

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA



**CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS
BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS**

DIVISIÓN DE CIENCIAS VETERINARIAS

POSGRADO INTERINSTITUCIONAL EN CIENCIAS PECUARIAS

TESIS

**“EFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN CON METIONINA DE CROMO EN LA
RESPUESTA PRODUCTIVA Y CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL DE TORETES
FINALIZADOS CON DIETAS ADICIONADAS CON CLORHIDRATO DE ZILPATEROL”**

QUE PRESENTA:

M.V.Z. VÍCTOR HUGO MONTERROSA DOMÍNGUEZ

COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE

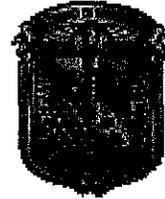
MAESTRO EN CIENCIAS PECUARIAS

COMITÉ TUTORIAL:

**DIRECTOR: Dr. RUBÉN BARAJAS CRUZ
Dr. JOSÉ MANUEL PALMA GARCÍA
Dr. JOSÉ MEJIA HARO**

LAS AGUJAS, NEXTIPAC, ZAPOPAN, JAL., JULIO DE 2008

POSGRADO INTERINSTITUCIONAL EN CIENCIAS PECUARIAS



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE AGUASCALIENTES
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

UNIVERSIDAD DE COLIMA
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS

UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO
INSTITUTO DE CIENCIAS AGRICOLAS

TESIS

**“EFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN CON METIONINA DE CROMO EN
LA RESPUESTA PRODUCTIVA Y CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL DE
TORETES FINALIZADOS CON DIETAS ADICIONADAS CON
CLORHIDRATO DE ZILPATEROL”**

QUE PRESENTA

M.V.Z. VÍCTOR HUGO MONTERROSA DOMÍNGUEZ

COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS PECUARIAS

LAS AGUJAS, NEXTIPAC, ZAPOPAN, JAL., JULIO DE 2008



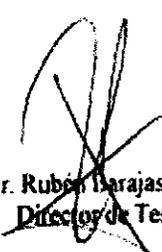
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

Culiacán, Sinaloa a 02 de Mayo de 2008

Dra. Esther Albarrán Rodríguez
Coordinadora
Posgrado Interinstitucional en Ciencias Pecuarias
Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias
Universidad de Guadalajara
Presente.

Por medio del presente le comunico que he revisado y estoy de acuerdo con la forma y contenido del trabajo de tesis de maestría: "EFECTO DE LA SUPLEMENTACION CON METIONINA DE CROMO EN LA RESPUESTA PRODUCTIVA Y CARACTERISTICAS DE LA CANAL DE TORETES FINALIZADOS CON DIETAS ADICIONADAS CON CLORHIDRATO DE ZILPATEROL" del alumno M.V.Z. Víctor Hugo Monterrosa Domínguez. Por lo antes mencionado no tengo inconveniente en que siga con sus trámites del proceso de obtención de Grado.

Sin otro particular por el momento, quedo de Usted


Dr. Rubén Barajas Cruz
Director de Tesis

C. DR _____
DIRECTOR DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y
AGROPECUARIAS
UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
PRESENTE

At'n _____
Subdirector de Posgrado e Investigación CUCBA-UdeG

Los suscritos Dr. Rubén Barajas Cruz, Dr. José Manuel Palma García y Dr. José Mejía Haro. Integrantes del Consejo Tutelar para revisar, ordenar y asesorar la tesis de Maestría en Ciencias Pecuarias titulada:

**"EFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN CON METIONINA DE CROMO EN LA
RESPUESTA PRODUCTIVA Y CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL DE TORETES
FINALIZADOS CON DIETAS ADICIONADAS CON CLORHIDRATO DE ZILPATEROL"**

Que presenta ante el Honorable Jurado Calificador el C. Medico Veterinario y Zootecnista

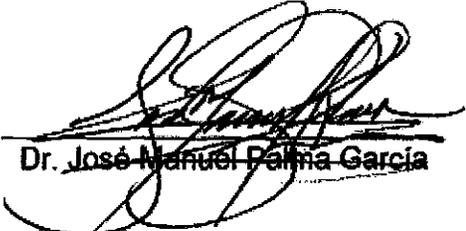
VÍCTOR HUGO MONTERROSA DOMÍNGUEZ

Comparecemos ante usted para manifestar que después de revisar los aspectos de forma y contenido, no existe inconveniente para continuar con los trámites legales de este proceso de obtención de Grado, autorizando su impresión.

ATENTAMENTE

Guadalajara, Jalisco a 2 de junio de 2008

Dr. Rubén Barajas Cruz



Dr. José Manuel Palma García

Dr. José Mejía Haro



Irapuato, Gto. a 06 de Mayo de 2008

Dra. Esther Albarrán Rodríguez
Coordinadora
Posgrado Interinstitucional en Ciencias Pecuarias
Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias
Universidad de Guadalajara
Presente.

Por medio del presente le comunico que he revisado y estoy de acuerdo con la forma y contenido del trabajo de tesis de maestría: **“EFECTO DE LA SUPLEMENTACION CON METIONINA DE CROMO EN LA RESPUESTA PRODUCTIVA Y CARACTERISTICAS DE LA CANAL DE TORETES FINALIZADOS CON DIETAS ADICIONADAS CON CLORHIDRATO DE ZILPATEROL”** del alumno M.V.Z. Víctor Hugo Monterrosa Domínguez. Por lo antes mencionado no tengo inconveniente en que siga con sus trámites del proceso de obtención de Grado.

Sin otro particular por el momento, quedo de Usted

Atentamente

Dr. José Mejía Haro
Asesor

DEDICATORIAS

Quiero dedicar este trabajo:

A mi esposa Dinorah por todo el cariño, impulso y apoyo que me ha brindado para éste y todos los objetivos que hemos pasado juntos, a mi hija Natalia, con tu llegada nos hiciste ser mejores seres humanos y espero darte el mejor de los ejemplos, a mis padres por la herencia de trabajo, respeto y honestidad que me dieron. A mis hermanos por su apoyo continuo.

Al Dr. Rubén Barajas y al Lic. Enrique Fernández por todo su valioso apoyo y que sin su ayuda no hubiera podido realizar esta etapa importante en mi formación.

A todos mis amigos por su ayuda a lo largo de mis estudios, así como sus consejos y por todo el tiempo que me han dedicado en algunas etapas de mi vida.

A mis asesores de trabajo de tesis por su valiosa ayuda y por todo el tiempo que me dedicaron a lo largo de todo el proyecto.

A todos mis maestros y compañeros que no aparecen aquí pero que siempre los tengo presentes como ejemplo para seguir adelante en mi formación profesional.

De todo corazón

Víctor Hugo Monterrosa Domínguez

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer:

A todas las Universidades que forman parte del Posgrado Interinstitucional en Ciencias Pecuarias por darme la oportunidad de continuar con mi desarrollo profesional. Especialmente a la Universidad de Guadalajara por la oportunidad de formar parte de ella.

Al Comité Tutorial conformado por el director de tesis Dr. Rubén Barajas Cruz y por los doctores José Manuel Palma García y José Mejía Haro, por su valiosa colaboración en la revisión y sus muy acertadas sugerencias y comentarios que me llevaron a enriquecer y finalizar este trabajo.

A la Dra. Esther Albarrán Rodríguez por su valiosa ayuda y apoyo en estos últimos años.

Al Sr. Jesús Sánchez Buenrostro por su apoyo y amistad en la realización del proyecto en su rancho.

Al Sr. Carlos Romo Romo por su apoyo con los animales usados.

Al Rastro Municipal de Guadalajara por todas sus facilidades.

A la empresa Técnica Mineral Pecuaria S. A. de C.V. por la oportunidad que me brindó.

A mis compañeros de trabajo que me ayudaron y cubrieron durante mis ausencias.

Y a todas aquellas personas que no aparecen pero que dedicaron parte de su tiempo y ayuda en la realización de este trabajo.

Gracias a todos ellos,
Víctor Hugo Monterrosa Domínguez.

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Página
PORTADA	i
PORTADILLA	ii
VOTOS APROBATORIOS	iii,iv,v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTOS	vii
ÍNDICE GENERAL	viii
ÍNDICE DE CUADROS	ix
ABREVIATURAS Y SIGLAS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	2
2.1. Generalidades	2
2.2. Metabolismo del cromo	3
2.3. Fuentes de cromo	5
2.4. El cromo y el estrés	6
2.4.1. El cortisol y el estrés	6
2.5. El cromo, su efecto en la producción animal	7
2.5.1. No Rumiantes	7
2.5.2. Rumiantes	8
2.6. El cromo y la canal.	9
2.6.1. Color de carne y pH	9
2.7. Agonistas beta adrenérgicos	11
3. HIPÓTESIS	12
4. OBJETIVOS	13
5. MATERIALES Y MÉTODOS	14
5.1. Localización	14
5.2. Animales	14
5.3. Procedimiento experimental	14
5.4. Análisis estadístico	16
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	17
6.1. Respuesta productiva	17
6.2. Características de la canal	19
6.3. Cortisol	19
7. CONCLUSIONES	21
8. LITERATURA CITADA	22

ÍNDICE DE CUADROS

Contenido	Página
CUADRO 1 Composición de las dietas usadas en el experimento	16
CUADRO 2 Efecto del nivel de cromo adicional en la dieta en la respuesta productiva de toretes en finalización adicionadas con clorhidrato de zilpaterol	18
CUADRO 3 Efecto del nivel de cromo adicional en la dieta en las características de la canal de toretes en finalización adicionadas con clorhidrato de zilpaterol	20

ABREVIATURAS Y SIGLAS

cm ²	Centímetros cuadrados
cm	Centímetros
m	Metros
mm	Milímetros
ug	Microgramo
mg	Miligramo
g	Gramo
kg	Kilogramo
mL	Mililitro
dL	Decilitro
Dr	Doctor
Dra	Doctora
Lic	Licenciado
M.V.Z.	Médico Veterinario Zootecnista
°C	Grados centígrados
Jal	Jalisco
S.A.	Sociedad Anónima
C.V.	Capital Variable
%	Porcentaje
ppm	Partes por millón
RPC	Riñón, pelvis y corazón
Co.	Corporation
pH	Potencial de hidrógeno
FTG	Factor de tolerancia a la glucosa
NRC	Consejo Nacional de Investigación
<i>et al</i>	<i>et alii</i> Y otros
TSH	Hormona estimulante de la tiroides
ACTH	Hormona adrenocorticotrópica
ATP	Trifosfato de adenina
°	Grados
'	Minutos
®	Marca registrada
Mcal	Megacalorías
ENm	Energía neta de mantenimiento
ENg	Energía neta de ganancia
ER	Energía retenida
MS	Materia seca
ANOVA	Análisis de varianza
COV	Covarianza
EEM	Error estándar de la media
CA	Conversión alimenticia
GDP	Ganancia diaria de peso

Efecto de la suplementación con metionina de cromo en la respuesta productiva y características de la canal de toretes finalizados con dietas adicionadas con clorhidrato de zilpaterol

RESUMEN

Monterrosa Domínguez Víctor Hugo, Barajas Cruz Rubén, Palma García José Manuel, Mejía Haro José.

El cromo se considera un elemento traza esencial en humanos y animales para el metabolismo de los carbohidratos, lípidos y proteínas. Con el objetivo de determinar el efecto de la suplementación con metionina de cromo en la respuesta productiva y en las características de la canal de toretes finalizados con dietas adicionadas con clorhidrato de zilpaterol, se llevó a cabo un experimento en corral de engorda. Se emplearon 45 toros con peso de 485 ± 10.2 kilogramos en una proporción aproximada de 50% *Bos taurus* y 50% de *Bos indicus* provenientes de un periodo previo de engorda de 90 días. Los animales en grupos de cinco fueron alojados en corrales con piso de cemento, de acuerdo a un diseño de bloques completos al azar se les asignó a recibir durante 32 días uno de tres tratamientos: 1) Dieta con base de maíz molido, pasta de canola, melaza de caña, semilla de algodón y forraje adicionadas con clorhidrato de zilpaterol (control), 2) dieta similar al control suplementada con 0.200 ppm de cromo a partir de metionina de cromo (Microplex®, Zinpro Co.), 3) dieta similar al control suplementada con 0.400 ppm de cromo a partir de metionina de cromo (Microplex®, Zinpro Co.). Las variables medidas fueron consumo de alimento, ganancia de peso, conversión alimenticia, energía retenida; concentración plasmática de cortisol al degüello, peso y rendimiento de la canal fría, espesor de la grasa dorsal, área del ojo de chuleta, grasa en riñón, pelvis y corazón (RPC) y pH muscular. La suplementación con 0.4 ppm de cromo mejoró ($P = 0.06$) la ganancia de peso del periodo y la ganancia diaria de peso, y la conversión alimenticia ($P = 0.03$), el consumo de materia seca no fue afectado ($P = 0.29$) por los tratamientos, la energía retenida mejoró en forma lineal ($P < 0.06$) a medida que se aumentó la concentración de cromo adicionada. El rendimiento de la canal, área de ojo de chuleta, grasa en riñón, pelvis y corazón, marmoleo, y pH de la carne fueron similares entre los tratamientos ($P > 0.40$). La inclusión de 0.2 ppm de cromo disminuyó ($P = 0.10$) el espesor de la grasa dorsal. La adición de cromo a la dieta (0.2 y 0.4 ppm) disminuyó ($P = 0.02$) la concentración sanguínea de cortisol en relación al testigo. Se concluye que la inclusión de 0.4 ppm de cromo adicional durante los últimos 32 días del periodo de finalización a dietas con zilpaterol mejora la respuesta productiva y disminuye los niveles de cortisol sin modificar las características de la canal de toretes.

Palabras clave: Cromo, bovinos en engorda, cortisol, canal

Effect of chromium methionine supplementation on productive response and carcass characteristics of bulls finished with zilpaterol hydrochloride-added diets

ABSTRACT

Monterrosa Domínguez Víctor Hugo, Barajas Cruz Rubén, Palma García José Manuel, Mejía Haro José.

Chromium is considered an essential trace element in humans and animals for carbohydrates, lipids and proteins metabolism. The objective was to determine the effect of chromium methionine supplementation in the productive response and carcass characteristics of bulls finished with zilpaterol hydrochloride-added diets. A feedlot experiment was conducted. Forty five bulls with 485 ± 10.2 kg and blood proportion of 50% *Bos taurus* and 50% *Bos indicus* coming from a 90 days-previous fattening period were used. Animals in groups of five were placed in concrete floor pen, agreements with a completely randomized block design were assigned to receive during 32 days one of three treatments: 1) Diet with maize, canola meal, sugar cane molasses, cotton seed, and forage added with zilpaterol hydrochloride (control). 2) Diet similar to the control supplemented with 0.200 ppm of chromium from chromium methionine (Microplex®, Zinpro Co.). 3) Diet similar to the control supplemented with 0.400 ppm of chromium from chromium methionine (Microplex®, Zinpro Co.). Measured variables were feed intake, weight gain, feed conversion and retained energy; plasmatic cortisol concentration at bleeding time, cold carcass weight and dressing, back fat thickness, the rib eye area; kidney, pelvic and heart fat (KPH), and muscle pH. Chromium 0.4 ppm supplementation improved ($P = 0.06$) period weight gain and average daily gain, and feed conversion ($P = 0.03$). Dry matter intake was not affected ($P = 0.29$) by treatments. Retained energy was linearly enhanced ($P < 0.06$) as additional chromium concentration was increased. Carcass dressing, rib eye area, KPH-fat, marbling, and muscle pH were similar across treatments ($P > 0.40$). Chromium 0.2 ppm addition decreased ($P = 0.10$) back fat thickness. Chromium supplementation (0.2 and 0.4 ppm) diminished ($P = 0.02$) blood cortisol concentration relative to control. It is concluded that inclusion of 0.4 ppm of additional chromium during last 32 days of finishing period to diets containing zilpaterol improves performance and diminishes cortisol level without modifies carcass characteristics of bulls

Key words: Chromium, feedlot cattle, cortisol, carcass

1. INTRODUCCIÓN

La alimentación con dietas altas en grano a los bovinos de engorda en finalización puede ser causante de una serie de disturbios metabólicos, las dietas ricas en carbohidratos disminuyen la sensibilidad de la insulina en las células susceptibles (Mowat, 1997., Andersen, 1999). La disminución del pH ruminal asociada a la alimentación con granos (Cooper et al., 1999; Schwartzkopf-Genswein et al., 2004) puede inducir un estrés metabólico. Adicionalmente el empleo de agentes anabólicos β -adrenérgicos como el clorhidrato de zilpaterol incrementa la demanda metabólica (Hui et al., 2001; Johnson, 2004) y el estrés asociado a ella en este tipo de animales. La adición de cromo orgánico a las dietas de los bovinos al inicio de la engorda ha probado ser de utilidad para revertir algunos efectos del estrés, disminuye el cortisol en sangre (Chang et al., 1994; Almeida y Barajas, 2002; Moonsie-Shageer y Mowat, 1993), mejora la respuesta inmune (Kegley et al., 1996; Barajas y Almeida, 1999; Tomlinson et al., 2004), también promueve la utilización de la glucosa (Bunting et al., 1994; Pollard et al., 2001). Adicionalmente los beneficios se reflejan en un aumento en la ganancia de peso (Kegley et al., 1997a; Barajas y Almeida, 1999; Barajas et al., 1999), conversión alimenticia (Chang et al., 1994; Barajas et al., 2005a) y mayor retención de la energía del alimento (Barajas et al., 2005a; Barajas et al., 2005b). Esos efectos del cromo se explican por su capacidad para potenciar la acción de la insulina (Jeejeebhoy, 1999; Pechova y Pavlata, 2007), al formar parte de un sistema de autoamplificación de la señal de la insulina (Vincent, 2000a). No existe información relacionada con la influencia de la adición de cromo en la dieta de los bovinos durante sus últimos días en finalización, por lo que se planteó la hipótesis, que la adición de metionina de cromo en la dieta mejora la respuesta productiva y las características de la canal de toretes finalizados con dietas adicionadas con clorhidrato de zilpaterol.

Este trabajo se llevó a cabo con el objetivo de determinar el efecto del nivel de adición de metionina de cromo en la dieta, sobre la respuesta productiva y características de la canal, de bovinos finalizados con dietas adicionadas con clorhidrato de zilpaterol

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. GENERALIDADES.

El cromo es un elemento natural que se encuentra en rocas, animales, plantas, suelo; está presente en el medio ambiente y es el número 21 en cuanto a abundancia sobre la corteza terrestre, su contenido promedio en el suelo como cromita, es de alrededor de 250 $\mu\text{g}/\text{kg}$ y entre 100 a 500 $\mu\text{g}/\text{kg}$ en las plantas, en los alimentos oscila entre 20 y 590 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (Jeejeebhoy, 1999). Elemento químico, símbolo Cr, número atómico 24, peso atómico 51.996; metal que es de color blanco plateado, duro y quebradizo. El cromo elemental no se encuentra en la naturaleza (Alvarado *et al.*, 2002). Las formas más comunes son el estado de acuerdo a sus formas diferentes de oxidación y valencia; el cromo II (divalente), el cromo III (trivalente) y el cromo VI (hexavalente). El cromo III, el cual existe más en la naturaleza y es el estado más estable, el cromo VI rápidamente se reduce en cromo III en un ambiente ácido como el estómago; predomina en la mayoría de los sistemas biológicos, asociado fuertemente con proteínas, ácidos nucleicos y en una variedad de compuestos de bajo peso molecular y se presume es la forma en que se suplementa con los alimentos, aunque, su presencia es reducida en estos últimos (Lukaski, 1999). El cromo VI es un producto de la manufactura del acero inoxidable, pigmentos, cromados y otros productos industriales, en el curtido de la piel y sus principales usos son la producción de aleaciones anticorrosivas de gran dureza y resistentes al calor y como recubrimiento para galvanizados. Es fuertemente oxidativo, por lo que produce fuerte irritación local y es reconocido como neurotóxico y carcinógeno cuando es inhalado y es de 10 a 100 veces más tóxico que el Cr trivalente (Alvarado *et al.*, 2002; Institute of Medicine Staff (CB) 2002; Lamson y Plaza, 2002).

Desde 1950 Schwartz y Mertz, mostraron que el cromo es importante en la expresión de la tolerancia a la glucosa y que la deficiencia de cromo, induce una falla en la utilización de la glucosa (Jeejeebhoy, 1999).

Se considera un elemento traza esencial en humanos y animales, tiene una función importante en el metabolismo de la insulina, antes conocido como factor de tolerancia a la glucosa (FTG) (NRC, 1997). Tiene efecto en el metabolismo de carbohidratos, lípidos y proteínas (Mertz, 1993; Vincent, 2000b; Engle *et al.*, 2005; Tomlinson y Socha, 2005; Socha *et al.*, 2005). Su deficiencia provoca un deterioro del metabolismo de la glucosa

debido a la mala eficiencia de la insulina. El deterioro de la tolerancia a la glucosa es el primer síntoma de esta deficiencia en animales de experimentación y es posible que sea una de las causas de la intolerancia a la glucosa en los humanos, la manera en que el ser humano puede obtener este elemento es a través del consumo de alimentos ricos en cromo. La Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos (NRC) recomienda una dosis segura y adecuada de cromo de 50-200 μg como consumo diario en las dietas de los humanos (Berner *et al.*, 2004), que se han caracterizado por ser muy pobres en este elemento, pues el consumo promedio diario es de 50-80 μg , lo cual se considera insuficiente y esta deficiencia en el consumo de cromo está asociada con signos y síntomas similares a los que se observan en la diabetes y enfermedades cardiovasculares (Alvarado *et al.*, 2002; Preuss y Anderson, 1998). Recientemente, el cromo ha sido recomendado como un agente para incrementar el tejido magro y disminuir el porcentaje de grasa corporal (Kobla y Volpe, 2000).

La deficiencia de cromo es difícil de establecer y las concentraciones de cromo en suero, no son recomendadas para ser usadas como un indicador del estatus del cromo en personas que respondieron adecuadamente a la complementación de cromo (Bahijri, 2000; NRC, 1997; Vincent, 2004).

El estatus del cromo en los animales, es difícil de determinar porque el establecimiento de las necesidades de cromo en las dietas para un óptimo desempeño de los animales no es claro, debido, a la carencia de literatura pertinente (NRC, 1996; Engle *et al.*, 2005).

2.2. METABOLISMO DEL CROMO.

La función bioquímica específica del cromo aún no está bien definida, sin embargo está muy estrechamente asociada con la acción de la insulina y la utilización de la glucosa. La forma biológicamente activa del cromo, usualmente se ha referido como el factor de tolerancia a la glucosa (FTG) y ha sido propuesto como un complejo de cromo, glicina, cisteína, ácido glutámico y ácido nicotínico (Bunting, 1999).

Se propuso un mecanismo de acción recientemente, así que después de su absorción a nivel del tracto gastrointestinal, mecanismo, aún no claro, existen factores sistémicos y dietéticos que influyen en su utilización. El consumo de oxalato, ácido nicotínico y ascórbico, la deficiencia de zinc, manganeso, hierro y la diabetes incrementan su absorción, mientras que el fitato y la vejez disminuye su absorción (Lukaski, 1999). Ya en la circulación sanguínea, lo más probable, es que el cromo sea transportado a las células

por el plasma, unido a una proteína llamada transferrina y al saturarse ésta se une, a una albúmina (Vincent, 2000a). Absorbido el cromo es distribuido en compartimentos de rápida, media y baja rotación (NRC, 1997). Estudios externos muestran que órganos como el hígado, bazo, tejidos blandos y huesos contienen de los tres tipos de compartimentos, estos modelos nos indican que los tejidos toman y liberan cromo a diferentes niveles y que no se acumula en forma tóxica (Jeejeebhoy, 1999). La insulina inicia el transporte del cromo hacia el interior de la célula, donde éste es unido a un oligopéptido de bajo peso molecular que consiste en niacina, glicina, cisteína, glutamato y aspartato (Vincent, 1999). Llamado apocromodulina. Este oligopéptido combinado con cuatro moléculas de cromo (III) forman una sustancia de bajo peso molecular, cercano a los 1,500 Daltons, conocida como holocromodulina, es el candidato más viable para ser la forma biológicamente activa del cromo III, la cual es un amplificador importante del efecto de señalización de la insulina (Vincent, 1999; Racek, 2003; Vincent, 2004). Después de unirse la insulina al receptor activado, la holocromodulina incrementa la actividad de la enzima proteica tirosina cinasa (Fosforilación de la tirosina mediada por el receptor de la insulina) Miranda y Dey (2004). Esta enzima forma parte de la porción intracelular del receptor de la insulina. La amplificación post receptor de la señalización de la insulina por los compuestos de cromo biológicamente activos, también fue postulado (Debsky *et al.*, 2004). La cromodulina funciona como parte de un sistema de autoamplificación que envía la señal de la insulina al interior de la célula permitiendo el paso de glucosa al interior de célula susceptible mediante la facilitación de receptores Glut 4 principalmente, cuando los niveles de insulina descienden y la señal es desactivada, la holocromodulina es excretada de la célula a la sangre y esta es eliminada por orina (Vincent, 2000a).

En el caso de una deficiencia de cromo, el receptor no puede unirse a la insulina, resultando en un aumento de la concentración de glucosa, la cual estimula, aún más, la liberación de más insulina para poder nivelar la concentración de glucosa en la sangre (Debsky *et al.*, 2004).

La excreción de cromo es generalmente por vía urinaria y ésta se incrementa por el resultado de una sobre carga de glucosa y también se eleva la excreción de cromo después de la administración de insulina, por ejercicio, estrés y traumatismos (Jeejeebhoy, 1999; Pechova y Pavlata, 2007). Se ha encontrado una excreción importante de cromo orgánico en la bilis (Lukaski, 1999), el cromo no absorbido es excretado en las heces (Vincent, 2004).

2.3. FUENTES DE CROMO.

La carne, cereales y sus subproductos, chícharos, brócoli, especias, levadura de cerveza son algunos de los productos ricos en cromo, alimentos altos en azúcares simples son bajos en cromo y aumentan su excreción (Lukaski, 1999).

Los forrajes de corte y harinas de carnes son más altos en cromo que los granos y proteínas vegetales y aunque los niveles de cromo pueden ser altos en forrajes como el ensilado de maíz, su digestibilidad es muy baja y esta puede ser debido, a que la fuente de cromo, es por contaminación, por contacto con el metal de la maquinaria procesadora, el manejo y procesamiento en el laboratorio de la muestra (NRC, 1997; Bunting, 1999).

Varias formas de suplementar el cromo se estudian en las dietas, al menos en cerdos se estudia que la forma química del cromo influye en los resultados, siendo la forma orgánica, la de mejor desempeño sobre las formas inorgánicas (Bunting *et al.*, 1994; Jeejeebhoy, 1999). Entre estas se incluyeron: complejo cromo-ácido nicotínico, tripicolinato de cromo, levaduras altas en cromo, complejos aminoácido- cromo según Anderson *et al.* (2004) la mejor fuente y cloruro de cromo (Kegley y Spears, 1999) y todas éstas, se consideran bastante seguras (Berner *et al.*, 2004); el óxido de cromo es biológicamente inactivo e insoluble y no se absorbe a nivel gastrointestinal y es considerado como un marcador ideal de digestibilidad por su pobre absorción (Ng y Wilson, 1997; Jeejeebhoy, 1999). Las respuestas son variadas en los pocos estudios comparando diferentes fuentes de suplementación y también hay un problema por el poco conocimiento en cuanto a la disponibilidad del cromo en los alimentos usuales del ganado (Kegley y Spears, 1999).

Los compuestos de cromo inorgánico son pobremente absorbidos en animales (0.4-3.0%) independientemente de la dosis y del estatus dietario del cromo (Bunting, 1999), Chang *et al.* (1994) demostraron que el cromo orgánico es más efectivo que el cromo inorgánico.

El cromo hexavalente es mucho más tóxico que su forma trivalente, el Cr (III) cuenta con un alto grado de seguridad en las dosis usadas convencionalmente, aunque se ha encontrado que el picolinato de cromo puede conducir a una falla renal en ratas y humanos; el picolinato *per se* provocó mutagénesis en células ováricas de hámster chino (Lukaski, 1999), éste efecto indeseable sobre la función renal, no se presentó, en el trabajo de Juárez *et al.* (2006) utilizando metionina de cromo en ovinos.

2.4. EL CROMO Y EL ESTRÉS.

Un estrés crónico puede alterar los requisitos de los micronutrientes como el cromo, el exceso de glucosa, el consumo de dietas ricas en azúcares simples, alimentos procesados (Mowat, 1997; Andersen, 1999), la lactancia, diferentes infecciones, el trauma físico y el ejercicio agudo se consideran como acciones que incrementan la circulación de glucosa, así como un incremento de la concentración de insulina, que altera el metabolismo de cromo, estas condiciones aumenta su excreción en forma irreversible por medio de la orina y se cree que es en forma de Cromodulina (Burton, 1995; Mowat, 1997; Vincent, 2004) y la suplementación disminuye el retraso del deterioro de la tolerancia a la glucosa en personas mayores y con diabetes, aunado a que magnifica la acción de la insulina (Alvarado *et al.*, 2002).

Es conocido que el estrés reduce la respuesta productiva de los bovinos (Morrison, 1983) y afecta la calidad de la canal (Luseba, 2001).

Durante los períodos de estrés, ejercicio extenuante y el transporte, la excreción urinaria de cromo aumenta de 10 a 300 veces, así como también aumentan los niveles circulantes de cortisol (Debski *et al.*, 2004; Pechova y Pavlata, 2007).

2.4.1. El cortisol y el estrés

En los humanos y en la mayoría de los mamíferos el cortisol es el principal glucocorticoide producido por la corteza adrenal (Carrol y Forsberg, 2007)

El cortisol actúa antagonicamente con la insulina, reduciendo la sensibilidad de la insulina a la toma de glucosa por el tejido periférico, ahorrándola para los tejidos con mayor demanda. La toma de glucosa reducida por el tejido periférico resulta en una movilización aumentada del tejido corporal conforme el animal intenta cubrir sus necesidades de energía, se incrementa la glucogenolisis y la gluconeogénesis, aumentando la movilización de ácidos grasos. Además, el cortisol también es considerado como un inmunosupresor y reduce la síntesis de proteína (Bunting, 1999; Tomlinson *et al.*, 2004).

El cortisol puede disminuir la actividad de las hormonas tiroideas al inhibir directamente la estimulación de la hormona pituitaria (TSH) y puede suprimir a la 5' deiodinasa, la cual convierte la menos activa T4 a la forma más activa de las hormonas tiroideas la T3. Los glucocorticoides como el cortisol inducen a un aumento en la degradación proteica del músculo y puede bajar el consumo de alimento (Larson, 2005; Burton, 1995). La exposición crónica a altas concentraciones de glucocorticoides puede provocar severos

problemas fisiológicos como un excesivo catabolismo de proteínas, hiperglicemia, inmunodepresión y depresión (Carrol y Forsberg, 2007).

Los bovinos en la etapa de la engorda son sometidos a niveles no determinados de estrés, como en algunos casos la castración, el destete, transportación, enfermedades, mezclas sociales, dietas inadecuadas y cambios en la dieta que pueden ser fuentes de estrés en el ganado bovino, provocando un desempeño reducido, incrementando la morbilidad y mortalidad (Carrol y Forsberg, 2007), debido a la alimentación con dietas altas en grano que tienden a disminuir el pH ruminal (Klopfenstein *et al.*, 1991; González, 1994), por la aplicación de implantes hormonales anabólicos que modifican el metabolismo intermedio, aumentan la deposición de tejido magro por una hipertrofia de las fibras musculares y disminuyen la de grasa (González, 1994; Hui *et al.*, 2001), así como por la adición en la dieta de productos agonistas β -adrenérgicos como el clorhidrato de zilpaterol o el clorhidrato de ractopamina, en conjunto incrementan la síntesis proteica en músculo y/o disminuyen el catabolismo de las proteínas (Johnson, 2004). En adición el hacinamiento y la insuficiente provisión de sombra durante el verano también contribuyen a incrementar los niveles de estrés en estos animales (Barajas *et al.*, 2004). La suplementación con cromo muestra ser efectiva para disminuir los efectos nocivos del estrés, disminuyendo los niveles de cortisol y mejorando la respuesta inmune (Chang y Mowat, 1992; Kegley y Spears, 1995; Kegley *et al.*, 1996; Almeida y Barajas, 2002; Arthington, 2005). Existen algunos resultados en los que no tiene efecto el cromo suplementado sobre la inmunidad (Spears, 2000; Weiss, 2005). La suplementación con cromo puede ayudar a mediar la función inmune observada durante los períodos de estrés, no sólo reduciendo los niveles circulantes de cortisol, sino también aumentando la producción de inmunoglobulinas (Tomlinson *et al.*, 2004).

2.5. EL CROMO, SU EFECTO EN LA PRODUCCIÓN ANIMAL.

Frecuentemente la disminución del estrés también se manifiesta en una mejora en la respuesta productiva (Moonsie-Shageer y Mowat, 1993). Aditivos alimenticios de origen natural como el cromo puede mejorar la relación grasa:tejido magro bajo circunstancias específicas (Sillence, 2004).

2.5.1. No Rumiantes

El efecto de la adición de cromo en la deposición de proteína, metabolismo de la glucosa, el contenido de grasa en canales y parámetros sanguíneos, en estudios con cerdos

Anderson *et al.* (1997), así como Lemme *et al.* (2000) no reportan efectos significativos; Mathews *et al.* (2003) hallaron efectos inconsistentes en la calidad de la canal, igual que Van de Ligt *et al.* (2002) y Lindemann *et al.* (2004); en aves Króliczewska *et al.* (2004) y Debski *et al.* (2004) no encontraron diferencias significativas en la conversión y crecimiento del pollo de engorda, pero sí concluyen que mejora aspectos de la canal con la suplementación de levadura alta en cromo; Hossain *et al.* (1998) lograron un aumento del peso de la canal y disminución de la grasa abdominal con 0.300 ppm de levaduras altas cromo; Sahin *et al.* (2003) adicionaron picolinato de cromo y vitamina C como un adyuvante en contra del estrés por calor; Onderci *et al.* (2005) y Uyanik *et al.* (2005), recomiendan el uso de picolinato de cromo para mejorar la respuesta de las codornices al estrés calórico, actualmente en Estados Unidos de Norte América y otros países, su uso sólo está autorizado en cerdos por lo que la aceptación de esta tecnología en la alimentación de más especies animales, seguramente incrementará la investigación y conocimiento (Bunting, 1999; Arthington, 2005).

2.5.2. Rumiantes

En ovinos Juárez (2006) no encuentra diferencias significativas en parámetros productivos y de la canal; Mostafa-Tehrani *et al.* (2005) encontraron diferencias entre usar cromo inorgánico y cromo de nicotinato; Pollard *et al.* (2001) reportaron una mejor utilización de la glucosa por parte de los grupos tratados con levaduras altas en cromo.

En caprinos Haldar *et al.* (2006) obtuvieron una disminución en el cortisol y aumento de (T3) triyodotiroxina con cloruro de cromo hexahidratado, adicionado a las dietas de cabritos.

En vacas lecheras Burton *et al.* (1993) encontraron que el cromo orgánico puede ayudar a mejorar la respuesta inmune en vacas recién paridas; Hayirli *et al.* (2001) hallaron una mejora en la tolerancia a la glucosa en vacas posparto adicionadas con metionina de cromo; Bryan *et al.* (2004) recomiendan el uso de cromo en vacas lecheras en el periparto bajo condiciones de pastoreo; Tomlinson y Socha (2005) y Socha *et al.* (2005), hablan del uso y recomendaciones de la metionina de cromo en ganado lechero.

En bovinos al inicio de la engorda se ha encontrado en promedio un aumento del 20 % en la ganancia diaria de peso al adicionar cromo en las dietas (Kegley *et al.*, 1997b; Barajas y Almeida, 1999; Barajas *et al.*, 1999; Barajas *et al.*, 2005b). En bovinos en finalización y su efecto sobre la canal: Existen pocos estudios de bovinos en engorda en el periodo de finalización (Pollard *et al.*, 1999 y 2002; Luseba, 2001; Claeys *et al.*, 1994). Pollard *et al.*

(2001) evidenciaron el aumento de la síntesis proteica y mejora en la utilización de la glucosa en tejido muscular de bovino.

La respuesta a la suplementación con cromo, es atribuida a su efecto amplificador de la señal de insulina a las células susceptibles (Socha *et al.*, 2005). Dado que la ingesta de dietas con alto contenido de carbohidratos disminuye la sensibilidad de las células blanco a la insulina (Alvarado *et al.*, 2002; Andersen, 1999; Mowat, 1997), por lo que condiciones que incrementen la circulación de glucosa e insulina, a su vez aumentarán la excreción urinaria de cromo (Vincent, 2004). Y debido a que los bovinos en finalización reciben dietas con alto contenido de grano y bajas en fibra, lo que aumenta el almidón llegando a intestino (Klopfenstein *et al.*, 1991; Zinn, 1987) y en consecuencia la absorción de glucosa aunado a altos niveles de propionato e insulina en sangre, esto aumentará la movilización del cromo en las reservas corporales y un incremento de la pérdida urinaria (Mowat, 1997), así mismo hay efectos adversos por la secreción de glucocorticoides como una respuesta al estrés (Larson, 2005). Se esperan mejores resultados en parámetros productivos con animales suplementados con cromo (Mowat, 1997).

2.6. EL CROMO Y LA CANAL.

Antes del sacrificio se combina un número de factores estresantes, en los que se incluye manejo extra asociado a la identificación, pesaje, cortes, mezcla con animales extraños o corrales diferentes, ruido, ayuno, transportación, movimientos al matadero y los típicos procedimientos de mercadeo; son conocidos por contribuir a incrementar la frecuencia de cortes oscuros y puede provocar una disminución del grado de calidad o merma de la canal (Hargreaves *et al.*, 2004). El cansancio del transporte, hambre, sed, miedo, estrés climático o comportamientos agresivos, mezclas con animales extraños o cualquier acción que provoque una disminución del glucógeno muscular, limitando así la formación de lactato *post mortem*, la vuelta a la normalidad de los niveles de glucógeno puede tardar varios días (Mowat, 1997; Swatland, 2002).

2.6.1. Color de carne y pH

A la muerte del animal el aporte de nutrientes y sobre todo de oxígeno cesa al fracasar el sistema circulatorio. Cualquier tipo de metabolismo subsiguiente debe de ser anaeróbico, de tal manera que los ATP sólo pueden regenerarse a través de la lisis de glucógeno y posterior glucólisis ya que la fosforilación oxidativa no se puede llevar a cabo. El

metabolismo anaerobio del glucógeno implica que se comience a generar ácido láctico y al no ser retirado el músculo se acidifica gradualmente, este proceso en el vacuno dura de 15 a 36 horas y un valor típico de pH del *longissimus dorsi* bajará de 7.2 o más hasta 5.5 (Swatland, 2002; Warriss, 2003).

El color de la carne es uno de los criterios más importantes que los consumidores utilizan para decidir la compra, el color rojo brillante claro es el preferido y el color rojo oscuro es discriminado, ésta carne rojo obscura tiene una vida de anaquel más corta y potencialmente sufre de alteración bacteriana no deseable por tener un pH alto (Swatland, 2002; Warriss, 2003; Hargreaves *et al.*, 2004).

La acidificación de los músculos *post mortem* es uno de los cambios fundamentales en el proceso de conversión a carne, la variación en el grado y la extensión de su acidificación influyen en especial, sobre el color de la carne y la capacidad de retención de agua. La medida de pH, por tanto, da una valiosa información sobre la calidad potencial de la carne. Un pH alto tiene como resultado una desnaturalización baja de las proteínas, el agua se encuentra fuertemente unida y forma poco o ningún exudado. El músculo presenta una estructura cerrada y traslúcida que absorbe más luz que la que refleja, esto hace que su apariencia sea oscura. La estructura cerrada reduce la difusión de oxígeno de la superficie al interior del músculo y el escaso oxígeno que pueden alcanzar los citocromos que oxidan la mioglobina (rojo púrpura oscuro), la reduce a oximioglobina (rojo brillante) y como la capa de oximioglobina es muy delgada da un aspecto oscuro a la carne (Hui *et al.*, 2001; Warriss, 2003). La principal causa de un pH alto podría estar relacionada con condiciones inadecuadas y estresantes de transporte, manejo y sacrificio, difícilmente cuantificables (Moreno *et al.*, 1999) La metamioglobina es un pigmento que da la apariencia oscura a la carne cuando la mioglobina es oxidada, lo cual se previene con un pH abajo de 5.8 de la carne por contener más reservas de glucógeno muscular antes del sacrificio (Luseba, 2001; Moreno *et al.*, 1999). Existe una alta relación entre el contenido de glucógeno muscular con el pH último y el color de la carne después del sacrificio (Hargreaves *et al.*, 2004).

Suplementar cromo como un nutriente anti estrés, para reducir el cortisol en animales deficientes puede ser una buena práctica, ya que aumenta las reservas de carbohidratos en los músculos y puede disminuir la carne obscura, una pérdida de peso del corral al rastro, así mismo puede aminorar la merma de la canal, al disminuir las pérdidas por escurrimiento. Sin embargo es necesario validar los efectos de suplementar cromo en la merma de peso y en la calidad de carne (Mowat, 1997).

Dependiendo de los niveles en la dieta de cromo, y de factores estresantes una suplementación de 200 a 300 ppb de cromo por tres semanas antes del sacrificio podrían ser sugeridas (Mowat, 1997).

2.7. AGONISTAS BETA ADRENÉRGICOS.

Análogos de las catecolaminas; epinefrina, norepinefrina, estos compuestos incluyen: clenbuterol, cimaterol, ractopamina, zilpaterol, L-644,969, isoproterenol, se pueden administrar en forma oral, estos productos por un aumento del estado metabólico, pueden mejorar la ganancia de peso vivo y la conversión alimenticia en un 15% y el contenido del músculo de la canal en un 25%, así como disminuir hasta el 30% de la grasa en el canal (NRC, 1994). Estos resultados se reportan tanto en animales enteros como castrados y tanto en hembras como en machos. Los cambios en el músculo magro de la canal es el resultado de una hipertrofia muscular, un aumento en la retención de nitrógeno, con una disminución de la retención de nitrógeno en tejidos que no componen la canal, el incremento en la deposición de proteína muscular puede ser el resultado de cambios en los niveles de síntesis y degradación proteica o en ambos, se presenta reducción en el contenido de glucógeno muscular por la estimulación de la glucógeno fosforilasa e inhibición de la glucógeno sintetasa, disminuye la deposición de grasa y promueve la lipólisis (NRC, 1994; Hui *et al.*, 2001). Aunque se aprecia una disminución de la ternera, relacionada con un aumento de fuerza al corte con la disminución de lípidos en la carne. Se cree que el colágeno y sus respectivos enlaces cruzados son los responsables de la ternera y los beta agonistas pueden incrementar durante el crecimiento estas moléculas por reducir la degradación de la proteína y aumentar la dureza de la carne (Hui *et al.*, 2001; Jonson, 2004).

3. HIPÓTESIS

La adición de metionina de cromo en la dieta mejora la respuesta productiva y las características de la canal de toretes finalizados con dietas adicionadas con clorhidrato de zilpaterol.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL.

Determinar el efecto del nivel de adición de metionina de cromo en la dieta, sobre la respuesta productiva y características de la canal, de bovinos finalizados con dietas adicionadas con clorhidrato de zilpaterol.

4.2. OBJETIVOS PARTICULARES.

Conocer la influencia del nivel de adición de metionina de cromo en el consumo de alimento, la ganancia de peso y conversión alimenticia de toretes finalizados con dietas adicionadas con clorhidrato de zilpaterol.

Establecer el efecto del nivel de adición de metionina de cromo en la dieta sobre el peso de la canal fría, rendimiento en canal, espesor de grasa dorsal, área de ojo de costilla, grasa interna y pH en canales de toretes finalizados con dietas agregadas con clorhidrato de zilpaterol.

Determinar el efecto de la adición de metionina de cromo en la concentración de cortisol al momento del sacrificio de toretes finalizados con dietas adicionadas con clorhidrato de zilpaterol.

5. MATERIAL Y MÉTODOS

5.1. LOCALIZACIÓN.

El experimento se llevó a cabo en las instalaciones de engorda de la empresa "Corrales El Bistec de Oro". En el municipio de Tlajomulco de Zuñiga, Jalisco, ubicado en el centro-occidente de México a 20° 22' latitud norte y 103° 31' longitud oeste, con una altura media sobre el nivel del mar de 1570 m., temperatura media anual de 19.1°C, precipitación pluvial promedio anual de 902.3 mm y un clima tipificado como (A)C(w1)(w)a(e)g (García, 1981).

5.2. ANIMALES.

Se utilizaron 45 toretes de aproximadamente 485 ± 10.2 kg. de peso, con 50 % de sangre *Bos indicus* y el resto de Simmental, Hereford, Pardo Suizo, Charolais y Angus en proporción no determinada, provenientes de un periodo previo de engorda de 90 días y seguidos de 30 días donde se aplicaron los tratamientos.

Al inicio de la engorda, los animales se pesaron individualmente, identificados con arete numerado, implantados (Component TES con Tylan[®]; ELANCO), vacunados contra enfermedades; producidas por *Clostridium* y *Haemophilus somnus* Ultrabac7 Somubac[®]; fiebre de embarque One Shot[®] y virus respiratorios Bovi Shields 4[®] (Todas de Laboratorios Pfizer[®]), desparasitados (Ivermectina[®]; Laboratorios Sanfer[®]), e inyectados con vitaminas A, D y E (Seb ADE[®]; Laboratorios Pisa[®]).

5.3. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.

Después del periodo previo de 90 días en engorda, de un lote común de 45 animales, se seleccionaron 15 de ellos, utilizando como criterios de selección homogeneidad de peso y homogeneidad genética considerado de acuerdo al fenotipo. Conformando 3 grupos de 5 animales en un bloque; el proceso se repitió en tres ocasiones distintas. Una vez seleccionados, en forma aleatoria, los animales en grupos de cinco fueron alojados en corrales (8 x 6 m) con piso de cemento, provistos de sombra en comedero y con acceso permanente a agua limpia y fresca, de forma aleatoria se les asignó a recibir una de las tres dietas en que consistieron los tratamientos: 1) Dieta de finalización con relación 15:85 de forraje concentrado, conteniendo 14.7 % de PC, 1.888 Mcal de ENm/Kg de MS y 1.252 Mcal de ENg/Kg de MS y adicionada con 6 g (6 ppm) de clorhidrato de zilpaterol (Zilmax[®]; Intervet)/ tonelada de alimento (testigo) ; 2) Dieta similar al testigo pero adicionada con 0.2

ppm de cromo (Cr 0.2), a partir de metionina de cromo (Microplex®; Zinpro Co); y 3) Dieta similar al testigo pero adicionada con 0.4 ppm de cromo, a partir de metionina de cromo (Microplex®; Zinpro Co) (Cr 0.4). La dosis de cromo, se ofreció en una premezcla con la cantidad necesaria de cromo por corral por día, diluida en maíz molido en cantidad suficiente para completar 1 kg, la cual fue agregada en el comedero al momento de servir el alimento y se mezcló manualmente; a los animales asignados al grupo testigo, se les adicionó en comedero 1 kg de maíz molido por corral al día. La dieta utilizada se presenta en el Cuadro 1. El alimento se ofreció dos veces diarias (800 y 1600 h) en condición de libre acceso (105 % del consumo de la semana anterior). El consumo de alimento fue medido como el ofrecido menos el rechazo semanal acumulado. Los animales se pesaron al inicio y al final del experimento, la ganancia de peso se consideró como la diferencia entre peso final menos peso inicial, dividida entre el número de días del periodo. La conversión alimenticia, se calculó como el resultado de consumo/ganancia.

Para calcular la energía neta, se descontó 4% del peso corporal como un estimado del contenido del tracto digestivo (NRC, 1984). La energía retenida (ER, mega calorías) se derivó de la medición del peso corporal (PC, kg) y el promedio de la ganancia diaria de peso (GDP, kg/día) de acuerdo con la ecuación: $ER = (0.0562 PV^{.75}) GDP^{1.097}$ (NRC, 1984). El contenido de energía neta de la dieta para mantenimiento y la ganancia de peso, fueron calculadas asumiendo una producción constante de incremento de calor (MQ) de $0.077PV^{.75}$ Mcal/día (Lofgreen y Garrett, 1968). Donde la estimación de ER y MQ, los valores de la ENm y de la ENg de la dieta fueron obtenidos por un proceso iterativo (Zinn, 1987), fijando la ecuación $ENg = (877 ENm) - 41$ (NRC, 1984).

Los animales fueron sacrificados en el rastro Municipal de Guadalajara, Jalisco. De los animales recién sacrificados se tomaron muestras de sangre (10 mL), en tubos sin anticoagulante, los que se colocaron inmediatamente en refrigeración y se mantuvieron en esta condición hasta su envío al laboratorio, donde se les determinó concentración de cortisol (mg/dL) por medio de enzimoimmunoanálisis, técnica de quimioluminiscencia en fase sólida (emisión de fotones) realizada en un analizador automático Immulite, después de 24 horas de refrigeración en cuarto frío (2 °C), se obtuvo el peso de la canal, y se calculó el rendimiento de la canal fría como porcentaje del peso vivo final; en el lado izquierdo de la canal se practicó un corte transversal del músculo *longissimus dorsi* entre la 6ª y 7ª costilla y se midió el espesor de grasa dorsal (cm) con nonio o vernier, el área del ojo de la chuleta (regleta graduada), el porcentaje de grasa alrededor de riñón, pelvis y corazón (RPC) fueron estimados visualmente, el pH de carne fue medido en el músculo

longissimus dorsi usando un potenciómetro equipado con un electrodo de penetración marca Hanna modelo HI 99163.

5.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

Los resultados de respuesta productiva y características de la canal, fueron analizados como un diseño en bloques completos al azar (Hicks, 1973), donde la época de engorda de cada grupo de 15 animales constituyeron a los bloques, cada corral se consideró como la unidad experimental (Hicks, 1973). La separación de medias se efectuó con la prueba de la diferencia mínima significativa, fijando un valor de $\alpha = 0.10$ para aceptar diferencia estadística; la posibilidad de una respuesta lineal o cuadrática a la adición de cromo en la dieta fue explorada con el uso de polinomios ortogonales (Hicks, 1973). Los procedimientos estadísticos se llevaron a cabo usando el módulo de ANOVA/COV del procedimiento GLM de Statistix 8[®] (Statistix, 2003).

Cuadro1. Composición de la dieta usada en el experimento.

Ingredientes	Porcentaje de inclusión Base natural
Rastrojo de maíz	15.5
Maíz molido	60.0
Melaza de caña	6.8
Pasta de canola	10.0
Semilla de algodón	5.0
Premezcla mineral ¹	2.0
Urea	0.7
Análisis Calculado base seca ²	
Proteína cruda %	14.70
NEm, Mcal/kg.	1.888
NEg, Mcal/kg.	1.252

¹ Ganamín[®] Engorda Vitaminas y Minerales (Técnica Mineral Pecuaria, S.A. de C.V. [®])

² Valores calculados (NRC, 1996)

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. RESPUESTA PRODUCTIVA.

Los resultados de la influencia de la adición de cromo en la respuesta productiva se muestran en el Cuadro 2. La adición de 0.4 ppm de Cr a la dieta incrementó ($P = 0.06$) en 5.6% el peso ganado en el periodo y en 4.8% la ganancia diaria de peso. Aunque no existen otros experimentos en los que se haya adicionado cromo a la dieta en los últimos días de la finalización en los bovinos, la promoción del incremento de peso observada en el presente experimento, coincide con el aumento en la ganancia de peso apreciado en becerros al inicio de la engorda (Kegley *et al.*, 1997a; Barajas y Almeida, 1999). La mejora por la adición de metionina de cromo en la ganancia de peso de los bovinos en finalización es atribuible a un incremento en la eficiencia de la actividad de la insulina cuya función anabólica incluye la síntesis de proteína, ácidos nucleicos y lípidos (Sasaki, 2002). El cromo contenido en una molécula denominada cromodulina (Vincent, 2004), estabiliza el receptor de la insulina y esto permite un mejor amplificación de su señal (Pechova y Pavlata, 2007). Esto explica la mejora de 4.1% en conversión alimenticia ($P = 0.03$) inducida por la adición de 0.4 ppm de Cr, tomando en cuenta que los tratamientos no afectaron ($P = 0.29$) el consumo de materia seca. En los experimentos no se ha encontrado que la adición de cromo modifique el consumo (Pollard *et al.*, 1999; Pechova *et al.*, 2002), lo que permite descartar que la mayor ganancia de peso pudiera atribuirse a una mayor ingesta de nutrimentos.

La mayor retención ($P = 0.10$) de energía de la dieta observada con la adición de 0.4 ppm de Cr es interpretada como una mejor utilización de la energía potencial del alimento facilitada por la estabilización de los receptores de insulina (Vincent, 2004), más que considerar que la metionina de cromo contribuye con una dosis de energía considerable a la dieta.

El valor de energía neta para mantenimiento 21% mayor de lo esperado a partir de la composición de la dieta que se encontró en el testigo es atribuible al potente efecto anabólico tanto del implante con trembolona que recibieron estos animales, como a la acción del zilpaterol (NRC, 1994; Hui *et al.*, 2001), sin embargo, a pesar de esa respuesta, los animales que recibieron 0.4 ppm de Cr adicional todavía mostraron un incremento de 5% ($P = 0.10$) por encima del testigo, evidenciando el beneficio por la complementación con este mineral, que en repetidas ocasiones ha sido mencionado como necesario para

humanos y animales (Mertz, 1993). Barajas *et al.* (2005a), también encontraron un aumento en la retención de la energía de la dieta en respuesta a la adición de 0.4 ppm de Cr a la dieta a partir de metionina de cromo. Estos resultados confirman la hipótesis que la adición de cromo en las dietas de los bovinos en los últimos días de la finalización mejora la respuesta productiva.

Cuadro 2. Efecto del nivel de cromo adicional en la dieta en la respuesta productiva de toretos en finalización adicionadas con clorhidrato de zilpaterol.

Variables	Cromo adicional en la dieta			EEM ¹	Valor de P
	0	0.2	0.4		
Toretos	15	15	15		
Corrales, réplicas, n	3	3	3		
Días en prueba	32	32	32		
Peso inicial, ² kg	485.38	486.27	488.51	2.64	0.53
Peso final, ² kg	546.11	546.69	552.25	3.49	0.26
Ganancia del periodo, kg	60.373 ^b	60.420 ^b	63.743 ^a	1.05	0.06
Ganancia diaria, kg/d	1.898 ^b	1.883 ^b	1.989 ^a	0.03	0.06
Consumo de MS, kg/día	11.241	11.134	11.320	0.10	0.29
Consumo/ganancia	6.023 ^a	6.170 ^a	5.785 ^b	0.07	0.03
Energía neta retenida, Mcal/kg					
Mantenimiento ³	2.296 ^b	2.307 ^b	2.371 ^a	0.03	0.10
Ganancia ³	1.604 ^b	1.613 ^b	1.669 ^a	0.03	0.10
Energía neta observada/esperada					
Mantenimiento ³	1.21 ^b	1.22 ^b	1.26 ^a	0.02	0.10
Ganancia ³	1.28 ^b	1.29 ^b	1.33 ^a	0.02	0.10

¹ Error estándar de la media

² Se descontó 4% del peso como contenido del tracto digestivo (NRC, 1984)

³ Efecto lineal de cromo, P < 0.06

^{a, b} Indican diferencia estadística al nivel de P señalado en la columna de la derecha

6.2. CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL.

Los valores de las características de la canal de los toretes aparecen en el Cuadro 3. El rendimiento en canal, área de ojo de costilla, grasa en riñón, pelvis y corazón, marmoleo, pH de la carne no se vieron afectados ($P > 0.40$) como resultado de los tratamientos. Estas características de la canal no han sido modificadas por la adición de cromo durante toda la engorda, a partir de diferentes fuentes como cloruro, picolinato, nicotinato y levaduras ricas en cromo en dosis desde 0.4 hasta 0.8 ppm (Wolf *et al.*, 1993; Claeys *et al.*, 1994; Luseba, 2001). La disminución en el espesor de grasa dorsal ($P = 0.10$) apreciada con la adición de 0.2 ppm es difícil de explicar considerando que con este nivel de cromo ninguna otra variable fue afectada ($P > 0.40$), y en la literatura no se encontraron referencias de algún efecto similar en rumiantes (Wolf *et al.*, 1993; Luseba, 2001; Pollard *et al.*, 2002).

6.3. CORTISOL.

Los resultados de cortisol se pueden apreciar en el Cuadro 3, los valores de cortisol en sangre al momento del degüello fueron 30.4% y 28.7% más bajos ($P < 0.02$) en los tratamientos 0.2 ppm y 0.4 ppm respectivamente con relación al testigo. La disminución de los niveles de cortisol en sangre, como resultado de la adición de cromo a las dietas para bovinos, es una respuesta que se observó de manera consistente en los estudios con becerros al inicio de la engorda (Chang *et al.*, 1994; Wright *et al.*, 1994; Almeida y Barajas, 2002). Moonsie-Shageer y Mowat (1993) encontraron una disminución lineal de la concentración de cortisol en novillos a medida que se incrementó el cromo adicional desde 0.2 hasta 1.0 ppm; respuesta similar a la disminución lineal ($P = 0.05$) del cortisol observada en el presente estudio en respuesta a la adición de metionina de cromo.

La disminución del cortisol ($P = 0.02$) es una evidencia de la efectividad del cromo para reducir los efectos del estrés. El cortisol es un glucocorticosteroide que se secreta en situaciones de estrés, bajo un estrés continuo los niveles elevados de cortisol puede provocar un excesivo catabolismo de proteínas, hiperglicemia, e inmunodepresión (Bunting, 1999; Tomlinson *et al.*, 2004; Carrol y Forsberg, 2007), y es antagónico con la insulina, por lo que el decremento en los niveles circulantes de cortisol permite a que se exprese la actividad anabólica de la insulina (Sasaki, 2002).

Cuadro 3. Efecto del nivel de cromo adicional en la dieta en las características de la canal de toretes en finalización adicionadas con clorhidrato de zilpaterol.

Variables	Cromo adicional en la dieta			EEM ¹	Valor de <i>P</i>
	0	0.2	0.4		
Toretos	15	15	15		
Corrales, réplicas, n	3	3	3		
Días en prueba	32	32	32		
Peso de canal caliente, kg	346.33	346.40	349.53	9.23	0.93
Rendimiento en canal, %	63.27	63.16	63.05	0.72	0.96
Espesor de grasa dorsal, ^{2,3} cm	1.01 ^a	0.78 ^b	0.90 ^{ab}	0.11	0.10
Área de ojo de costilla, ² cm ²	70.33	67.80	67.88	3.36	0.69
Grasa en riñón, pelvis y corazón, %	2.03	1.87	2.03	0.15	0.45
Marmoleo ⁴	400	393	400	9.81	0.73
pH de la carne	5.26	5.27	5.25	0.02	0.83
Cortisol, ^{5,6,7} mg/dL	4.53 ^a	3.15 ^b	3.23 ^b	0.39	0.02

¹ Error estándar de la media

² Medido entre la sexta y séptima costilla

³ Efecto cuadrático de cromo, *P* = 0.06

⁴ Código: trazas = 300, ligero = 400, pequeño = 500.

⁵ Medido en sangre recolectada al momento del degüello

⁶ Efecto lineal de cromo, *P* < 0.05

⁷ Efecto cuadrático de cromo, *P* < 0.05

^{a, b} Indican diferencia estadística al nivel de *P* señalado en la columna de la derecha

7. CONCLUSIONES

1. El nivel de adición de metionina de cromo en cantidad suficiente para aportar 0.4 ppm de cromo a la dieta conteniendo zilpaterol ofrecida a los bovinos durante los últimos 32 días de la finalización mejora la ganancia de peso y la conversión alimenticia sin afectar el consumo de alimento.
2. La inclusión de metionina de cromo en cantidad suficiente para proporcionar hasta 0.4 ppm de cromo adicional en la dieta conteniendo zilpaterol ofrecida a toretes durante los últimos 32 días de la finalización no modifica sustancialmente las características de la canal.
3. La complementación con cromo proveniente de metionina de cromo a dietas con zilpaterol ofrecida a los bovinos durante los últimos 32 días de la finalización reduce la concentración sanguínea del cortisol en los toretes al sacrificio.

8. LITERATURA CITADA

- Almeida, L. and Barajas, R., 2002. Effect of chromium methionine and zinc methionine supplementation on cortisol, glucose, aspartate amino transferase and creatinin in blood of stressed feedlot calves. *J. Anim. Sci.* 80 (Suppl. 1):364 (abstract).
- Alvarado, A., Blanco, R. y Mora, E., 2002. El cromo como elemento esencial en los humanos. *Rev. Costarric. Cienc. Med.* 23: 55-68
- Andersen, P. 1999. Chromium picolinato. *Better Nutrition.* 61:24
- Anderson, R.A., Bryden, N.A., Evoke-Clover, C.M. and Steele, N.C., 1997. Beneficial effects of chromium on glucose and lipid variables in control and somatotropin-treated pigs are associated with increased tissue chromium and altered tissue copper, iron, and zinc. *J. Anim. Sci.* 75:657-661.
- Anderson, R.A., Polansky, M.M. and Bryden, N.A., 2004. Stability and absorption of chromium and absorption of chromium histidinate complexes by humans. *Biol.Trace Elem.Res.*101:211-218.
- Aragón, E.F. and Naranjo, A.P., 2003. Cortisol, urea, calcium and phosphorus plasma concentration in grazing beef cows supplemented with high chromium yeast during breeding season. *Ciência Rural.* 33:743-747.
- Arthington, J.D. 2005. Trace mineral nutrition and immune competence in cattle. *Proceedings, California Animal Nutrition Conference, Fresno California. May 11-12, p.131-142*
- Bahijri, S.M. 2000. Effect of chromium supplementation on glucose tolerance and lipid profile. *Saudi Med. J.* 21:45-50.
- Barajas, R. and Almeida, L., 1999. Effect of vitamin E and chromium-methionine supplementation on growth performance response of calves recently arrived to feedlot. *J. Anim. Sci.* 77 (Suppl. 1): 269 (abstract).
- Barajas, R., Felix, A. and Estrada, A., 1999. Effect of level of chromium-methionine in receiving diets on growth performance of Brahman bull calves. *J. Anim. Sci.* 77 (Suppl. 1): 270 (abstract).
- Barajas, R., Cervantes, B., Virgilio, R. and Castro, P., 2004 Effect of shade in feedlot pen on growth performance response of finishing beef cattle the cold season in the northwest of México. *J. Anim. Sci.* 82 (Suppl. 1): 351 (abstract).
- Barajas, R., Cervantes, B.J., Virgilio, R., Almeida, L., Romo, J.M. and Calderon, J., 2005 a. 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.* 56:430-432.

- Barajas, R., Cervantes, B.J., Calderón, J.C. y Virgilio, R., 2005 b. Efecto de la adición de cromo durante los primeros 28 días en la respuesta productiva de toretes durante todo el periodo de crecimiento. Memorias XIX Reunión, Asociación Latinoamericana de Producción Animal. 95-96.
- Berner, T.O., Murphy, M. M. and Slesinski, R., 2004. Determining the safety of chromium tripicolinate for addition to foods as a nutrient supplement. *Food Chem. Toxicol.* 42:1029-1042.
- Bryan, M.A., Socha, M.T. and Tomlinson, D.J., 2004. Supplementing intensively grazed late-gestation and early-lactation dairy cattle with chromium. *J. Dairy Sci.* 87:4269-4277.
- Bunting, L.D., Fernandez, J.M., Thompson, D.L. and Southern, L.L., 1994. Influence of chromium picolinate on glucose usage and metabolic criteria in growing Holstein calves. *J. Anim. Sci.* 72:1591-1599.
- Bunting, L.D. 1999 Chromium and dairy nutrition: What do we know? In Proceedings of mid-south ruminant nutrition conference. 13-18.
- Burton, J.L., Mallard, B.A. and Mowat, D.N., 1993. Effects of supplemental chromium on immune responses of periparturient and early lactation dairy cows. *J. Anim. Sci.* 71:1532-1539.
- Burton, J.L. 1995. Supplemental chromium: its benefits to the bovine immune system. *Animal Feed Science and Technology.* 53:117-133.
- Carrol, J.A. and Forsberg, N.E., 2007. Influence of stress and nutrition on cattle immunity. *Vet. Clin. Food Anim.* 23:105-149.
- Chang, X. and Mowat, D. N., 1992. Supplemental chromium for stressed and growing feeder calves. *J. Anim. Sci.* 70:559-565.
- Chang, X., Mowat, D. N. and Mallard, B.A., 1994. Supplemental organic and inorganic chromium with niacin for stressed feeder calves. *J. Anim. Sci.* 72 (Suppl.1):132 (abstract).
- Claeys, M.C., Spears, J.W. and Kegley, E.B., 1994. Performance, blood metabolites and carcass characteristics of steers fed supplemental organic or inorganic chromium. *J. Anim. Sci.* 72 (Suppl.1):132 (abstract).
- Cooper, R. J., T. J. Klopfenstein, R. A. Stock, C. T. Milton, D. W. Herold, and J. C. Parrott. 1999. Effects of imposed feed intake variation on acidosis and performance of finishing steers. *J. Anim. Sci.* 77:1093-1099.
- Debski, B., Zalewski, W., Gralak, M. and Kosla, T., 2004. Chromium yeast supplementation of chicken broilers in an industrial farming system. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology.* 18:47-51.

- Engle, T.E., Ahola, J.K. and Dorton, K.L., 2005. Inhibition of trace mineral metabolism in ruminants. Intermountain Nutrition Conference, 7th Annual Meeting, Salt Lake City, UT Jan. 25-26. p173-191.
- García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 4^a ed. Instituto de Geografía, UNAM. México, D.F.
- González, S. 1994. Ionóforos e implantes para bovinos en corrales para engorda. En Memoria del Seminario Internacional de Producción de Carne Bovina en Corrales. Puebla, Puebla. 12-14 de septiembre. P. 89-101.
- Haldar, S., Ghosh, T.K., Pakhira, C. and De, K., 2006. Effects of incremental dietary chromium on growth, hormone concentrations and glucose clearance in growing goats (*Capra hircus*). The Journal of Agricultural Science. 144:269-280.
- Hargreaves, A., Barrales, L., Peña, I., Larrain, R. y Zamorano, L., 2004. Factores que influyen en el pH último e incidencia de corte oscuro en canales de bovino. Cien. Inv. Agr. 31:155-166.
- Hayirli, A., Bremmer, D.R., Bertics, S.J., Socha, M.T. and Grumer, R.R., 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 Wiston, New York, NY.
- Hossain, S., Barreto, S. and Silva, C., 1998. Growth performance and carcass composition of broilers fed supplemental chromium from chromium yeast. Animal Feed Science and Technology. 71: 217-228.
- Hui, Y.H., Nip, W.K., Rogers, R.W. and Young, O.A., 2001. Meat Science and Applications. Marcel Dekker, Inc. U.S.A. New York. p.710.
- Institute of Medicine Staff (CB). 2002. Dietary reference intakes for vitamin A, vitamin K, arsenic, boron, chromium, copper, iodine, manganese, molybdenum. National Academies Press. Washington, D.C. USA. p.198.
- Jeejeebhoy, K.N. 1999. The role of the chromium in nutrition and therapeutics and as a potential toxin. Nutrition Reviews. 57:329-335.
- Johnson, B.J. 2004. β -Adrenergic agonists: efficacy and potential mode of action in cattle. Proc. Plains Nutr. Council Spring Conf. April 15-16, San Antonio, TX. 51-61.
- Juárez, F. 2006. Efecto de diferentes niveles de metionina de cromo en lípidos séricos, función renal, respuesta productiva y características de canal en ovinos. Tesis de Doctorado, Universidad de Colima, Colima, México.
- Kegley, E. B. and Spears, J. W., 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., Spears, J. W. and Brown Jr., T. T., 1996. Immune response and disease resistance of calves fed chromium-nicotinic acid complex or chromium chloride. *J. Dairy Sci* 79:1278-1283.
- Kegley, E. B., Spears, J. W. and Brown Jr., T. T., 1997a. Effect of shipping and chromium supplementation on performance, immune response, and disease resistance of steers. *J. Anim. Sci.* 75:1956-1964.
- Kegley, E. B., Spears, J. W. and Eisemann, J.H., 1997b. Performance and glucose metabolism in calves fed a chromium-nicotinic acid complex or chromium chloride. *J Dairy Sci* 80:1744-1750.
- Kegley, E.B. and Spears, J.W., 1999. Chromium and cattle nutrition. *J. Trace Elem. Exp. Med.* 12:141-147.
- Klopfenstein, T.J., Stock, R. y Ward, J., 1991. Alimentación de Bovinos de Carne en Crecimiento y Finalización en Memoria del Curso Intensivo Internacional de Manejo Nutricional de Bovinos en Corrales de Engorda. Colegio de Postgraduados Montecillos México, 25 feb.-01 mar. P.1-40.
- Kobla, H.V. and Volpe, S.L., 2000. Chromium, exercise, and body composition. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 40:291-308.
- Króliczewska, B., Zawadzki, W. and Kaczmarek-Oliwa, K., 2004. Changes in selected serum parameters of broiler chicken fed supplemental chromium. *J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr.* 88:393-400.
- Lamson, D. and Plaza, S., 2002. The safety and efficacy of high-dose chromium. *Alternative Medicine Review* 7:218-235.
- Larson, R.L. 2005. Effect of cattle disease on carcass trait. *J. Anim. Sci.* 83 (E. Suppl): E37-E43.
- Lemme, A., Wenk, C., Lindemann, M. and Bee, G., 2000. Chromium yeast affects growth performance and plasma traits but not carcass characteristics of growing-finishing pigs depending on the glycemic index. *Archiv fur Tierernahrung.* 53:157-177.
- Lindemann, M.D., Wood, C.M., Harper, A.F., Kornegay, E.T. and 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.
- Lindemann, M.D., Carter, S.D., Chiba, L.I., Dove, C.R., LeMieux, F.M. and Southern, L.L., 2004 A regional evaluation of chromium tripicolinate supplementation of diets fed to reproducing sows. *J. Anim. Sci.* 82:2972-2977.
- Lofgreen, G. P. and Garrett, W. N., 1968. A system for expressing net energy requirements and feed values for growing and finishing beef cattle. *J. Anim. Sci.* 27:793-807.

- Lukaski, H. 1999. Chromium as a supplement. *Annual Review of Nutrition* 19:279-303.
- 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 etd. Onderstepoort, Republic of South Africa.
- Mathews, J.O., Higbie, A.D., Southern, L.L., , Coombs, D.F., Bidner, T.D. and Odgaard, R.L., 2003. Effect of chromium propionate and metabolizable on growth, carcass traits and pork quality of growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 81:191-196.
- Mertz, W. 1993. Chromium in human nutrition: A review. *J. Nutr.* 123:626-633.
- Miranda, E.R. and Dey, C.S., 2004. Effect of chromium and zinc on insulin signaling in skeletal muscle cells. *Biol. Trace Elem. Res.* 101:19-36.
- Moreno, A., Rueda, V y Ceular, A., 1999. Análisis cuantitativo del ph de canales de vacuno en matadero. *Arch. Zootec.* 48: 33-42.
- Mostafa-Tehrani, A., Ghorbani, G., Zare-Shahneh, A. and Mirhadi, S., 2005. In Press. Non-Carcass components and wholesale cuts of Iranian fat-tailed lambs fed chromium nicotinate or chromium chloride. *Small Ruminant Research*. Article in Press.
- Moonsie-Shageer, S. and Mowat D. N., 1993. Effect of level of supplemental chromium on performance serum constituents, and immune status of stressed feeder calves. *J. Anim. Sci.* 71:232-238.
- Morrison, S.R. 1983. Ruminant heat stress: effect on production and means of alleviation. *J. Anim. Sci.* 57:1594-1600.
- Mowat, D.N. 1997 Supplemental organic chromium reviewed for cattle. *Feedstuffs*, October 20. 12-14, 18-19
- Ng, W.K., and Wilson, R.P., 1997 Chromic oxide inclusion in the diet does not affect glucose utilization or chromium retention by channel catfish, *Ictalurus punctatus*. *J Nutr.* 127:2357-62.
- NRC. 1984. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. (6th Ed.) National Academy Press, Washington, D.C. USA
- NRC. 1994. *Metabolic modifiers*. National Academy Press, Washington, D.C. USA
- NRC. 1996. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. (7thEd.) National Academy Press. Washington, D.C. USA
- NRC. 1997. *The role of chromium in animal nutrition*. National Academy Press. Washington, D.C. USA.
- Onderci, M., Sahin, K., Sahin, N. Cikim, G., Vijaya, J. and Kucuk, O., 2005. Effects of dietary combination of chromium and biotin on growth performance, carcass

- characteristics, and oxidative stress markers in heat-distressed Japanese Quail. *Biol Trace Elem Res.* 106:165-176.
- Pechova, A., Illek, J., Sindelár, M. and Pavlata, L., 2002. Effects of Chromium Supplementation on Growth Rate and Metabolism in Fattening Bulls. *Acta Vet. Brno.* 71:535-541.
- Pechova, A. and Pavlata, L. 2007. Chromium as an essential nutrient: a review. *Veterinarni Medicina*, 52: 1–18.
- Pollard, G., Richardson, C. and Karnezos, T., 1999. Effect of varying dietary chromium supplementation on growth and carcass characteristics of feedlot steers. *J. Anim. Sci.* 77(suppl.1):2(abstract).
- Pollard, G., Montgomery, J., Bramble, T. and Morrow, K., 2001. Effects of organic chromium on protein synthesis and glucose uptake in ruminants. *Professional Animal Scientist.* 17:261-266.
- Pollard, G., Richardson, C. and Karnezos, T., 2002. Effects of supplemental organic chromium on growth, feed efficiency and carcass characteristics of feedlot steers. *Animal Feed Science and Technology.* 98:121-128.
- Preuss, H.G. and Anderson, R.A., 1998. Chromium update: examining recent literature 1997- 1998. *Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care.* 1:487-489.
- Racek, J. 2003. Chromium as an essential element. *Cas. Lek Cesk.* 142:335-339.
- Sahin, K., Sahin, N. and Kucuk, O., 2003. Effects of chromium, and ascorbic acid supplementation on growth, carcass traits, serum metabolites, and antioxidant status of broiler chickens reared at a high ambient temperature (32°C). *Nutrition Research.* 23:225-238.
- Sasaki, S. 2002. Mechanism of insulin action on glucose metabolism in ruminants. *Animal Science Journal* 73:423-433.
- Sillence, M. 2004. Technologies for the control of fat and lean deposition in livestock. *The Veterinary Journal.* 167:242-257.
- Socha, M.T., Tomlinson D.J., Fakler, T.M. and Ward, T.L., 2005 Chromium applications for dairy cattle. *Proceedings, California Animal Nutrition Conference, Fresno California.* May 11-12, p 27-35.
- Spears, J.W. 2000. Micronutrients and immune function in cattle. *Proc. Nutr. Soc.* 59:587-594.
- Statistix. 2003. *Statistix 8 User's Manual.* Analytical Software. Tallahassee, FL
- Swatland, H.J. 2002. *Evaluación de la Carne en la Cadena de Producción.* Ed. Acriba, Zaragoza, España. p 333.

- Schwartzkopf-Genswein, K.S., K. A. Beauchemin, T. A. McAllister, D. J. Gibb, M. Streeter, and A. D. Kennedy. 2004. Effect of feed delivery fluctuations and feeding time on ruminal acidosis, growth performance, and feeding behavior of feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 82: 3357-3365
- Tomlinson, D. J., Socha, M. T. y Ward, T. L., 2004. Aplicaciones de cromo para el ganado lechero. II Seminario sobre alimentación y manejo de ganado lechero. Efecto de la proteína de soya, los aminoácidos y los micro-minerales en la producción 25 de junio, Guadalajara, Jal. México
- Tomlinson, D.J., Socha, M.T., 2005. Role of trace minerals in improving feed efficiency of dairy cattle. 4-State Dairy Nutrition Conference, Dubuque, Iowa June 15. p 1-11.
- Uyanik, F., Eren, M., Guclu, B.K. and Sahin, N., 2005. Effects of dietary chromium supplementation on performance, carcass traits, serum metabolites, and tissue chromium levels of Japanese quails. *Biol. Trace Elem. Res.* 103:187-197.
- Van de Ligt, C.P., Lindemann, M.D. and Cromwell, G.L., 2002. Assessment of chromium tripicolinate supplementation and dietary protein level on growth, carcass, and blood criteria in growing pigs. *J. Anim. Sci.* 80:2412-2419.
- Vincent, J.B. 1999. Mechanisms of chromium action: low-molecular-weight chromium-binding substance. *J. Am. Coll. Nutr.* 18:6-12
- Vincent, J.B. 2000a. The biochemistry of chromium. *J. Nutr.* 130:715-718.
- Vincent, J.B. 2000b. Elucidating a biological role for chromium at a molecular level. *Acc. Chem. Res.* 33:503-510.
- Vincent, J.B. 2004. Recent advances in the nutritional biochemistry of a trivalent chromium. *Proc. Nutr. Soc.* 63:41-47.
- Warriss, P.D. 2003. *Ciencia de la Carne*. Ed. Acriba, Zaragoza, España. p 309.
- Weiss, B. 2005. Update on trace mineral requirements for dairy cattle. 4-State Dairy Nutrition Conference, Dubuque, Iowa June 15. p 13-21.
- Wolf, B.W., Berger, L.L., Fahey, G.C. and Johnson, A.B., 1993. Influence of roughage level and chromium polynicotinate on performance, carcass characteristics, and serum metabolite levels of finishing beef feedlot heifers. *J. Anim. Sci.* 71(Suppl.1):257(Abstr.).
- Wright, A.J., Mowat, D.N., Mallard, B.A. and Chang, X. 1994. Chromium supplementation plus vaccines for stressed feeder calves. *J. Anim. Sci.* 72(Suppl.1)132(Abstr.).
- Zinn, R. A. 1987. Influence of lasalocid and monensin plus tylosin on comparative feeding value of steam-flaked versus dry-rolled corn in diets for feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 65:256-266.