemento en abundancia en la corteza terrestre, integrando aproximadamente la 1/3000 parte de ella y se encuentra principalmente en forma de cromita (FeOCr_2O_3) asociado con el hierro, sin embargo, su concentración en las plantas es baja (McDowell, 1992). Aunque el cromo hexavalente es considerado tóxico (McDowell, 1992); el cromo trivalente es biológicamente activo en plantas y animales, y es considerado un elemento traza esencial con beneficios para el organismo de humanos y animales, entre los cuales se encuentra el proceso metabólico donde la insulina potencializa la acción de la glucosa a nivel celular (Schwarz y Mertz, 1959).

2.2. Absorción y transporte del cromo.

El cromo se absorbe principalmente en el intestino delgado (NRC, 1997), aunque la absorción del mismo puede variar entre especies; en humanos a medida que el consumo de cromo incrementa, la absorción intestinal disminuye, en tanto que en ratas la absorción intestinal de cromo no es afectada por el nivel de consumo (Vincent, 2004). Una vez que se absorbe, el cromo es transportado por la transferrina, proteína responsable de mantener los niveles de cromo plasmático y de trasladarlo a los tejidos en respuesta a los niveles de insulina (Vincent, 2000).

2.3. Función biológica del cromo trivalente.

El cromo trivalente juega un papel importante en el metabolismo de carbohidratos y lípidos (NRC, 1997) y su participación gira alrededor de una biomolécula denominada cromodulina (Jeejeebhoy, 1999), un oligopéptido con peso molecular aproximado de 1438 Daltons, aislado del hígado y riñón de varios mamíferos (Yamamoto *et al.*, 1998; Vincent, 1999). La cromodulina en su forma

activa (Holocromodulina) está integrada por glicina, cisteína, glutamato y aspartato en proporción 2:2:4:2, respectivamente y cuatro átomos de cromo (Jacquament *et al.*, 2003). La cromodulina funciona como parte de un sistema único de autoamplificación de la señal de insulina (Vincent, 2004).

2.4. Mecanismos de acción del cromo.

Cuando se incrementa la concentración de insulina en la sangre, esta se une con la subunidad α de los receptores insulínicos en la membrana de las células susceptibles, provocando un cambio conformacional que resulta en la autofosforilación de los residuos de tirosina en la subunidad β de la parte interna del receptor, la actividad de la tirosina cinasa produce la fosforilación de la tirosina de los sustratos citosólicos como la existente en el receptor del sustrato citoplásmico de la insulina, con lo que se inicia la cadena de transmisión de la señal de la insulina al interior de la célula (Sasaki, 2002). En respuesta al estímulo de la insulina, el cromo es movilizado de la sangre al interior de la célula, en donde se une con la apocromodulina (forma inactiva de la cromodulina que no tiene átomos de cromo) y la transforma en Holocromodulina (Jacquament *et al.*, 2003). La Holocromodulina se une a la subunidad β del receptor y lo mantiene estable en su conformación activa, amplificando la actividad de tipo cinasa del receptor (Vincent, 2004); cuando los niveles de insulina descienden y la señal es desactivada, la Holocromodulina es excretada de la célula a la sangre y es eliminada por la orina (Vincent, 2000).

2.5. Efecto del cromo adicional sobre la glucosa circulante de bovinos.

La adición de cromo integrado en moléculas orgánicas facilita la entrada de la glucosa a la célula, lo que se manifiesta en una reducción en la vida media de la glucosa en sangre y consecuentemente un aumento en la tasa de desaparición; Mowat *et al.* (1993), utilizaron 1.0 ppm de cromo a base de un quelato de aminoácido-Cr (AA-Cr) y apreciaron un aumento en la velocidad de desaparición de glucosa en una prueba de tolerancia. Bunting *et al.* (1994), administrando en la dieta

0.37 ppm de Cr a partir de picolinato de cromo, encontraron un aumento de 27% a 45% en la tasa de desaparición de la glucosa en vaquillas y novillos, respectivamente. Efectos similares fueron observados por Chang *et al.* (1995) con 0.75 ppm a partir de CrCl_3 y levadura, Kegley y Spears (1995) con 0.4 ppm de Cr adicionando nicotinato de cromo y Kegley *et al.* (2000) con concentraciones de 0.4 y 0.8 ppm de Cr a partir de metionina de cromo; aunque en algunos trabajos en los que se ha utilizado CrCl_3 o levaduras con alto contenido de Cr no se ha observado efecto alguno (Kegley y Spears, 1995).

2.6. Efecto del cromo adicional en el nivel de cortisol en sangre de bovinos.

La adición de cromo a las dietas disminuye los indicadores del estrés, como el cortisol en sangre. Chang y Mowat (1992), encontraron una disminución del 28% de cortisol utilizando levadura como fuente de cromo con una dosis de 0.4 ppm; Mowat *et al.* (1993), al utilizar 1.0 ppm a base de un quelato de aminoácido-Cr (AA-Cr) obtuvieron una disminución del 40%; Moonsie-Shageer y Mowat (1993), apreciaron una disminución gradual en los niveles de cortisol en sangre de 9 hasta 32% a medida que incrementaron desde 0.2 hasta 1.0 ppm la cantidad de cromo adicional a partir de levadura rica en Cr; Chang *et al.* (1995), encontraron una disminución del 27% en el cortisol sanguíneo administrando 0.75 ppm de Cr a partir de levadura, en tanto que Almeida y Barajas (2002), administrando 1.0 ppm de Cr a partir de metionina de cromo, encontraron a los 14 días una disminución del 89% en los niveles de cortisol. Recientemente Monterrosa *et al.* (2008), observaron una disminución en los niveles séricos de cortisol al momento de la muerte en los animales que recibieron tanto 0.2 como 0.4 ppm de cromo adicional, en comparación con los toros que no recibieron cromo adicional.

2.7. Efecto de la adición de cromo en la respuesta inmune de bovinos.

El aumento en la disponibilidad de energía en las células y la disminución del efecto nocivo de los altos niveles de cortisol, se manifiestan en una mejora de la capacidad de la respuesta inmune, la que ha sido medida en términos de producción de inmunoglobulinas. Chang y Mowat (1992), encontraron que al proporcionar 0.4 ppm de Cr a partir de levaduras, aumentó en casi 100% la concentración de inmunoglobulina M (IgM), de igual manera, Almeida y Barajas (2002), observaron un incremento de 78% en la producción de IgM al adicionar 1.0 ppm de Cr a partir de metionina de cromo. También han sido observados por otros autores incrementos en la concentración de inmunoglobulina G (IgG) en respuesta a la adición de cromo (Kegley y Spears, 1995; Almeida y Barajas, 1999; Almeida y Barajas, 2002).

2.8. Influencia del cromo en la ganancia diaria de peso en bovinos durante la etapa de recepción.

Con la adición de levaduras altas en cromo a las dietas de becerros sometidos a estrés por transporte, Moonsie-Shageer y Mowat (1993), observaron durante los primeros 35 días un aumento del 27% en la ganancia diaria de peso (GDP) con 0.2 y 1.0 ppm de Cr adicional, aunque no observaron beneficios con la adición de 0.6 ppm.

Chang *et al.* (1995), adicionaron 0.75 ppm de Cr a partir de cloruro de cromo + niacina a la dieta de becerros sometidos a estrés por transporte y obtuvieron un 37% de incremento en la GDP durante los primeros 28 días en la engorda. Kegley *et al.* (1997), encontraron un incremento promedio de 10.7% en GDP durante los 80 días del periodo de recepción adicionando 0.4 ppm de Cr a partir de nicotinato de Cr a dietas para novillos sometidos a diferentes niveles de estrés por transporte. Barajas y Almeida (1999), observaron un 21.7% de aumento en la GDP al proporcionar 1.0 ppm de Cr a partir de metionina de Cr en la dieta, a becerros livianos sometidos a estrés por destete, transporte y calor durante sus primeros 28 días en el corral de engorda. Barajas *et al.* (1999), en un experimento durante los 28

días del periodo de recepción de becerros encastados de cebú estresados por calor, transporte y manejo, observaron un 23% de incremento en la GDP con la adición de 0.4 ppm de Cr a partir de metionina de cromo en la dieta; la inclusión de 0.7 ppm incrementó en 12.6% la GDP y la complementación con 1.0 ppm de Cr no manifestó influencia en la GDP. Barajas *et al.* (2005a) encontraron un incremento de 22.7% en la GDP adicionando 0.4 ppm de cromo a partir de metionina de cromo, a la dieta de becerros encastados de cebú durante sus primeros 28 días en la engorda.

2.9. Influencia del cromo en la ganancia diaria de peso en bovinos durante la etapa de finalización.

Son escasas las publicaciones en las que se describen resultados de la adición de cromo orgánico exclusivamente durante la fase de finalización en los bovinos. Barajas *et al.* (2008c), adicionaron 0.2 ppm de cromo a partir de metionina de Cr como fuente de este mineral, en una dieta ofrecida a toretes durante los últimos 34 días en finalización, ellos observaron un aumento en el peso final de los animales, un 14.6% de incremento en la GDP, una mejora de 12% en la conversión alimenticia y un 8% en la energía neta retenida de la dieta, en comparación con toretes que no recibieron cromo adicional. Monterrosa *et al.* (2008), ofrecieron a toretes durante los últimos 32 días de la engorda, dietas de finalización con niveles de 0, 0.2 y 0.4 ppm de Cr adicional, en las que la metionina de Cr se utilizó como fuente de Cr orgánico. Ellos encontraron una mejora lineal en la ganancia diaria de peso y conversión alimenticia a medida que se incrementó la dosis de cromo adicional. La adición de 0.4 ppm de Cr incrementó 4.8% la ganancia diaria y en 4% la conversión alimenticia, en relación al testigo que no recibió cromo adicional.

2.10. Influencia del cromo en la ganancia diaria de peso en bovinos durante la engorda completa.

Existe poca información relacionada con la adición de cromo a bovinos durante todo el periodo de engorda en corral. Pollard *et al.* (1999), en una prueba de

respuesta productiva, alimentaron a 105 novillos de engorda, durante 173 días con dietas de finalización a las que se adicionó 0, 0.2 o 0.4 ppm de Cr a partir de levadura alta en cromo, la adición de cromo no modificó la respuesta productiva ni la composición de la canal en relación a los animales del grupo testigo. Luseba (2001), alimentó durante 120 días a novillos de 185 kg de peso inicial con dietas adicionadas con 0.0 o 0.3 ppm de Cr, proveniente de levadura alta en cromo, los animales fueron sacrificados a los 340 kg de peso, que es muy bajo para considerarlo representativo de bovinos finalizados, ya que en el mercado de los bovinos en engorda intensiva, el peso de sacrificio de los animales finalizados es entre 470 y 500 kg; en este trabajo el autor no encontró influencia de la adición de Cr en la respuesta productiva de los novillos. Pechova *et al.* (2002), en una prueba de metabolismo, proporcionaron levadura enriquecida con cromo en dosis que variaron de 6 hasta 8 mg de Cr/día a ocho toros de 285 kg de peso inicial, después de 220 días de engorda estos animales ganaron más peso que sus respectivos testigos, aunque la ganancia de peso de 0.75 kg/día del testigo fue muy baja para ser representativa de una engorda intensiva, en tanto que los toros que recibieron cromo adicional ganaron 0.95 kg/día.

Recientemente, Barajas *et al.* (2008a; 2008b), llevaron a cabo un par de experimentos en los que se adicionó metionina de cromo a la dieta de toretes durante todo el periodo de engorda intensiva; en el primero de ellos que se desarrolló durante la época fresca (Barajas *et al.*, 2008a) la adición de 0.3 ppm de Cr incrementó 7% el peso final, 14.8% la ganancia diaria de peso, 8% el consumo de alimento, mejoró la conversión alimenticia en 5.6% y aumentó 6.8% el peso de la canal caliente. En el segundo experimento (Barajas *et al.*, 2008b) que se realizó durante la época caliente y lluviosa, la adición de 0.3 ppm de Cr incrementó el peso final 3.5%, 6.9% la ganancia de peso, sin efecto en el consumo de alimento ni en la conversión alimenticia y el peso de la canal caliente fue 2.3% mayor en los animales que recibieron Cr, en relación a los del grupo testigo.

2.11. El propionato de cromo.

Son escasos los trabajos en los que se describen resultados de la inclusión de propionato de cromo en las dietas para rumiantes. En becerros Holstein pre-rumiantes de tres días de edad, Bunting *et al.* (2000) adicionaron propionato de cromo en cantidad equivalente a 0.5 mg de Cr/kg de MS en el sustituto de leche y lo ofrecieron a los becerros durante sus primeras seis semanas de vida, la adición de cromo incrementó en 50% la velocidad de desaparición de la glucosa en sangre en una prueba de tolerancia a la glucosa.

En vaquillas Holstein, Summer *et al.* (2007), probaron el efecto del nivel de inclusión de propionato de cromo en la dieta, con niveles equivalentes a 0, 5, 10 o 15 mg de cromo/día; la adición de cromo aumentó la concentración basal de glucosa, disminuyó la concentración plasmática de ácidos grasos no esterificados e incrementó la velocidad de desaparición de la glucosa en una prueba de tolerancia, las respuestas descritas fueron dependientes de las dosis, con un comportamiento cuadrático, en el que la mejor respuesta fue observada con la dosis de 10 mg de cromo/día.

En vacas lecheras, McNamara y Valdez (2005) probaron la adición de 0 o 10 mg de cromo/día, con propionato de cromo como fuente de este mineral, las vacas Holstein recibieron los tratamientos desde 21 días antes del parto hasta 35 días después del parto; ellos encontraron un incremento en el consumo de materia seca de 7% antes del parto y 16% después del parto, con un aumento de 5.9% en la producción de leche, una mayor velocidad de lipogénesis en el tejido adiposo y una reducción en la lipólisis, en comparación con las vacas del grupo testigo.

En la literatura, no existe información de la influencia de la adición de propionato de cromo a las dietas en la respuesta inmune de los rumiantes, así como en la respuesta productiva de bovinos en engorda intensiva.

III. HIPÓTESIS

El consumo de cromo adicional a partir de propionato de cromo en la dieta, mejora el desempeño productivo y la respuesta inmune sin modificar las características de la canal de toretes en engorda intensiva.

IV. OBJETIVO GENERAL

Establecer la influencia del consumo de cromo adicional a partir de propionato de cromo en el desempeño productivo, respuesta inmune y características de la canal de toretes en engorda intensiva.

V. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 5.1. Establecer la influencia del consumo de cromo adicional en la dieta a partir de propionato de cromo, en el consumo de alimento, ganancia de peso y conversión alimenticia de toretes en engorda intensiva.
- 5.2. Medir el efecto del consumo de cromo adicional en la dieta a partir de propionato de cromo, en la concentración de inmunoglobulina G e inmunoglobulina M en el suero de becerros, a 28 días del inicio de la engorda intensiva.
- 5.3. Conocer el efecto del consumo de cromo adicional en la dieta a partir de propionato de cromo, en las características de la canal de bovinos en engorda intensiva.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Ubicación geográfica

El experimento se llevó a cabo en la "Unidad Experimental para Bovinos de Engorda en Trópico Seco" de la Universidad Autónoma de Sinaloa, situada en los terrenos de Ganadera Los Migueles S.A. de C.V., ubicada en el km 4 de la carretera federal México 15, tramo Culiacán-Los Mochis, en Culiacán, Sinaloa, con la siguiente localización geográfica: 24°51' de latitud Norte, 107°26' de longitud Oeste, 57 msnm, temperatura media anual de 24.8 °C, temperatura promedio máxima 33.3 °C y mínima 16.3 °C; máxima extrema 44.5 °C y mínima extrema 1.5 °C, precipitación pluvial media anual de 665.6 mm, predominando el clima tropical seco (García, 1981).

6.2. Animales experimentales

Todos los animales que se utilizaron en este experimento fueron tratados de acuerdo con las recomendaciones de la *Guide for the Care and Use of Agricultural Animals in Agricultural Research and Teaching* (Consortium, 1988).

Se adquirieron 240 becerros con peso corporal entre 200 y 250 kg, a diferentes criadores en la región centro-norte de Sinaloa y se transportaron en camión por al menos seis horas; a su arribo a Ganadera Los Migueles, se alojaron en dos corrales con piso de tierra (40 x 45 m), se alimentaron con una dieta 40:60 forraje:concentrado y tuvieron acceso permanente a agua limpia para beber. El proceso de acopio tuvo una duración de cinco días, después se les permitió descansar durante dos días. Posteriormente, los becerros fueron llevados al corral de manejo y de entre ellos se seleccionaron 45 (carga genética aproximada de 25% *Bos indicus* y 75% *Bos taurus*), con un peso promedio inicial de 228 ± 2.84 kg (DE), los que fueron utilizados en la prueba de respuesta productiva en corral de engorda.

Los animales seleccionados fueron pesados en una báscula digital, identificados con arete plástico numerado (Allflex), vacunados para prevenir

infección por *Mannheimia haemolytica* (One Shot; Pfizer Ltd.), implantados (Component ES con Tylan; ELANCO Co. IN), inmunizados contra *Histophylus somnus* y *Clostridium* (Ultrabac 7 Somubac; Pfizer Ltd.), desparasitados (Albendaphorte PLUS; Lab. Salud y Bienestar Animal), e inyectados con Vitaminas A, D y E (ADEphorte; Lab. Salud y Bienestar Animal). A los 77 días de iniciado el experimento los animales fueron reimplantados (Component TES con Tylan; ELANCO Co. IN), revacunados contra *Histophylus somnus* y *Clostridium* (Ultrabac 7 Somubac; Pfizer Ltd.), desparasitados (Albendaphorte 10% con Co; Lab. Salud y Bienestar Animal), e inyectados nuevamente con Vitaminas A, D y E (ADEphorte; Lab. Salud y Bienestar Animal).

6.3. Diseño experimental y tratamientos

De acuerdo a su peso inicial, los animales fueron agrupados en dos bloques (livianos y pesados); en grupos de cinco, los becerros fueron alojados en corraletas con piso de tierra (6 x 12 m) provistas con 2.4 m de comedero y bebedero de llenado automático (0.60 m). Con base en un Diseño de Bloques Completos al Azar (Hicks, 1973), dentro de cada bloque las corraletas (cada una con cinco animales) fueron asignadas de manera aleatoria a uno de tres niveles de cromo adicional en que consistieron los tratamientos:

- 1) Sin cromo adicional (Testigo).
- 2) Adición diaria de cromo en cantidad equivalente a 0.15 mg de Cr/kg de Materia Seca (Cr-0.15).
- 3) Adición diaria de cromo en cantidad equivalente a 0.30 mg de Cr/kg de Materia Seca (Cr-0.30).

La cantidad de cromo que se proporcionó diariamente a los animales fue la estimada para proporcionar el equivalente a 0, 0.15 y 0.30 mg de cromo suplementario en la dieta, de acuerdo con el consumo esperado de los animales en cada periodo. El cálculo del consumo de los toretes se realizó con base en el peso

corporal promedio estimado en cada periodo y el contenido de energía neta de mantenimiento de la dieta correspondiente, con el uso de la fórmula publicada en NRC (2000):

$ENm \text{ (Mcal/día)} = PV^{0.75} * (0.2435 * ENm - 0.0466 * ENm^2 - 0.1128)$; el resultado de la fórmula se dividió entre el contenido de ENm de la dieta y se obtuvo el consumo esperado de materia seca para el periodo respectivo.

El peso vivo promedio (PV), se calculó con base en el peso inicial del periodo correspondiente, sumado al peso final esperado en el mismo periodo y dividido entre dos; el contenido de ENm de las dietas fue calculado con base en la composición de las mismas y los valores publicados del contenido de ENm (NRC, 2000) de los ingredientes que las integraron.

El cromo se proporcionó a partir de propionato de cromo, con la inclusión de la premezcla Kemin Trace Cr (Kemin Industries, Inc.; Des Moines, IA), en la cantidad necesaria para aportar la dosis diaria estimada para cada una de las corraletas de acuerdo al tratamiento asignado. La dosis diaria de cromo por corraleta fue incorporada en 1 kg de maíz molido y se adicionó en la superficie del alimento servido por la mañana (0800 h); la premezcla de maíz y el alimento fueron incorporados manualmente dentro del comedero. En los corrales asignados a la dieta testigo (Cr-0.0), se proporcionó 1 kg de maíz molido para homogenizar el aporte de energía en todos los tratamientos.

6.4. Mediciones en suero

El día 28 del experimento, se tomaron muestras de sangre por punción yugular en tubos con succión por vacío (Vacutainer 6431; Becton Dickinson, Rutherford, NJ). Las muestras se refrigeraron, el suero se obtuvo por centrifugación y se mantuvo congelado hasta su utilización para las mediciones en el laboratorio, en donde se determinó la concentración de las inmunoglobulinas G y M por el método de Inmunodifusión radial simple (VMRD, Inc.; Pullman, WA).

6.5. Desempeño en corral

Los animales fueron alimentados en condiciones de libre acceso (105% del consumo del día anterior), la ración fue servida en dos porciones diarias (0800 y 1600 h). Las dietas basales se presentan en el Cuadro 1. Treinta y tres días antes de la fecha programada de sacrificio, se adicionó a todas las dietas el β -agonista clorhidrato de zilpaterol, que fue proveído agregando 125 g/tonelada de la premezcla Zimax (Hoechst Roussel Vet), que contiene 4.8% de esta sustancia (Macar, 1998). El zilpaterol fue retirado de la dieta tres días antes del sacrificio de los toretes.

El consumo fue medido diariamente, el alimento rechazado fue removido y pesado cada mañana (0800 h). Se tomaron muestras de cada una de las dietas (4 kg) directamente a la salida del remolque mezclador repartidor (Tormex 1200). Tanto muestras de las dietas así como de los rechazos fueron secadas en estufa de aire forzado (105 °C hasta peso continuo, AOAC, 1995) y se calculó el contenido de materia seca.

El consumo de materia seca fue considerado como el alimento ofrecido menos el rechazo semanal acumulado, dividido entre los días del periodo respectivo. Los animales fueron pesados los días 1, 28, 77 y al final del experimento. La ganancia diaria de peso fue calculada como la diferencia de peso en un periodo determinado dividido entre los días de duración del mismo. La conversión alimenticia fue calculada como la relación producto de la división del consumo de alimento entre los kilogramos de peso aumentados en el periodo.

Para desarrollar los cálculos de energía neta (EN) retenida, al peso en báscula de los toretes se les descontó el 4% como llenado del tracto digestivo (NRC, 1984).

La energía retenida (ER, mega calorías) fue derivada de las mediciones del peso corporal (PV, kg) y de la ganancia diaria de peso (GDP, kg/día) de acuerdo con la ecuación: Toretos ER (Mcal) = $(0.0562 PV^{0.75}) GDP^{1.097}$ (NRC, 1984). El contenido de energía neta para mantenimiento y ganancia fue calculado asumiendo un incremento de la producción de calor constante (MQ) de $0.077 PV^{0.75}$ Mcal/día (Lofgreen y Garrett, 1968), que se estableció como el requerimiento diario de ENm

en relación con el peso de los bovinos. A partir de las estimaciones de ER y MQ, los valores de ENm y ENg de la dieta fueron obtenidos por un proceso iterativo (Zinn, 1987), fijando una ENg (Mcal) = (0.877 ENm) - .41 (NRC, 1984). La eficiencia en el uso de la energía neta fue estimada como el producto de dividir la EN observada entre la EN esperada de acuerdo con la composición de la dieta (NRC, 2000).

6.6. Mediciones en canal

Una vez concluido el periodo de engorda, los animales correspondientes a los dos primeros bloques, fueron pesados y transportados en camión a un rastro tipo TIF (FAPSA). Los toretes se sacrificaron, se pesó la canal y se calculó el rendimiento en canal caliente.

Después de 24 h en cuarto frío (2 °C), en el lado izquierdo de la canal se realizó un corte transversal entre la 12^{va} y 13^{va} costilla, se midió el espesor de la grasa dorsal (mm) con un vernier digital (Absolute Digimatic 500, Mitutoyo Corporation; Japón); el área del ojo de costilla (cm²) se midió con regleta graduada de referencia (USDA, 1996); el grado de marmoleo se observó y se comparó con fotografías de referencia, el cual se expresó en las categorías de ligero, pequeño, modesto y moderado (USDA, 1996; 1997); la grasa alrededor de riñón, pelvis y corazón (RPC), se estimó visualmente y se expresó como porcentaje de la canal (USDA, 1996; 1997); el pH de la carne se midió en el músculo *Pectoralis profundus* con un potenciómetro equipado con electrodo de penetración (HI8314 membrane pH-meter; Hanna Instruments).

6.7. Análisis estadístico

El experimento se analizó como un Diseño en Bloques Completos al Azar (Hicks, 1973) y se consideró a cada corraleta (promedio de cinco animales) como la unidad experimental. Los datos fueron comparados por análisis de varianza (Hicks, 1973) y la separación de medias se efectuó con la prueba de la Diferencia Mínima Significativa (Hicks, 1973).

Los resultados con valores de alfa > 0.10 y ≤ 0.15 se consideraron como tendencia. La respuesta lineal o cuadrática a la adición de cromo fue valorada por medio de Polinomios Ortogonales (Hicks, 1973) y la respuesta global a la inclusión de cromo en las dietas se probó con Contrastes Ortogonales, dos contrastes fueron explorados:

1. Testigo (Cr-0.0) vs. Cromo adicional (Cr-0.15 y Cr-0.30)
2. Testigo (Cr-0.0) vs. Cr-0.15

Todos los cálculos estadísticos fueron desarrollados con la versión 9 del paquete computacional Statistix[®] (2007).

El modelo matemático (Hicks, 1973) que se utilizó fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_i + \tau_j + \epsilon_{ijk}$$

- Donde:
- Y_{ijk} = Variable de respuesta
 - μ = Media general
 - β_i = Efecto i-ésimo bloque
 - τ_j = Efecto j-ésimo nivel de cromo
 - ϵ_{ijk} = Error aleatorio (experimental)

Cuadro 1. Composición en base seca de las dietas que se utilizaron en el experimento.

Ingredientes	Dietas				
	Días 1 a 2	Días 3 a 14	Días 15 a 28	Días 29 a 76	Día 77 al final
Rastrojo de maíz	37.78	9.80	8.22	20.24	13.08
Ensilado de maíz poco grano	-	50.61	33.92	-	-
Maíz molido	30.62	18.61	41.90	63.54	67.83
Pasta de soya	12.76	11.75	7.39	4.53	3.01
Harina de carne (cerdo)	4.08	4.90	4.93	3.02	3.01
Melaza de caña	11.92	-	-	5.87	5.86
Sebo	-	-	-	-	4.42
Ganabuffer ¹	-	1.06	0.90	-	-
Ganamin Engorda Total S ²	2.84	3.27	2.74	-	-
Ganamin Engorda Total o UREA ²	-	-	-	2.8	2.79
Total	100%	100%	100%	100%	100%
Análisis calculado (Base Seca) ³					
Materia seca, %	88.15	45.94	54.79	89.2	89.56
Proteína cruda, %	15.50	15.15	13.83	14.09	12.93
Energía neta, Mcal/kg					
Mantenimiento	1.586	1.413	1.640	1.889	2.068
Ganancia	0.984	0.840	1.036	1.252	1.399

¹ Ganabuffer (Técnica Mineral Pecuaria, S.A. de C. V.), mezcla de agentes reguladores del pH.

² Ganamin Engorda Total S (Técnica Mineral Pecuaria, S.A. de C. V.) premezcla de vitaminas, minerales y aditivos, contiene monensina sódica (Rumensin 200; Elanco Animal Health, IN).

³ Calculado a partir de valores publicados (NRC, 2000).

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La influencia del consumo de cromo adicional en la ración a partir de propionato de cromo en la respuesta productiva de los toretes en engorda intensiva se presenta en el Cuadro 2. El consumo observado de cromo adicional como proporción de la dieta fue bastante cercano a lo programado, con valores de 0.15 y 0.31 mg de Cr/kg de MS para los tratamientos Cr-0.15 y Cr-0.30 respectivamente.

7.1. Crecimiento, días 1 a 77.

Durante los primeros 77 días en corral de engorda, la adición de Cr-0.15 incrementó ($P = 0.04$) en 3.5% el peso corporal, en relación a los toretes del grupo testigo y aumentó ($P < 0.01$) en 12.5% la ganancia diaria de peso (GDP) con respecto a los toretes que no recibieron cromo adicional. El incremento de la masa corporal es un indicador de los procesos de síntesis de las sustancias que integran los tejidos del animal, por lo que el aumento en relación a los animales que no recibieron cromo adicional, es atribuible a que la ingestión de cromo en cantidades adecuadas permitió la estabilización de la subunidad beta del receptor de insulina en las membranas de la células susceptibles a ella (Vincent, 2004) lo que posibilitó una mejoría en la transmisión intracelular de la señal de la insulina (Vincent, 2000) y entonces se pudieron manifestar en los toretes los efectos anabólicos que esta hormona manifiesta en los rumiantes (Sasaki, 2000).

El 12.5% de aumento en la GDP observado en el presente experimento con la dosis de 0.15 mg de Cr/kg de MS, durante los primeros 77 días de los toretes en el corral de engorda, es similar al 12.7% encontrado por Kegley *et al.* (1997), en novillos estresados por transporte al completar 80 días en corral y que recibieron 0.4 ppm de Cr a partir de nicotinato de Cr.

En general, durante los 77 días de la etapa de crecimiento, los toretes que recibieron cromo adicional (Cr-0.15 y Cr-0.30) manifestaron una ganancia de peso 9.5% mayor ($P < 0.01$) en relación a los animales del grupo testigo que no se les

proporcionó cromo adicional en la dieta, con valores de 1.553 vs. 1.700 kg/día para el testigo y los toretes alimentados con Cr suplementario, respectivamente.

La ganancia diaria de peso durante los primeros 77 días mostró un comportamiento cuadrático ($P = 0.02$), donde el valor más alto se observó en los toretes que recibieron Cr-0.15. Esta respuesta indica que la mejoría en GDP no es paralela al aumento en la dosis de Cr adicional, y que el nivel de inclusión de cromo a la ración en el que se puede esperar una mejor respuesta, es en cantidades cercanas a las 0.15 mg de Cr/kg de MS. La respuesta cuadrática a la inclusión de cromo en la ración de bovinos, ha sido observada previamente tanto en bovinos en engorda (Barajas *et al.*, 1999) como en vacas lecheras (Hayirly *et al.*, 2001).

El consumo de alimento no fue modificado ($P = 0.19$) durante los primeros 77 días por la inclusión de cromo adicional en la ración; sin embargo, se observó una tendencia ($P = 0.15$) cuadrática, en la que los animales que recibieron Cr-0.15 mostraron los valores más elevados de consumo. En la mayoría de las pruebas en que se ha ofrecido cromo adicional de diferentes fuentes orgánicas, el consumo de materia seca no se ha visto afectado (Chang y Mowat, 1992; Kegley *et al.*, 1997; Barajas *et al.*, 1999).

La conversión alimenticia (consumo/ganancia) tendió ($P = 0.12$) a ser mejorada en 8% por la adición de cromo en cualquiera de los niveles utilizados en esta prueba (5.16 vs. 4.74 kg/kg).

7.2. Finalización, días 78 a 189.

Durante la fase de finalización (días 78 a 189), la adición de cromo tendió ($P = 0.14$) a incrementar en 11% la GDP, con valores de 1.09 vs. 1.21 kg/día para el grupo testigo y los toretes que recibieron cromo adicional, respectivamente. El consumo de alimento y la conversión alimenticia no fueron afectados ($P > 0.20$) por los tratamientos. Existen pocos trabajos relacionados con el uso de cromo en la etapa final de la engorda; Barajas *et al.* (2008c) observaron un incremento de 14.7% en la ganancia diaria de peso y una mejoría de 12% en la conversión alimenticia sin cambio en el consumo de alimento en toretes que recibieron 0.2 ppm de cromo a

partir de metionina de cromo durante los últimos 34 días en la engorda. En tanto que Monterrosa *et al.* (2008), encontraron un aumento de 4.8% en ganancia de peso y una mejora de 4% en la conversión alimenticia de toros alimentados con 0.4 ppm de cromo adicional a partir de metionina de cromo durante los últimos 32 días previos al sacrificio, en ese mismo experimento los autores no apreciaron beneficio con la inclusión de 0.2 ppm de Cr.

7.3. Engorda completa, días 1 a 189.

En el experimento completo, con 189 días de duración, el peso final de los animales que recibieron la dosis de Cr-0.15 tuvieron un peso final 5.5% mayor ($P = 0.04$) que los del grupo testigo que no recibieron cromo adicional. En conjunto, los animales que recibieron cromo adicional (Cr-0.15 y Cr-0.30) en la dieta, tuvieron pesos finales superiores ($P = 0.03$) hasta en 5.2% más altos comparados con los que no recibieron cromo adicional, con valores de 469.8 vs. 494.0 kg para el testigo y los tratados con cromo, respectivamente. Se presentó una tendencia ($P = 0.11$) cuadrática del peso final en relación al nivel de inclusión de cromo en la dieta, en la que los toretes que recibieron Cr-0.15 mostraron los pesos más elevados.

La ganancia diaria de peso en el experimento completo fue 10.8% superior ($P = 0.02$) en los animales que recibieron cromo adicional comparados con los toretes del grupo testigo, con valores de 1.27 vs. 1.41 kg/día para el testigo y los suplementados con cromo adicional, respectivamente. La ganancia diaria de peso presentó un comportamiento cuadrático ($P = 0.05$) en relación al nivel de inclusión de cromo en la dieta, en el que los toretes que recibieron la dosis de Cr-0.15 tuvieron la GDP más alta (Cuadro 2). La respuesta cuadrática a la inclusión de niveles crecientes de cromo adicional a la dieta observada en este experimento, corresponde con la apreciada previamente por Barajas *et al.* (1999) en la GDP de becerros al inicio de la engorda, así como en la producción de leche y otras variables de vacas Holstein encontrada por Hayirly *et al.* (2001). Dicha respuesta cuadrática a la inclusión de cromo, sugiere que los animales responden positivamente a la adición de dosis bajas de cromo, debido a que en alguna medida se encuentran en un nivel

Cuadro 3. Los animales que recibieron el tratamiento Cr-0.15 tuvieron canales 5% más pesadas ($P = 0.09$) que los animales del grupo testigo. En tanto que los animales que recibieron cromo adicional en las dos dosis empleadas en este experimento (Cr-0.15 y Cr-0.30) tendieron ($P = 0.14$) a producir canales 4.7% más pesadas que los animales que no recibieron cromo adicional (306 vs. 320.5 kg). Pollard *et al.* (1999), encontraron que novillos que fueron alimentados con levadura rica en cromo en proporción a 0.2 mg de Cr/kg de alimento mostraron canales más pesadas, comparadas con las de novillos que recibieron 0.0 o 0.4 mg de Cr/kg de la misma fuente de cromo. En tanto que Luseba (2001) no apreció influencia de la adición de levadura rica en cromo en el peso de la canal de novillos en engorda. Barajas *et al.* (2008a) observaron un aumento de 6.8% en el peso de la canal de toretes que recibieron metionina de cromo en una engorda de 174 días durante la época fresca. En tanto que durante la época caliente el aumento en el peso de la canal de toretes que recibieron metionina de cromo durante 215 días fue 2.3% superior al de los toretes que no recibieron cromo adicional (Barajas *et al.*, 2008b).

El nivel de adición de cromo no modificó ($P > 0.60$) el rendimiento en canal, espesor de la grasa dorsal, grasa alrededor de riñón, pelvis y corazón, así como tampoco modificó el área del ojo de costilla ni grado de marmoleo. Luseba (2001) tampoco observó modificaciones en las características de la canal por la inclusión de levadura rica en cromo a la dieta de novillos en engorda. Con la adición de metionina de cromo, Barajas *et al.* (2008a; 2008b), no encontraron cambios en el área del ojo de costilla ni en el grado de marmoleo de toretes en engorda.

El pH medido en la carne a las 24 horas después del sacrificio no fue modificado por el nivel de cromo adicional ($P = 0.22$); resultados similares han sido reportados por Luseba (2001) y Barajas *et al.* (2008a; 2008b).

7.5. Respuesta inmune

La adición de cromo a la dieta no modificó ($P > 0.20$) la concentración de las inmunoglobulinas G y M en el suero de los becerros a los 28 días de haber iniciado el proceso de engorda en corral (Cuadro 4). Este resultado coincide con lo

observado por Kegley *et al.* (1997), quienes no encontraron influencia de la adición de cromo en forma de nicotinato de cromo en la concentración plasmática de inmunoglobulinas, en novillos que fueron estresados por manejo y transporte. En el presente trabajo, los becerros durante el proceso de acopio y transporte también fueron sometidos a elevados niveles de estrés por tiempo prolongado. Sin embargo, existen en la literatura una serie de trabajos, en los que la adición de cromo orgánico ha incrementado de manera consistente la concentración tanto de IgG como de IgM en los bovinos al inicio de la engorda (Chang y Mowat, 1992; Kegley y Spears, 1995; Almedia y Barajas, 2002).

Cuadro 2. Influencia del consumo de cromo adicional a partir de propionato de cromo en la respuesta productiva de becerros en engorda.

Variable	Cromo adicional, mg/kg			EE	Valor de P	Testigo vs. Cr	Efecto cuadrático
	0	0.15	0.30				
Animales, n	15	15	15				
Corrales, n	3	3	3				
Días	189	189	189				
Nivel de cromo, mg/kg de MS	0	0.15	0.31				
Peso vivo, kg							
Día 1	229.70	226.77	228.06	1.64	0.55	0.34	0.40
Día 77	349.31 ^b	361.47 ^a	355.33 ^{ab}	3.17	0.04	0.06	0.06
Peso final	469.80 ^b	495.86 ^a	492.17 ^{ab}	6.06	0.04	0.03	0.11
Ganancia de peso, kg/d							
Días 1-77	1.553 ^b	1.747 ^a	1.653 ^{ab}	0.03	< 0.01	0.01	0.02
Días 78-189	1.086	1.201	1.222	0.06	0.16	0.14	0.54
Días 1-189	1.273 ^b	1.423 ^a	1.398 ^a	0.03	0.03	0.02	0.05
Consumo de MS, kg/d							
Días 1-77	7.973	8.267	7.993	0.14	0.19	0.39	0.15
Días 78-189	7.760	8.471	8.205	0.36	0.42	0.23	0.31
Días 1-189	7.844	8.376	8.121	0.30	0.51	0.33	0.34
Consumo/ganancia, kg/kg							
Días 1-77	5.157	4.740	4.739	0.15	0.12	0.12	0.23
Días 78-189	7.217	7.053	6.716	0.35	0.61	0.47	0.84
Días 1-189	6.172	5.890	5.813	0.19	0.43	0.22	0.68
Experimento completo, Energía Neta de la dieta, Mcal/kg							
Mantenimiento	1.841	1.893	1.920	0.06	0.68	0.44	0.87
Ganancia	1.204	1.251	1.274	0.06	0.68	0.43	0.86
Experimento completo, observado/esperado energía neta							
Mantenimiento	0.94	0.96	0.98	0.03	0.78	0.54	0.93
Ganancia	0.95	0.97	0.99	0.05	0.78	0.53	0.92

a, b, c Medias con diferente letra en la misma fila varían estadísticamente con el valor de P declarado en la columna

Cuadro 3. Influencia del consumo de cromo adicional a partir de propionato de cromo en las características de la canal de bovinos en engorda.

Variable	Cromo adicional, mg/kg			EE	Valor de P	Testigo vs. Cr	Efecto cuadrático
	0	0.15	0.30				
Animales, n	15	15	15				
Peso final, kg	470 ^b	496 ^a	492 ^{ab}	6.06	0.04	0.03	0.11
Peso de canal, kg	306 ^b	322 ^a	319 ^{ab}	5.81	0.09	0.14	0.21
Rendimiento, %	65.3	64.9	64.9	0.53	0.99	0.92	0.99
Grasa de cobertura, mm	7.6	7.7	7.6	1.11	0.98	0.89	0.89
Área del ojo de costilla, cm ²	79.2	80.1	79.7	1.86	0.84	0.58	0.93
Grasa RPC, %	2.1	2.1	2.2	0.16	0.73	0.49	0.78
Marmoleo ¹	465	446	436	22.10	0.61	0.35	0.86
pH de la carne	6.40	6.48	6.36	0.05	0.22	0.71	0.11

¹ Código: Desprovisto = 300; Ligerito = 400; Pequeño = 500; Modesto = 600, etc.

a, b, c Medias con diferente letra en la misma fila varían estadísticamente con el valor de P declarado en la columna

Cuadro 4. Influencia de la suplementación con propionato de cromo en la concentración de Inmunoglobulinas G y M en suero sanguíneo.

Variable	Cromo adicional, mg/kg de MS		EE	Valor de P	Testigo vs. Cr	Efecto cuadrático
	0	0.15				
Toretas, n	15	15	15			
Inmunoglobulina G, mg/dL	1,042	966	1,081	0.81	0.91	0.55
Inmunoglobulina M, mg/dL	248	271	255	0.93	0.79	0.72

VIII. CONCLUSIONES

Los resultados de esta investigación indican que el consumo de cromo adicional a partir de propionato de cromo en las dietas, mejora la respuesta productiva, sin modificar la respuesta inmune ni las características de la canal de toretes en engorda intensiva. Las dosis de 0.15 mg de cromo/kg de Materia Seca a partir de propionato de cromo, promueven el mejor desempeño productivo de toretes en engorda intensiva.

IX. LITERATURA CITADA

- Almeida, L. and R. Barajas. 1999. Effect of vitamin E and chromium-methionine supplementation on serum levels of immunoglobulin G and M and aspartate aminotransferase enzyme in calves recently arrived to feedlot. *J. Anim. Sci.* Vol. 77 (Suppl. 1): 218(abstract).
- Almeida, L. and R. Barajas. 2002. Effect of chromium methionine and zinc methionine supplementation on blood concentration of immunoglobulin G and M and inflammatory response to a phytohemagglutinin in stressed feedlot calves. *J. Anim. Sci.* Vol. 80 (Suppl.1): 363-364 (abstract).
- AOAC. 1995. *Official Methods of Analysis 15th ed.* Association of Official Analytical Chemist. Washington, DC.
- Barajas, R, B.J. Cervantes, R. de J. Virgilio, L. Almeida, J.M. Romo, and J.C. Calderón. 2005a. Influence of chromium methionine supplementation on growth performance of medium stressed bull-calves during the receiving period in the feedlot. *Proceedings, Western Section, American Society of Animal Science.* Vol. 56:430-432.
- Barajas, R. and L. Almeida. 1999. Effect of vitamin E and chromium-methionine supplementation on growth performance response of calves recently arrived to feedlot. *J. Anim. Sci.* Vol. 77 (Suppl. 1): 269 (abstract).
- Barajas, R., A. Felix, and A. Estrada. 1999. Effect of level of chromium-methionine in receiving diets on growth performance of Brahman bull calves. *J. Anim. Sci.* Vol. 77 (Suppl. 1): 270 (abstract).
- Barajas, R., B.J. Cervantes, E.A. Velázquez, J.A. Romo, F. Juárez, and P.J. Rojas. 2008a. Chromium methionine supplementation on feedlot performance and carcass characteristics of bulls: I. Results during cool season in the northwest of Mexico. *Proceedings of Western Section of the American Society of Animal Science.* Vol. 59: 383-386.
- Barajas, R., B.J. Cervantes, E.A. Velázquez, J.A. Romo, F. Juárez, P.J. Rojas, and F.R. Peña. 2008b. Chromium methionine supplementation on feedlot

- performance and carcass characteristics of bulls: II. Results including trough hot and humid season in the northwest of Mexico. *Proceedings of Western Section of the American Society of Animal Science*. Vol. 59: 374-377.
- Barajas, R., B.J. Cervantes, J.A. Romo, P.J. Rojas, and E.A. Velázquez, 2008c. Influence of chromium methionine addition during last days in feedlot on performance and carcass characteristics of finishing bulls. *J. Anim. Sci.* Vol. 86 (E-Suppl. 2): 283 (abstract).
- Bunting, L.D., J.M. Fernandez, D.L. Thompson, Jr., and L.L. Southern. 1994. Influence of chromium picolinate on glucose usage and metabolic criteria in growing Holstein calves. *J. Anim. Sci.* 72: 1591-1599.
- Bunting, L.D., T.A. Tarifa, B.T. Crochet, J.M. Fernandez, C.L. Depew, and J.C. Lovejoy. 2000. Effects of dietary inclusion of chromium propionate and calcium propionate in glucose disposal and gastrointestinal development in dairy calves. *J. Dairy Sci.* 83: 2491-2498.
- Chang, X., and D.N. Mowat. 1992. Supplemental chromium for stressed and growing feeder calves. *J. Anim. Sci.* 70: 559-565.
- Chang, X., D.N. Mowat, and B.A. Mallard. 1995. Supplemental chromium and niacin for stressed feeder calves. *Can. J. Sci.* 75: 351-358.
- Consortium. 1988. *Guide for the Care and Use of Agricultural Animals in Agricultural Research and Teaching*. Consortium for Developing a Guide for the Care and Use of Agricultural Animals in Agricultural Research and Teaching. Champaign, IL.
- García, E. 1981. *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen*. 3^a ed. México, DF.
- Hayirly, A., D.R. Bremmer, S.J. Bertics, M.T. Socha, and R.R. Grummer. 2001. Effect of chromium supplementation on production and metabolic parameters in periparturient dairy cows. *J. Dairy Sci.* 84: 1218-1230.
- Hicks, C.R. 1973. *Fundamental concepts in the design of experiments*. Holt, Rinehart and Winston, New York.
- Jacquament, L., Y. Sun, J. Hatfield, W. Gu, S.P. Cramer, M.W. Crowder, G.A. Lorigan, J.B. Vincent, and J. Latour. 2003. Characterization of chromodulin by

- X-ray absorption and electron paramagnetic resonance spectroscopies and magnetic susceptibility measurements. *J. Am. Chem. Soc.* 125: 774-780.
- Jeejeebhoy, K.N. 1999. The role of chromium in nutrition and therapeutics and as a potential toxin. *Nutrition Reviews.* 5: 329-335.
- Kegley, E.B. and J.W. Spears. 1995. Immune response, glucose metabolism, and performance of stressed feeder calves fed inorganic or organic chromium. *J. Anim. Sci.* 73: 2721-2726.
- Kegley, E.B., D.L. Galloway, and T.M. Fakler. 2000. Effect of dietary chromium-L-methionine on glucose metabolism of beef steers. *J. Anim. Sci.* 78: 3177-3183.
- Kegley, E.B., J.W. Spears, and T.T. Brown Jr. 1997. Effect of shipping and chromium supplementation on performance, immune response, and disease resistance of steers. *J. Anim. Sci.* 75: 1956-1964.
- Loerch, S.C. and F.L. Fluharty. 1999. Physiological changes and digestive capabilities of newly received feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 77: 1113-1119.
- Lofgreen, G.P. and W.N. Garrett. 1968. A system for expressing net energy requirements and feed values for growing and finishing beef cattle. *J. Anim. Sci.* 27: 793-807.
- Luseba, D. 2001. The effect of selenium and chromium on stress level, growth performance, selected carcass characteristics, and mineral status of feedlot cattle. Ph. D. Dissertation, University of Pretoria, Onderstepoort, Republic of South Africa.
- Macar. C. 1998. Zilmax[®] en la industria de los bovinos productores de carne. En Resúmenes de las conferencias presentadas en el lanzamiento de Zilmax[®] en México. Hoechst Roussel Vet.
- McDowell, L.R. 1992. *Minerals in Animal and Human Nutrition.* Academic, Press New York.
- McNamara, J.P. and F. Valdez. 2005. Adipose tissue metabolism and production response to calcium propionate and chromium propionate. *J. Dairy Sci.* 88: 2498-2507.
- Monterrosa, V., R. Barajas, J.A. Romo, and B.J. Cervantes. 2008. Influence of chromium-methionine supplementation level during last 32 days on feedlot

- performance, carcass characteristics, and blood cortisol of finishing bulls. *J. Anim. Sci.* Vol. 86: (E-Suppl. 2): 283 (abstract).
- Moonsie-Shageer, S. and D.N. Mowat. 1993. Effect of level of supplemental chromium on performance serum constituents, and immune status of stressed feeder calves. *J. Anim. Sci.* 71: 232-238.
- Mowat, D.N., X. Chang, and W.Z. Yang. 1993. Chelated chromium for stressed feeder calves. *Can. J. Anim.Sci.* 73: 49-55.
- NRC. 1984. *Nutrient Requirements of Beef Cattle.* (6th Ed.) National Academy Press. Washington, D.C.
- NRC. 1997. *The role of chromium in Animal Nutrition.* National Academy Press. Washington, D.C.
- NRC. 2000. *Nutrient Requirements of Beef Cattle.* (7th Revised Ed.). National Academy Press. Washington, D.C.
- NRC. 2005. *Mineral Tolerance of Animals* (2nd Revised Ed.). National Academy Press. Washington, D.C.
- Pechova, A., J. Illek, M. Sindelar, and L. Pavlata. 2002. Effect of chromium supplementation on growth rate and metabolism in fattening bulls. *Acta Vet. BRNO*, 71: 535-541.
- Pollard, G.V., C.R. Richardson, and T.P. Karnezos. 1999. Effect of varying dietary chromium supplementation on growth and carcass characteristics of feedlot steers. *J. Anim. Sci.* Vol. 77 (Suppl. 1): 2 (abstract).
- Sasaki, S. 2002. Mechanism of insulin action on glucose metabolism in ruminants. *Animal Science Journal.* 73: 423-433.
- Schwarz, K. and W. Mertz. 1959. Chromium (III) and the glucose tolerance factor. *Archives of Biochemistry and Biophysics.* 85: 292-295.
- Statistix. 2007. *Statistix User's Manual, Release 9.0.* analytical Software, Tallahassee, FL.
- Summer, J.M., F. Valdez, and J.P. McNamara. 2007. Effects of chromium propionate on response to an intravenous glucose tolerance test in growing Holstein heifers. *J. Dairy Sci.* 90: 3467-3474.

- USDA. 1996. United States Standards for Grades of Slaughter Cattle. Agric. Marketing Service, USDA, Washington, D.C.
- USDA. 1997. United States Standards for Grades of Carcass Beef.
- Vincent, J.B. 1999. Mechanisms of chromium action: low-molecular-weight chromium-binding substance. *J. Am. Col. Nutr.* 18: 6-12.
- Vincent, J.B. 2000. The biochemistry of chromium. *J. Nutr.* 130: 715-718.
- Vincent, J.B. 2004. Recent advances in the nutritional biochemistry of trivalent chromium. *Proceedings of The Nutrition Society.* 63: 41-47.
- Yamamoto, A., O. Wada, and H. Suzuki. 1998. Purification and properties of biologically active chromium complex from bovine colostrum. *J. Nutr.* 118: 39-45.
- Zinn, R.A. 1987. Influence of lasalocid and monensina plus tylosin on comparative feeding value steam-flaked versus dry-rolled corn in diets for feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 65: 256-266.