

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

**Instituto de Ciencias Agrícolas
Instituto en Investigaciones en Ciencias Veterinarias**



**EVALUACIÓN DE UNA FUENTE DE CROMO
QUELADO COMO POTENCIAL ADITIVO
ALIMENTICIO EN RUMIANTES FINALIZADOS EN
CORRAL: DIGESTIÓN DE NUTRIMENTOS,
DESEMPEÑO PRODUCTIVO, ENERGÉTICA DE LA
DIETA Y CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL**

TESIS

**Como requisito parcial para obtener el grado de:
DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**

PRESENTA

M. C. BERENICE SÁNCHEZ MENDOZA

Director de tesis

DR. ALEJANDRO PLASCENCIA JORQUERA

Co-director de tesis

DR. RICHARD AVERY ZINN

Asesores

DR. ALBERTO BARRERAS SERRANO

DRA. NOEMÍ GUADALUPE TORRENTA OLIVERA

DR. FRANCISCO JAVIER MONGE NAVARRO

Mexicali, Baja California.

Mayo, 2015

Esta tesis se realizó bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito para la obtención del grado de:

Doctor en Ciencias Agropecuarias
Consejo Particular

DR. ALEJANDRO PLASCENCIA JORQUERA
ASESOR PRINCIPAL

DR. RICHARD AVERY ZINN
CONSEJERO

DR. ALBERTO BARRERAS SERRANO
CONSEJERO

DRA. NOEMÍ GUADALUPE TORRENTA OLIVERA
CONSEJERO

DR. FRANCISCO JAVIER MONGE NAVARRO
CONSEJERO

CONTENIDO

Página

LISTA DE CUADROS.....	i
LISTA DE FIGURAS.....	iii
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT.....	vi
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVO E HIPÓTESIS.....	4
REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
Crecimiento animal.....	5
<i>Crecimiento compensatorio.....</i>	10
<i>Factores de crecimiento.....</i>	11
<i>Igf.....</i>	11
Levaduras.....	13
Cromo.....	15
<i>Fuentes de cromo.....</i>	16
<i>Funciones del como.....</i>	16
<i>Uso del cromo en animales.....</i>	17
<i>Metabolismo del cromo.....</i>	19
<i>Excreción.....</i>	24
Uso cromo-levadura.....	24
CONCLUSIONES.....	26
LITERATURA CITADA.....	27
EXPERIMENTO I.....	42
EXPERIMENTO II.....	58

LISTA DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Signos y síntomas de la deficiencia del cromo.....	17
2	Efecto de 200ppm del picolinato de cromo sobre GDP y CDA en diferentes especies.....	18
3	Efecto de 200ppm del picolinato de cromo usado en diferentes especies	19
4	Efecto de 200ppm del picolinato de cromo sobre LM, AOC y % de musculo en diferentes especies.....	20
Experiment I	Influence of feeding chromium-enriched enzymatically hydrolyzed yeast on growth performance, dietary energetics and carcass characteristics in feedlot cattle under conditions of high ambient temperature	
Table		
1	Diet formulations (diets were supplemented with 0 or 4 g of EHY-Cr which represents 3 g of EHY and 500 ppb of chromiuma) of program feeding (222 d of feeding).....	54
2	Ambient temperature (Ta), mean relative humidity (RH) and mean temperature-humidity index (THI), registered during experiment.....	55
3	Effect of enzymatically hydrolyzed yeast with 500 ppb chromium (EHY-Cr) on performance and dietary energetics of feedlot beef steers under high ambient temperature.....	56
4	Effect of enzymatically hydrolyzed yeast and 500 ppb chromium (EHY-Cr) on carcass characteristics.....	57

Experiment II Effects of high-level chromium methionine
supplementation in lambs fed a corn-based diet on the
carcass characteristics and chemical composition of
longissimus muscle

Table

1	Treatment effects on dressing percentage, carcass characteristics and chemical composition of LM muscle of lambs supplemented with Cr-methionine.....	66
---	---	----

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Fases del crecimiento.....	7
2	Crecimiento asincrónico.....	8
3	Crecimiento compensatorio.....	10
4	Transporte del cromo.....	21
5	Función del cromo en la sangre.....	22

RESUMEN

En la industria ganadera es necesario aumentar la eficiencia de ganancia, en particular durante la fase de finalización cuando el costo de ganancia es más alto. Por lo cual, el uso de aditivos moduladores del crecimiento es necesario sin embargo el uso de algunos compuestos es restringido para la comercialización. Aunque el uso de dichos aditivos se ha verificado a través de evaluaciones exhaustivas, sigue habiendo cierta preocupación entre los consumidores, por lo tanto se ha realizado un considerable esfuerzo para promover el uso de alternativas más "orgánicas". Por lo tanto se ha generado interés en la búsqueda de alternativas seguras. Entre éstas, los minerales quelados y levaduras han mostrado buenos resultados. El Cromo (Cr) es un nutriente esencial en la alimentación animal que potencia la unión de la insulina a los receptores (Kegley et al., 2000). El cromo inorgánico se absorbe pobremente en animales y humanos (0,4 hasta 3%; Anderson et al., 1983; 1989.). Sin embargo, la absorción de suplementos de Cr mejora cuando este es quelado (O'Quinn et al., 1998; Shelton et al., 2003). La suplementación de Cr quelado en la recepción de becerros ha mostrado una reducción en el cortisol plasmático, mejorando la ganancia de peso, eficiencia alimenticia y la respuesta inmune, así como reducido la morbilidad en comparación con los animales no suplementados (Burton, 1995). Más recientemente, la suplementación de cromo quelado tuvo efectos moduladores sobre la composición de la ganancia de peso en rumiantes en finalización (Valdés-García et al., 2012; Estrada-Angulo et al., 2013). Por lo anterior se realizaron dos experimentos con el fin de evaluar los efectos de una fuente de cromo quelado en novillos de finalización y corderos alimentados con una dieta alta energía. Se utilizaron cuarenta novillos cruzados (245 ± 0.95 kg) los cuales fueron alimentados durante 222 días para evaluar el efecto de la suplementación de cromo enriquecido con levadura hidrolizada enzimáticamente (Cr-EHY) sobre el crecimiento, energía de la dieta y características de la canal en dietas de finalización en ganado sometido a altas temperaturas ambientales, los tratamientos consistieron en una dieta a base maíz hojueado, suplementados con 0 o 0.4 g/kg de Cr-EHY (0.3 g/kg de TruMax plus 0.1 g/kg de Cr quelado). Las variables climáticas se midieron semanalmente para estimar el índice de temperatura y humedad (THI). El THI

máximo fue de 72 en el día 213 de 222 días de estudio (el THI promedio = 75.24). Durante los primeros 112 días (incluyendo la recepción y las fases de adaptación a las dietas), Cr-EHY incrementó la ganancia diaria (ADG) (7%, $P = 0.03$). Este efecto fue debido a la tendencia ($P = 0.07$) en el incremento del consumo de materia seca. No se observó efecto de tratamiento en la eficiencia de ganancia y energía neta (NE). Sin embargo la suplementación con Cr-EHY tuvo un efecto modulador sobre la calidad de la canal disminuyendo el espesor de la grasa en la canal (10%, $P = 0.09$, e incrementando el área del musculo longissimus (7%, $P < 0.01$) y el rendimiento al deshuese de los cortes primarios (2%, $P = 0.07$). Los resultados indican que la suplementación con cromo quelado enriquecido con extracto de levadura hidrolizada puede tener efectos benéficos en el consumo y la ganancia diaria de peso particularmente durante la recepción y fase de crecimiento. De igual forma parece tener un efecto modulador en las características de la canal, mejorando la musculatura y reduciendo la grasa externa. Estos resultados indican que la suplementación con Cr tiene un efecto sobre la calidad de la canal y puede mejorar el DMI con respecto a la ADG en el ganado de engorda durante los periodos de altas temperaturas ambientales. En el segundo experimento se utilizaron veinticuatro corderos machos para evaluar el efecto de la suplementación de altos niveles de Cr metionina (Cr) en dietas de finalización altas en energía sobre las características de la canal y composición química del musculo longissimus (LM). Los tratamientos fueron: 1) 0.00; 2) 0.60; 3) 1.20, y 4) 1.80 mg Cr/cordero/día. El experimento se realizó durante 56 días. La suplementación con Cr disminuyó la grasa pélvica renal así como el espesor de la grasa ($P=0.01$) mejoró el grado de rendimiento estimado sin embargo no tuvo efecto en las otras características de la canal. Después de 56-d de engorda los corderos no suplementados incrementaron en 11.9% la grasa en LM. La concentración de grasa en el LM disminuyó linealmente conforme el nivel de Cr aumento en la dieta, pero las concentraciones de proteína se mantuvieron constantes y la proporción grasa: proteína en el LM incremento. Esto concluye que la suplementación con Cr-metionina tiene efectos moduladores en la canal reduciendo la grasa y la respuesta máxima a la suplementación con Cr fue en 1.20 mg/animal/día.

ABSTRACT

In feedlot industry is necessary to increase gain efficiency, particularly during the late finishing phase when cost of gain is highest. Thus, use of growth modulators in some countries is widespread. Although the safety of these additives has been verified through exhaustive evaluations, there remains some concern among consumers, and hence considerable effort is under way to advance the use of more 'organic' alternatives. The latter perception has generated interest in the search for generally-recognized-as-safe alternatives. Among these, the chelated minerals and yeast have shown promising results. Chromium (Cr) is an essential nutrient in animal nutrition that potentiates binding of insulin to receptor sites (Kegley et al 2000). Inorganic chromium is poorly absorbed in animals and humans (ranging from 0.4 to 3%; Anderson et al. 1983, 1989). However, absorption of supplemental Cr is enhanced when fed as a chelate (O'Quinn et al. 1998; Shelton et al. 2003). Chelated Cr supplementation of market and transit stressed feedlot calves has reduced plasma cortisol, enhanced rates of weight gain, feed efficiency, and humoral immune responses, and reduced morbidity compared to non-supplemented control calves (Burton 1995). More recently, the use of chelated chromium (as chromium-enriched yeast) supplementation modulated composition of weight gain in finishing ruminants (Valdés-García et al. 2011; Estrada-Angulo et al. 2013). Therefore two experiments in order to evaluate the effects of a source of chelated chromium in feedlot cattle finishing and lambs fed a high energy diet. Forty crossbred steers (245 ± 0.95 kg) were used in a 222-day feeding trial to assess the effects of a supplementation of chelated chromium-enhanced extract of enzymatically hydrolyzed yeast (Cr-EHY) on growth performance, dietary energetics and carcass characteristics in feedlot cattle finishing during high ambient temperatures. Treatments consisted of a steam-flaked corn-based diets supplemented with 0 or 0.4 g/kg of diet with Cr-EHY (0.3 g/kg of TruMax plus 0.1 g/kg of chelated Cr). Both dry matter intake (DMI) and climatic variables were measured weekly and the temperature humidity index (THI) was estimated. Daily maximal THI that exceeding a THI value of 72 was reached in 213 of the 222-day study (avg. THI = 75.24). During the initial 112-day period (including the receiving and diet transition phases), Cr-EHY increased average

daily gain (ADG) (7%, $P = 0.03$). This effect was due to a tendency ($P = 0.07$) for increased DMI. There were no treatment effects on gain efficiency and dietary net energy (NE). Overall, however, there were no treatment effects on growth performance or dietary NE. Nevertheless, Cr-EHY supplementation had a modulating effect on carcass quality, decreasing carcass fat thickness (10%, $P = 0.09$, and increasing longissimus muscle area (7%, $P < 0.01$) and retail yield of boneless closely trimmed primal cuts (2%, $P = 0.07$). Results indicate that supplementation with a chelated chromium enhanced extract of enzymatically hydrolyzed yeast can have beneficial effects on feed intake and daily weight gain, particularly during the initial receiving growing phase. It also appears to have a modulating effect on carcass quality, enhancing muscularity and reducing external fat. These results indicate that Cr supplementation has a modulating effect on carcass quality and may enhance DMI and corresponding ADG of feedlot cattle during periods of high ambient temperature. In a second experiment twenty four male lambs were used in order to evaluate the effects of high-level chromium methionine (Cr) supplementation in high-energy finishing diets on the carcass characteristics and chemical composition of longissimus muscle (LM). Treatments were: 1) 0.00; 2) 0.60; 3) 1.20, and 4) 1.80 mg Cr/lamb/day. The experiment lasted 56 days. Supplemental Cr tended to decrease kidney-pelvic-fat, and linearly decreased ($P=0.01$) fat thickness enough to improve the estimated yield grade from 1.82 to 1.42 with no effect on the other carcass measured. After 56-d of fattening, non-supplemented lambs increased up to 11.9% fat in LM. Fat concentration in LM decreased linearly as level of Cr increased in diet, but protein concentration remain constant and so, protein:fat ratio in LM increased. It is concluded that Cr methionine supplementation have a modulating effect on carcass by reducing fat, maximal responses to Cr supplementation was reached at a dose of 1.20 mg/head/day.

INTRODUCCIÓN

En los sistemas de producción animal siempre ha sido necesaria la búsqueda de técnicas que logren aumentar y hacer más eficiente dicha producción (incremento en la tasa de crecimiento/unidad de alimento) y aceptabilidad en el mercado (aumento en la proporción músculo: grasa en el producto). Para ello son utilizados actualmente una serie de drogas y compuestos agregados como aditivos alimenticios (Bradley et al., 2007; Fajt, 2007). Sin embargo, en gran cantidad de mercados internacionales, los productos obtenidos a través de estos sistemas no son autorizados para su consumo o comercialización. Por lo anterior, el uso de aditivos alimenticios que regulen el crecimiento y modifiquen la composición de la canal y que sean generalmente reconocidos como seguros (GRAS, por sus siglas en inglés) es cada vez más relevante. El cromo trivalente (Cr) es un componente esencial del factor de tolerancia a la glucosa el cual potencia la acción de la insulina mediante la mejora de su unión a los receptores de las células blanco, y también por la mejora el efecto post-receptor de insulina (Pallauf y Müller, 2006). La insulina, a su vez, aumenta la síntesis de proteínas, la eficiencia del transporte de aminoácidos, reduce la tasa de degradación de las proteínas e incrementa la utilización de carbohidratos y lípidos favoreciendo la tasa de crecimiento y cambios en la composición muscular (Pechová and Pavlata, 2007). La presencia de Cr (inorgánico o quelado) en cultivos celulares ha resultado en aumentos en la deposición de proteína en células del músculo esquelético en ratas, esto como respuesta al aumento del RNAm para IGF-1 e IGF-1R (Peng et al., 2010). Sin embargo, el Cr inorgánico es pobremente absorbido en animales y humanos (el rango de 0.4 al 3%) independientemente de la dosis o el estatus dietético de Cr (Anderson et al., 1983; 1989). La absorción del Cr dietético se aumenta cuando se consume como mineral quelado tal como el complejo Cr-propionato o Cr-Metionina (O'Quinn et al., 1998; Shelton et al., 2003). La quelación puede obtenerse industrialmente a través de procesos químicos (Daintith, 2000) o bien a través de su inclusión en cultivos de microorganismos o levaduras (Mahan, 1995). Los microorganismos actúan como “queladores naturales” ya que incorporan los metales cationes dentro de sus proteínas celulares, polisacáridos y ácidos polinucleicos, de esta manera, la adición de Cr

inorgánico a los procesos de fermentación de levaduras incrementa su concentración de Cr quelado (Underwood and Suttle, 1999). Estudios previos (Petersen et al., 1987; Cole et al., 1992) han demostrado que animales alimentados con levaduras reducen la excreción mineral e incrementan la retención diaria y el total de mineral metabolizable, lo que implica la posibilidad de que el Cr proveniente de levaduras sea utilizado más eficientemente que el Cr quelado obtenido a través de procesos químicos. El cromo, ya sea quelado (Cr-propionato o Cr-metionina) o integrado a otros componentes orgánicos (levaduras enriquecidas con cromo), no tiene restricciones en su uso como aditivo alimenticio para animales (EFSA, 2009). Como resultado de la acción del Cr en el metabolismo, este favorece el crecimiento de tejido magro en mamíferos y aves. En este sentido, se han observado aumentos en la proporción de en cerdos suplementados con Cr (Page et al., 1993; Mooney y Cromwell, 1995). De igual forma, se ha observado un incremento de canales magras en aves suplementadas con Cr (Sahin et al., 2002a). Por otra parte, la suplementación con Cr a vacas en lactancia resultó en incrementos en la concentración de IGF-1 con una tendencia a la reducción de la proporción de insulina a glucagón, incrementando la gluconeogénesis o la glucogenólisis (Subiyatno et al., 1996). De igual manera, la suplementación con Cr ha demostrado *in vitro* efectos positivos sobre la tasa de fermentación ruminal (Besong et al., 2001) e *in vivo* ha incrementado la digestión total de la MS en cerdos (Kornegay et al., 1997). En investigaciones previas (Chang and Mowat, 1992; Chang et al., 1992), realizadas con becerreros estresados, se demostró que la suplementación con Cr en los primeros 28 días de su arribo aumentó el consumo de materia seca y la ganancia de peso, sin embargo no se observó diferencia en ganancia o eficiencia entre ambos grupos a los 56 días. Aun y cuando los niveles óptimos de Cr parecen estar en el rango de 0.3 a 1.2 mg/kg de MS (Pechová et al., 2007, Barajas et al., 2008, Valdés et al., 2012), los requerimientos de Cr, ya sea como mineral o como aditivo alimenticio, no han sido establecidos para rumiantes en finalización (NRC, 1997; Murdoch et al., 2006). La investigación relevante es limitada y los resultados contradictorios ya que en algunos estudios el uso de Cr como aditivo alimenticio ha resultado positivo (Pechová et al., 2002; Barajas et al., 2008) mientras que en otros no ha habido efecto (Kitchalong et al., 1995; Swanson et al., 2000, Besong et al., 2001), esta divergencia dada

posiblemente por las diferencias existentes entre esos estudios en relación a la fuente de Cr utilizada, al nivel de suplementación, al contenido energético de la dieta, a la duración del suministro o a la etapa de crecimiento (composición de ganancia) de los animales al momento de la suplementación.

HIPÓTESIS

El uso de cromo quelado como potencial aditivo alimenticio en rumiantes finalizados en corral favorece la digestión de nutrimentos, desempeño productivo, la energía de la dieta resultando en un mejor rendimiento productivo. La dosis utilizada puede afectar el nivel de respuesta.

OBJETIVOS

Determinar el nivel de Cr quelado adicionado a dietas altas en energía (finalización) que posea efectos moduladores de crecimiento, utilizando como referencia, el impacto sobre el desempeño productivo y la retención de energía consumida.

Evaluar la eficacia de la suplementación de Cr quelado en las presentaciones de Cr-propionato y levadura enriquecida con Cr, utilizando como referencia, su efecto sobre la digestión de nutrimentos, la función ruminal, la eficiencia microbiana, el flujo de proteína microbiana a duodeno y la energía digestible de la dieta.

REVISIÓN DE LITERATURA

Crecimiento animal

Es considerado como una retención neta de nutrientes y sus metabolitos que inicia en la concepción y continúa mientras el aporte de nutrientes exceda los requerimientos del metabolismo oxidativo de los tejidos y la regeneración de los mismos (Bell et al., 1987).

El crecimiento es un proceso biológico que se inicia en el cigoto, se caracteriza por un aumento en el tamaño individual de las células (hipertrofia) o bien un aumento en el número de células en el tejido (hiperplasia), en tres capas germinales, ectodermo, mesodermo y endodermo. Estas capas se dividen en 5 tejidos, epitelial, conectivo, muscular, nervioso y vascular, (Lawrence y Fowler, 1997).

Brody (1945), definió el crecimiento como el aumento de masa registrado en un espacio de tiempo determinado ya sea en una parte o en todo el organismo sometido a medida.

Una descripción completa de crecimiento debería involucrar: Síntesis de compuestos orgánicos de alto peso molecular como proteínas y lípidos. Reproducción intracelular idéntica realizada por unidades biológicas básicas (genes). Crecimiento celular (hiperplasia e hipertrofia). Crecimiento total del organismo (Gonzales, 1980).

Los factores que afectan el crecimiento se agrupan en 3 tipos; genéticos, ambientales y hormonales. En el genético se determina el potencial máximo de crecimiento, el cual se da dependiendo de los factores ambientales como; temperatura, humedad relativa y nutrición y finalmente los factores hormonales que determinan el crecimiento en forma directa o indirecta (Gonzales, 1980).

La comunicación entre células tiene un sistema de reconocimiento que traduce las señales de extracelulares a intracelulares. En la mayoría de células los receptores de membrana funcionan como neurotransmisores del FC. El reconocimiento y la traducción de señales extracelulares se encuentran involucrados en el crecimiento celular, metabolismo, movimiento, secreción y morfología (Brown, 1987).

Las señales que estimula la adenohipofisis en las neuronas hipotalámicas resultan en la secreción del factor liberador de la hormona del crecimiento y somatostatina. En la secreción de la GH participan varias regiones del hipotálamo como el área preoptica, núcleo anterior, núcleo supraquiasmático, paraventricular, ventromedial e infundivular (Bell et al., 1987).

La hormona de crecimiento (GH) circula en el plasma, actuando en diversos tejidos y su efecto es mediado por los somatomedinas, C, IGF-I, IGF-II, los IGFs son mitogénicos y no mitogénicos en diferentes tejidos, actúan en forma local o a distancia, sus componentes son los péptidos, sus receptores y las proteínas transportadoras (Blackman et al., 2002).

La interacción de todos estos factores con los receptores celulares resulta en la síntesis de DNA y proliferación celular. La respuesta de la célula a los somatomedinas depende de la cantidad de receptores y su afinidad con los péptidos (Blackman et al., 2002).

La GH tiene un efecto estimulatorio para producir IGF-I en el hígado, las restricciones de energía y proteína bloquean esta estimulación. La IGF-I está involucrada con insulina, hormona tiroidea, glucocorticoides, epinefrina, andrógenos, estrógenos y otros factores del crecimiento (Brown, 1987).

El crecimiento posnatal (Figura 1) se representa con una curva sigmoideal donde inicialmente hay una mayor tasa de crecimiento de los órganos vitales (cerebro, sistema nervioso) posteriormente sistema óseo, seguido de muscular y finalmente

adiposo. Cuando el animal alcanza 50% a 60% del peso maduro incrementa la deposición de grasa.

Algunos autores denominan distintas fases una donde solo se alcanza el 20% del crecimiento total, la fase de aceleración, donde se tiene un ritmo de crecimiento constante y se alcanza el 75% del crecimiento y al llegar al punto de inflexión en la curva aumenta la deposición de grasa (fase de inhibición), se llega hasta el 90% del crecimiento y finalmente llega la fase de madurez donde solo se acumula tejido adiposo y posteriormente la vejez o fase de declinación.

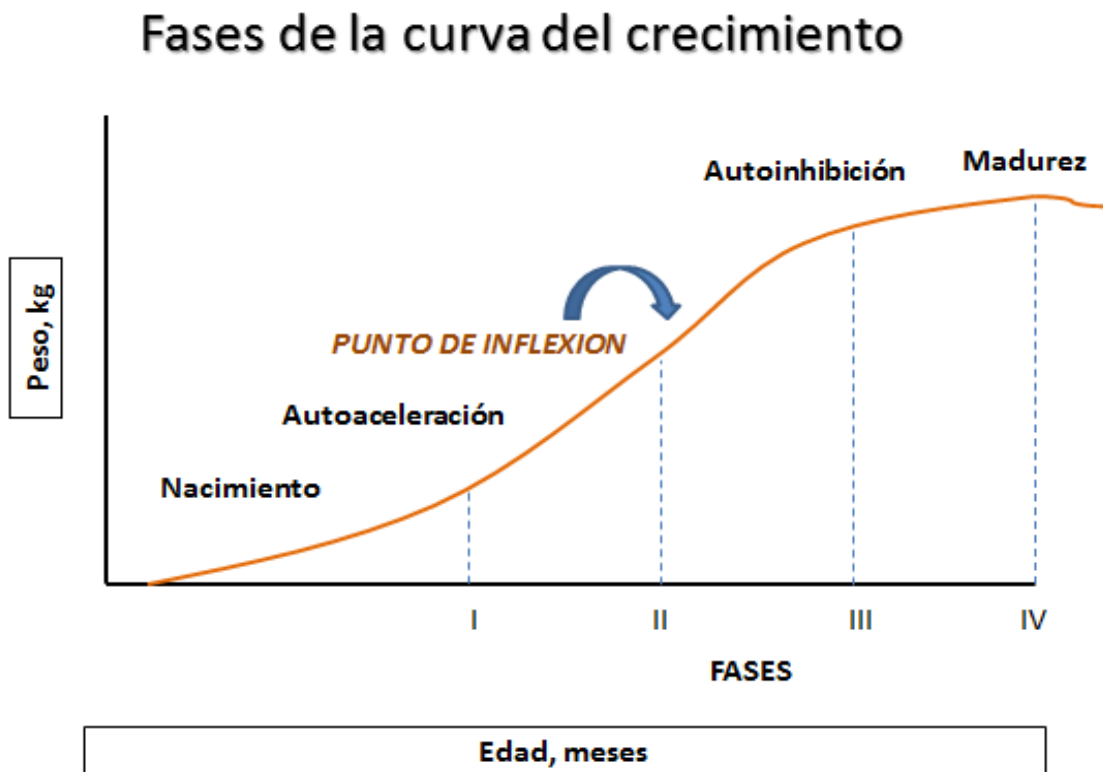


Figura 1. Fases del crecimiento

El crecimiento generalmente se mide en términos de la cantidad de peso ganado, el cual proviene de la asimilación en los tejidos corporales de los nutrientes ingeridos, sin embargo, el crecimiento es un proceso muy complejo. Generalmente se divide al crecimiento en dos fases, crecimiento y finalización. Los animales jóvenes en la fase de

crecimiento muestran un incremento relativamente rápido en la estatura, con aumento en la masa muscular, hueso, órganos y tejidos conectivos (Church y Pond, 1987). Conforme el animal madura, el crecimiento de estos tejidos se reduce y la deposición de grasa se incrementa, en la fase denominada de finalización.

El crecimiento no es sincrónico y provoca cambios en las proporciones de los componentes corporales, los órganos vitales crecen y maduran más rápidamente, posteriormente tejido óseo y otras partes como tejido muscular y graso (Figura 2).

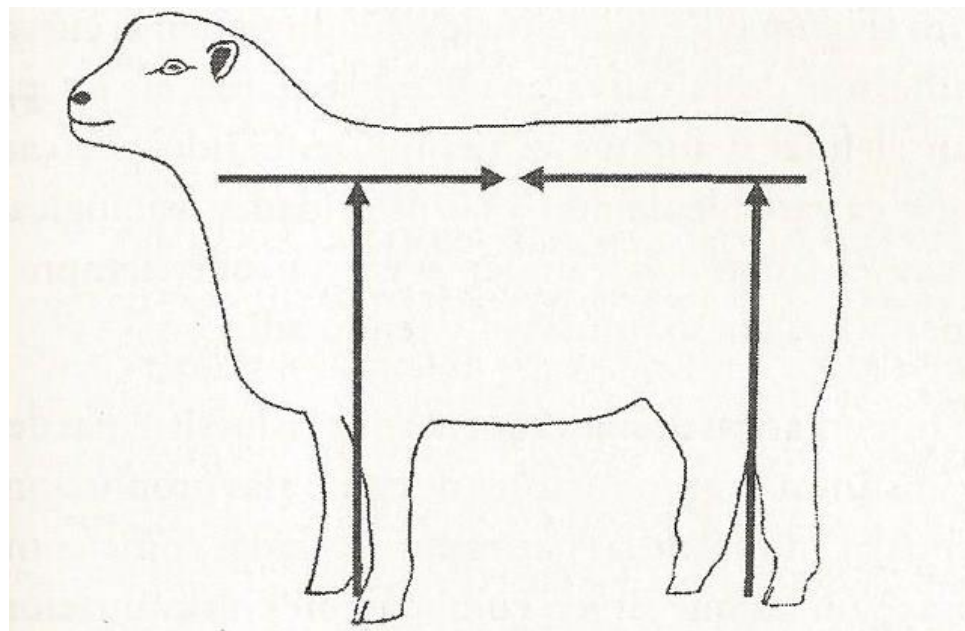


Figura 2. Crecimiento asincrónico

Los modelos más utilizados para describir el crecimiento de los animales son modelos biológicos, como las funciones Brody; 1945, Von Bertalanffy; 1957, (Richards, 1959), logística (Nelder, 1961) y Gompertz (Laird, 1965).

Brody	$Y=A(1-Be^{-kt})+\mathcal{E}$
Von Bertalanffy	$Y=A(1-Be^{-kt})^3+\mathcal{E}$
Richards	$Y=A(1-Be^{-kt})^{-m}+\mathcal{E}$
Logístico	$Y=A(1+e^{-kt})^{-m}+\mathcal{E}$
Gompertz	$Y=Ae^{Be(-kt)}+\mathcal{E}$

Donde: Y = el peso

A =peso asintótico cuando t tiende a infinito

B = es un parámetro de ajuste cuando $Y \neq 0$ o $t \neq 0$

k =es un índice de madurez expresado como una proporción de porcentaje del máximo crecimiento con respecto al peso adulto del animal

m = es el punto de inflexión

$\mathcal{E}$ = *residuo asociado en el tiempo*

Brody, (1945) describió el crecimiento animal con la siguiente ecuación:

$$W=A(1-e^{-k(t-t_0)})$$

Donde;

W = peso al tiempo t

t = tiempo

k = constante exponencial

$e=2.718$

A =peso maduro

De estos estudios nació el concepto de edad fisiológica y edad cronológica ya que debido a los sistemas de alimentación y crecimiento los animales pueden desfasar su edad fisiológica de la cronológica.

Posteriormente Taylor, (1965) mostraron la relación entre la tasa de maduración y el peso maduro con la constante de la edad metabólica (peso maduro^{0.27}).

$$(A)/(A^{0.27})=A^{0.73}$$

Esto se denominó función alométrica, Huxley (1934)

$$Y= A \cdot X^b$$

Donde:

Y= peso del componente en estudio

X= peso entero

b= pendiente exponencial

El crecimiento animal puede ser descrito por medio de funciones matemáticas que predicen el desempeño de la evolución del peso vivo, dichas funciones permiten realizar evaluaciones sobre el nivel de producción en las empresas ganaderas. Además, proveen información que permite realizar programaciones de alimentación, de capacidad de carga y medir cambios genéticos de una generación a otra que estén relacionados con el nivel de producción (Gonzales, 1980).

Un modelo apropiado de crecimiento debe suministrar información sobre parámetros que pueden ser interpretados biológicamente; además, si se hace un buen uso del modelo se pueden obtener características que son de importancia en el crecimiento animal (Gonzales, 1980).

Dentro de la materia seca del músculo, órganos, y tejido conectivo, la proteína es el mayor constituyente, por lo tanto, la proteína es el principal nutriente requerido durante la etapa del crecimiento (Bell et al., 1987).

La energía es requerida para síntesis de proteínas, por lo que también es necesaria en el proceso del crecimiento (Gonzales, 1980).

Crecimiento Compensatorio

Cuando el fenómeno biológico del crecimiento se restringe en forma severa, se puede afectar el crecimiento del animal en forma irreversible. Sin embargo, es posible mantener a animales jóvenes sin cambio de peso por períodos relativamente cortos y observar un crecimiento anormalmente acelerado en una etapa de realimentación posterior al período de restricción. En estos períodos de realimentación, la mayoría de los

animales jóvenes tienen mayores ganancias de peso y mayor eficiencia. Esto se denomina crecimiento compensatorio y es un factor importante en algunos sistemas de producción de carne (Figura 3).

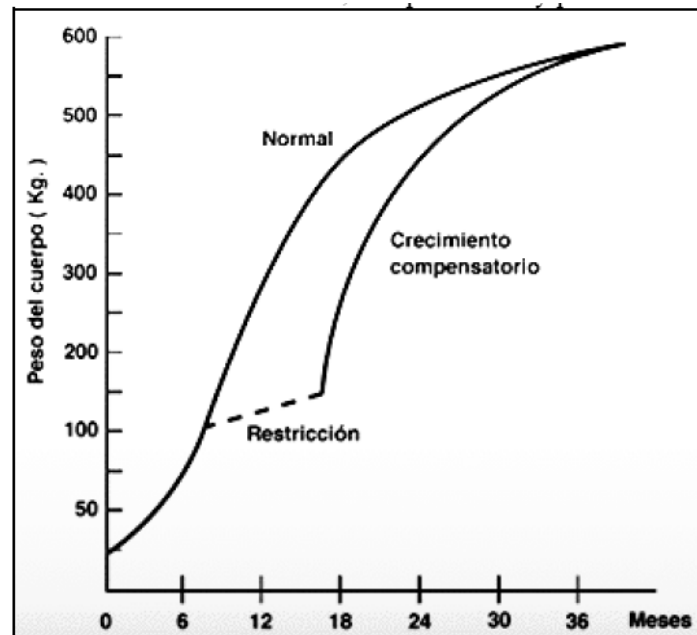


Figura 3. Crecimiento compensatorio

Factores de crecimiento

Los factores de crecimiento son secretados de forma paracrina o autocrina por varios tipos de células relacionados directamente con la regulación de la proliferación y diferenciación celular y por el incremento de la proliferación celular y morfología celular aunque fueron inicialmente postulados como mediadores de las acciones de la hormona del crecimiento y como factores semejantes a la insulina (Moxley, 1994).

IGF

El sistema IGF está compuesto por dos tipos de receptores, estructural y funcionalmente diferentes, dos ligandos (IGF-1 e IGF-2) y seis proteínas de unión al IGF (IGFBPs), proteasas responsables de la liberación de los factores de crecimiento,

ya sea por división del precursor o por proteólisis de estas proteínas de unión (Moxley, 1994).

Muchos efectos del GH ocurren indirectamente a través de los factores de crecimiento (IGFs). EL IGF-1 es lo más importante, producido por las células hepáticas, exhibiendo una estructura semejante a insulina, con sus receptores encontrados en muchos tejidos y similares al receptor de insulina (Moxley, 1994).

La acción del IGF-1 es ejercida localizadamente y más largamente, en forma secretada (Morley et al., 1997). EL IGF-1 puede ser sintetizado en la misma célula en que actúa (autócrino) o en células vecinas (parácrino) (Morley et al., 1997). Por lo tanto, los niveles de IGF-1 pueden no reflejar solamente una medida de GH, ya que las expresiones locales de IGF-1 en varios tejidos son GH-independientes (Arvat et al., 2000).

El IGF-1 se encuentra circulando en la forma libre y ligado a proteínas carreadoras (IGF *binding proteins* – IGFBPs) y forman un complejo influenciado por estados deficientes o aumentados de GH (Arvat et al., 2000). Según Morley et al., (1997), el IGF-1 tiene un importante papel en la función cerebral, en el aumento de la síntesis de mielina, en el desarrollo y crecimiento neuronal, en el aumento de la síntesis de proteínas y con efectos neurotróficos, que aumentan la reinervación de las fibras musculares. Este factor de crecimiento estimula la incorporación de sulfato de condroitina (composición ósea). Esa importante función es caracterizada por el estímulo a la formación de la actividad de los osteoblastos y preservación de la matriz ósea (Arvat et al., 2000).

Los bajos niveles de IGF-1 y del IGFBP-3 en adultos se asocian a obesidad, al cambios en composición corporal, a síntesis de proteína, a baja del número de miócitos, acumulación de fibrosis y colágeno, que favorecen el deterioro en la conducción del sistema miocardio y en la función de los receptores adrenérgicos, la

disfunción endotelial, la reducción de la capacidad de rendimiento entre otros (Blackman et al., 2002).

La GH e IGF-I se son reguladores endocrinos para el crecimiento muscular en ganado. Trenkle y Topel (1978) reportaron que existe correlación entre GH, el porcentaje de grasa de la canal y porcentaje de músculo de la canal.

El IGF-I y la GH presentaron una correlación negativa con grasa dorsal, KPH, grado de marmoleo y grado de rendimiento (Anderson et al.1988) en relación con la deposición de grasa de la canal de bovinos.

Bishop et al (1989), reportaron bajas correlaciones (negativas) entre KPH, el rendimiento y la profundidad de grasa dorsal, alimentando novillos durante 140d, Connor et al. (2000) encontraron que los toros con una mayor concentración de IGF-I en suero tuvieron una mayor área del ojo de la costilla.

El estrés térmico, la etapa de desarrollo del animal (Anderson et al, 1988; Bishop et al, 1989; Connor et al, 2000) y el consumo de alimento, son factores que influyen en las concentraciones circulantes de IGF-I siendo en primavera más elevados en comparación con el verano e invierno ($P < 0.001$).

Levaduras

Levadura es un nombre genérico que agrupa a una variedad de organismos unicelulares, las cuales incluyen especies patógenas para plantas y animales, y especies no solamente inocuas sino de gran utilidad (González y Valenzuela, 2003). Las especies difieren entre si debido al origen donde se encuentren, morfología, y a la manera como metabolizan los diversos substratos y a la forma en la que se reproducen. *Saccharomyces cerevisiae* es una levadura que constituye el grupo de microorganismos inocuos. Su nombre deriva del vocablo Saccharo (azúcar), myces (hongo) y cerevisiae (cerveza). Las levaduras son organismos facultativos anaerobios

lo cual significa que pueden sobrevivir con o sin oxígeno. La propagación de las levaduras es un proceso aerobio mediante el cual la levadura convierte al oxígeno y el azúcar, mediante el metabolismo oxidativo, en bióxido de carbono y energía libre utilizable para el crecimiento celular eficiente de la levadura (Carro et al., 1992).

En este sentido *Saccharomyces cerevisiae* es asociada al grupo de microorganismos que están relacionados íntimamente a la mejora productiva. Los resultados de la investigación in vivo han sido variables en cuanto a los efectos directos de suplementación de levaduras a piensos de rumiantes en la utilización de nutrientes y rendimiento productivo (González y Valenzuela, 2003).

Algunos investigadores (Williams et al., 1991) observaron que el consumo de levaduras aumentó el número de bacterias en el rumen y estimuló la producción de algunos productos finales de la fermentación. Esto sugiere que ciertos cultivos de levaduras pueden ser factores de crecimiento para la población de los microbios rúmiales.

Saccharomyces cerevisiae desempeña un papel destacado en el aumento de la fermentación, la administración continua de cultivos de *S. cerevisiae* o *A. orizae* origina un aumento del número de bacterias anaerobias y bacteria celulolíticas en rumen, así como un incremento en su actividad (Newbold, 1995), además se produce un aumento en la degradación de fibra y en la producción de ácidos grasos volátiles, lo cual se traduce en una mejora de la eficiencia de la utilización del alimento. Además al aumentar la degradación de la fracción fibrosa del alimento se puede estimular el consumo por los animales, tal y como se ha observado en algunos estudios (Frumhotz et al., 1989).

Cromo

El cromo (Cr) es un elemento mineral esencial que ha recibido atención considerable ya que se le atribuyen algunos efectos benéficos sobre la función biológica del ser humano. El cromo químicamente existe en varios estados de oxidación desde -2 hasta +6. Los estados de oxidación más estables son el trivalente (+3) y el hexavalente (+6). El Cr^{+3} es la forma con más estabilidad química y se enlaza a ligandos que contienen nitrógeno, oxígeno o radicales sulfuro, formando complejos octaédricos; por su parte, el Cr^{+6} es tóxico para el organismo (Barrett y O'Brien, 1985).

El cromo es un metal ampliamente distribuido en el suelo como cromato en concentración de 250 $\mu\text{g/kg}$, entre 100 a 500 $\mu\text{g/kg}$ en plantas y de 20 a 590 $\mu\text{g/kg}$ en alimentos y al igual que otros minerales trazas, el cromo está presente en estados de oxidación de -2 a +6 (Jeejeebhoy, 1977) donde la forma hexavalente (Cr^{+6}) es reconocida como toxica y se encuentra principalmente en sustancias provenientes de procesos industriales (Hunt y Stoecker, 1996).

Como metal carece de toxicidad, pero sus productos de oxidación (ácido crómico, cromatos, bicromatos) son muy tóxicos por su acción cáustica. La principal aplicación es la de formar aleaciones con el acero (Gómez et al. 2004).

El cromo en su forma quelada es más asimilado por el organismo (Gadd, 1995; Hemken, 1997); Un quelato puede definirse como un complejo formado entre un ligante y un ión metálico, donde el ligante (o agente quelante) debe contener grupos funcionales capaces de donar un par de electrones para poder combinarse a través de una unión covalente con un metal (Langwinsky y Patino, 2001). Dichos quelatos son necesarios para prevenir la hidrólisis y precipitación del Cr. Entre las formas de cromo orgánico (o quelado) más utilizadas están el picolinato de cromo (Pic-Cr), el cromo niacina (Cr-Niac.), el cromo-levadura (Cr-Lev.) y el cromo metionina (Cr-Met.) (Metz., 1993b). El Cr en la levadura está disponible como ácido nicotínico junto con el ácido glutámico, la cisteína y la glicina (Anderson *et al.*, 1987).

Fuentes de Cromo

El cromo 3 se encuentra de manera natural en diversos tipos de alimentos entre los cuales por su alto contenido destacan las setas, la levadura de cerveza, la pimienta negra, granos, las carnes, las frutas y vegetales frescos, tienen menores concentraciones de dicho metal (Gómez et al., 2004).

Funciones del Cromo

El Cromo tiene acción sobre la actividad de la lipoproteína lipasa y existen reportes de su acción en el metabolismo del colesterol, en este sentido también participa en el metabolismo de los glúcidos y ácidos nucleicos (Soengas et al., 1996). La función más conocida del cromo se relaciona con la prevención de la intolerancia a la glucosa, la acción biológica del cromo se debe a la unión de éste en un complejo con el ácido nicotínico y los aminoácidos, el factor de tolerancia a la glucosa (Evans y Bowman, 1992). Al optimizar la tolerancia de la glucosa se puede beneficiar su utilización y mejorar la eficiencia de crecimiento a largo plazo (Guan et al., 2000), en este sentido recientemente se ha encontrado la existencia de relación entre la ingestión de derivados crómicos y el desarrollo de insuficiencia renal (Evans y Meyer, 1992).

El signo más común de la deficiencia de cromo es la intolerancia a la glucosa, pudiendo acompañarse de un incremento en los niveles de insulina circulante, glucosuria, disminución de la longevidad, altos niveles de colesterol y triglicéridos, alteraciones en el crecimiento, neuropatías y encefalopatía (Cuadro 1). Las manifestaciones de su toxicidad consisten en dermatosis, la cual se presenta bajo dos formas: úlceras cutáneas y dermatitis alérgicas. La acción irritante de las sales de cromo puede provocar cuadros inflamatorios de las vías respiratorias (DeFlora y Wetterhahn, 1989).

Cuadro 1. Signos y síntomas de la deficiencia de cromo

Función	Especie
Intolerancia a la glucosa	Humano, rata, ratón, ardilla, mono y conejillo de indias
Niveles circulantes de insulina	Humano, rata y cerdo
Glucosuria	Humano y rata
Hiper glucemia en ayunas	Humano , rata y ratón
Alteraciones en el crecimiento	Humano, rata , ratón y pavo
Colesterol sérico elevado y triglicéridos	Humano, rata, ratón, ganado y cerdo
Aumento de incidencia de placas de la aorta	Conejo, rata y ratón
Lesión corneal	Rata, ardilla y mono
Disminución de la longevidad	Rata y ratón
Disminución de masa corporal magra	Humano, cerdo y rata
Elevado porcentaje de grasa corporal	Humano y cerdo
Respuesta inmune humoral mejorada	Ganado
Morbilidad	Ganado

Los estudios epidemiológicos han demostrado la acción cancerígena del cromo y sus compuestos. La localización de estos cánceres se produce sobre todo en el pulmón, por la acción de los cromatos y dicromatos alcalinos (Gerhardsson y Nordberg, 1993).

Uso del Cromo en Animales

El cromo ha sido considerado un nutriente esencial para animales (Anderson, 1987), aún no está sustentada la adición de cromo en las dietas comerciales para rumiantes; Sin embargo los esfuerzos en la investigación, tienen identificadas dos situaciones en la que su suplementación comercial puede tener efectos benéficos a la recepción de ganado destinado para engorda y ganado lechero a la primera lactancia durante su periodo de transición (NRC 1997).

En este sentido se ha probado el efecto del picolinato de cromo en diferentes especies sobre indicadores productivos como ganancia de peso y consumo de alimento

y los diferentes autores han observado resultados inconsistentes utilizando 200ppm, (Cuadro 2).

Cuadro 2. Efecto de 200ppm de picolinato de cromo sobre GDP y CDA en diferentes especies

Especie	variable	Control	200ppm Pic Cr	Autor
Ovinos	GDP	2.750	2.700	Kitchalong et al, 1996
	CDA	1.960	1.880	
Porcinos	GDP	0.929	0.979	Mooney and Cromwell, 1993
	CDA	2.940	3.060	
	CDA/GDP	3.190	3.130	
Porcinos	GDP	0.807	0.870	Page et al, 1993 (exp 1)
	CDA	2.790	2.850	
	CDA/GDP	0.291	0.307	
Porcinos	GDP	0.910	0.904	Page et al, 1993 (exp 2)
	CDA	2.740	2.680	
	CDA/GDP	0.333	0.332	
Porcinos	GDP	0.686	0.727	Page et al, 1993 (exp 3)
	CDA	2.090	2.080	
	CDA/GDP	0.328	0.349	

Page et al. (1993) en diferentes experimentos reportaron una disminución del colesterol sérico administrando 200ppm CrP/kg de alimento durante 12 semanas; sin embargo observaron resultados inconsistentes en cuanto a insulina y triglicéridos. Kitchalong et al, (1995), utilizando esta misma dosis en ovinos tuvieron una disminución del 19.6% en insulina y 0.66% en colesterol comparado con el grupo testigo (Cuadro 3).

Page et al. (1993) demostraron una significativa reducción de (20%) en la grasa del área del ojo de la costilla y un aumento en el área del longissimus (16%) así como un aumento en el porcentaje total de músculos (6%) en cerdos tratados con 200ppm Pic-Cr comparados con su grupo testigo.

Cuadro 3. Efecto de 200ppm de picolinato de cromo usado en diferentes especies

Especie	variable	Control	200ppm Pic Cr	Autor
Ovinos	Insulinal μ U /ml	24.900	20.000	Kitchalong et al, 1996
	Colesterol mg/dl	44.900	44.600	
Porcinos	Insulinal μ U /ml	13.100	12.500	Page et al, 1993 (exp 1)
	Trigliceridos mg/dl	37.200	37.700	
	Colesterol mg/dl	82.000	73.300	
Porcinos	Insulinal μ U /ml	15.300	13.000	Page et al, 1993 (exp 2)
	Trigliceridos mg/dl	46.200	45.100	
	Colesterol mg/dl	101.800	97.100	
Porcinos	Insulinal μ U /ml	19.500	22.500	Page et al, 1993 (exp 3)
	Trigliceridos mg/dl	26.900	26.400	
	Colesterol mg/dl	101.000	98.600	

La suplementación de cromo en dietas para cerdos ha demostrado incrementos en los porcentajes de musculo hasta en un 7% y área del longissimus 18% mientras que hay una reducción en la grasa del área del ojo de la costilla y hasta 19% del colesterol (Page et al., 1993).

Metabolismo del Cromo

Se absorbe por vía digestiva, en el intestino delgado, especialmente en el yeyuno y en menor proporción en el íleon y duodeno (NRC, 1997), también por vía respiratoria y cutánea. La ración de cromo absorbido en intestino pasa a sangre y se distribuye en los órganos. El cromo posee una gran afinidad por las proteínas orgánicas, a las que se fija formando compuestos muy estables. Se fija también a los eritrocitos, pero no tiende a acumularse en el pulmón. Aminoácidos como la metionina y la histidina, así como la vitamina C, favorecen la absorción del cromo, en tanto los fitatos y los antiácidos la inhiben (Barrett y O'Brien 1985).

Cuadro 4. Efecto de 200ppm de pic-Cr sobre LM, AOC y % de Musculo en diferentes especies

Especie	variable	Control	200ppm Pic Cr	Autor
Ovinos	LM cm	15.000	13.600	Kitchalong et al, 1996
Porcinos	AOC cm	3.710	3.610	Mooney and Cromwell, 1993
	LM cm	30.000	29.320	
Porcinos	AOC cm	2.830	2.440	Page et al, 1993 (exp 1)
	LM cm	34.900	37.200	
	Musculo %	52.900	54.300	
Porcinos	AOC cm	3.150	2.630	Page et al, 1993 (exp 2)
	LM cm	34.000	39.900	
	Musculo %	51.700	54.700	
Porcinos	AOC cm	3.070	2.390	Page et al, 1993 (exp 3)
	LM cm	31.500	38.400	
	Musculo %	52.300	55.700	

En la Figura 4 se observa el transporte de los iones de cromo se lleva a cabo mediante la proteína transferina como respuesta a incrementos en las concentraciones de insulina plasmática. La acción primaria del cromo como complejo cromo-cromodulina es mediante un sistema de autoamplificación de la señal de la insulina por la activación de la región tirosinacinasasa en la subunidad beta del receptor de insulina, la cual modifica la captura de la glucosa y el metabolismo de los lípidos (Gómez et al., 2004).

La *cromodulina*, es un oligopeptido que tiene un peso molecular de 1500 Da y está constituido por cuatro tipos de aminoácidos: glicina, cisteína, glutamato, aspartato y enlaza a cuatro iones de cromo, esta se libera en la circulación sanguínea en respuesta a un estímulo que puede ser la hiperglucemia (Barrett y O'Brien 1985).

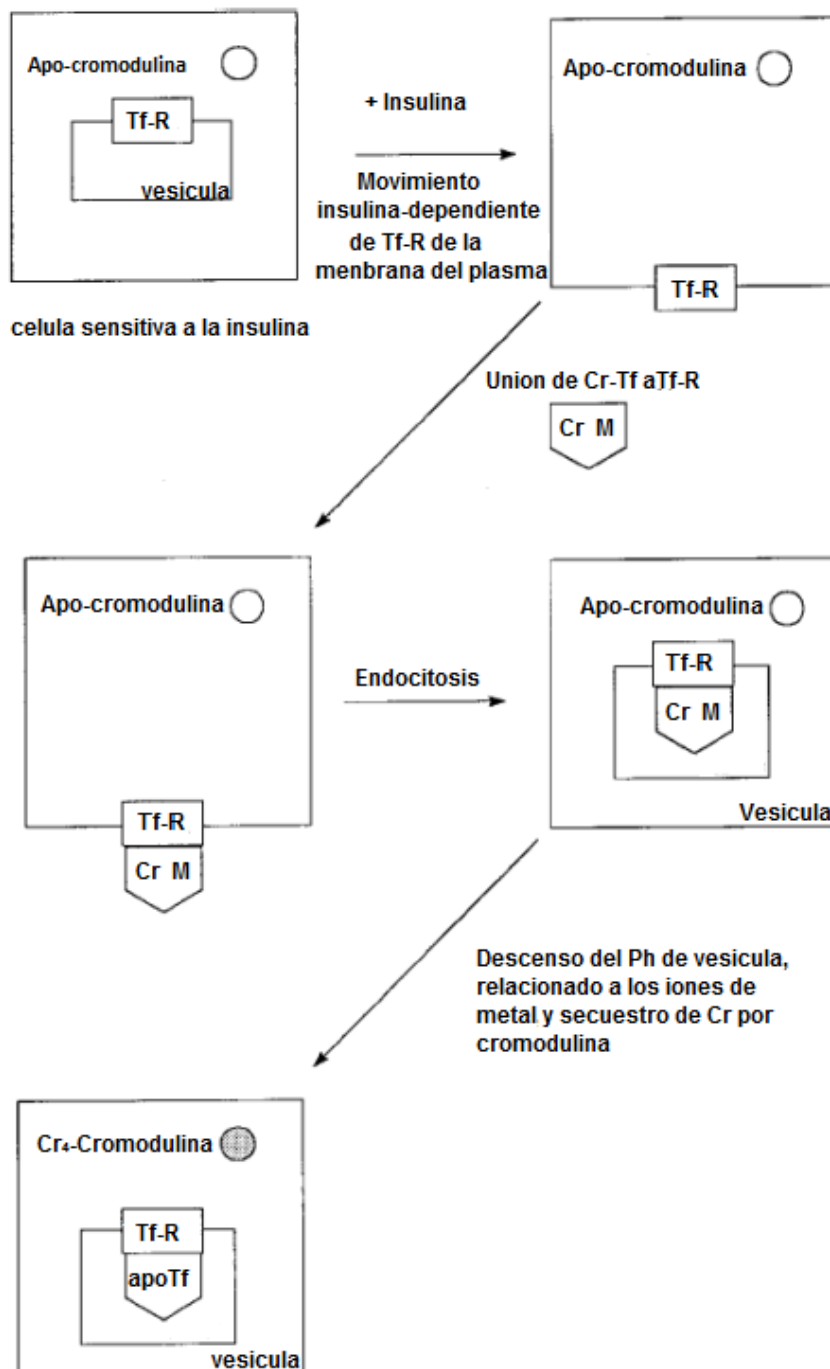


Figura 4. Transporte del cromo

En la Figura 5 se observa la activación de la región tirosinacinasasa en el receptor de insulina como respuesta a la insulina, comienza con la unión de la insulina a su receptor que permite la entrada del cromo existente en la sangre a las células dependientes de insulina; dentro de la célula, el cromo se une a la apocromodulina

(forma inactiva de la cromodulina porque no tiene iones cromo) y se convierte en cromodulina, la cual se une al receptor de insulina y activa la cascada de las cinasas. Cuando la concentración de insulina disminuye, la cromodulina se libera del receptor y se revierten sus efectos (Gómez et al. 2004).

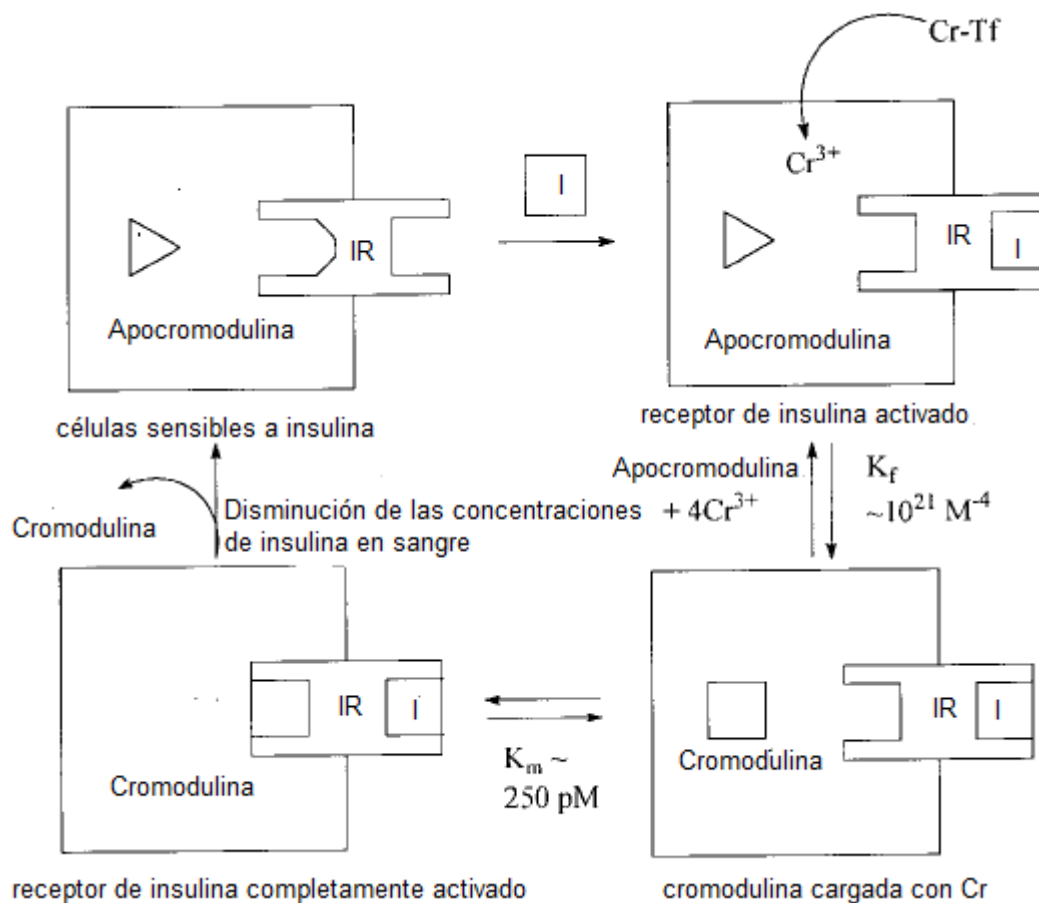


Figura 5. Funcion del cromo en sangre

En 1993, Striffer y colaboradores demostraron experimentalmente que el cromo ejerce acción en la expresión o actividad del receptor de insulina. Posteriormente, Lukaski describió la acción biológica del cromo en la regulación de la secreción de la insulina, con la finalidad de tener una mayor efectividad de la molécula de insulina.

Debido a que la insulina se encarga de la absorción de aminoácidos por los tejidos animales, el cromo debe prever su interacción en la biosíntesis de proteínas. Roginski and Mertz (1969), reportaron que la suplementación con cromo incrementa la

incorporación de aminoácidos en las proteínas del corazón, y la absorción de aminoácidos en tejidos de ratas.

El cromo en su estado trivalente está implicado en la integridad estructural y expresión de información genética en animales. La unión del cromo en los ácidos nucleicos es más estrecha que la de otros iones metálicos. El cromo protege al RNA de la desnaturalización por calor. Además se concentra en el núcleo de las células animales (Okada et al., 1982).

El cromo trivalente y el hexavalente son agentes desnaturalizantes de las proteínas y precipitantes de los ácidos nucleicos (Gómez et al., 2004). Cuando la insulina se liga a su receptor, facilita la entrada de glucosa de la sangre a las células musculares y es almacenada en forma de glucógeno; también incrementa el consumo de aminoácidos promoviendo el ensamble de proteínas a través de la síntesis de RNA y DNA; en este sentido, la insulina es la principal hormona anabólica y el cromo es necesario para construir tejido muscular (Hossain, 1998).

Por otra parte el cromo tiene acción sobre la actividad de la lipoproteína lipasa y existen reportes de su acción en el metabolismo del colesterol. Se ha observado que el cromo es necesario para un metabolismo lipídico normal y para minimizar la arterioesclerosis. Se han observado incrementos en las lipoproteínas de alta densidad (HDL), (Anderson, 1995); y disminuciones en el colesterol total, al igual que en las lipoproteínas de baja densidad (LDL) y triacilgliceroles en humanos que han sido suplementados con cromo (Anderson, 1995).

En cuanto a los requerimientos de este metal, el *NRC* recomienda que la ingestión de cromo para un adulto se sitúe entre 50 y 200 $\mu\text{g}/\text{día}$. Sin embargo, las necesidades diarias parecen cambiar cuando varía el metabolismo glucídico dependiente de la insulina, el de proteínas y el de grasas. El estrés, incluido el traumático e infeccioso, el calor o el frío intensos, elevan la secreción de hormonas, las

cuales alteran el metabolismo de glúcidos y aparentemente afectan también al metabolismo del cromo (Nielsen, 1988).

El contenido corporal de cromo en los adultos es de aproximadamente unos 6 mg. En los tejidos biológicos, el catión se encuentra fundamentalmente como Cr^{3+} , siendo en los pulmones donde la concentración de este catión es más elevada. La concentración de cromo en los tejidos, en la población general, ha demostrado ser dependiente de variaciones geográficas, con altas concentraciones presentes en sujetos residentes en grandes ciudades y con menores concentraciones en hígado y riñón (Goyer, 1996).

Excreción

La excreción de cromo ocurre principalmente a través de la orina y no hay una retención importante en los órganos. En los seres humanos el riñón excreta aproximadamente el 60% del cromo (VI) que se haya absorbido, en las 8 horas siguientes a la absorción, en forma de cromo (III). Alrededor del 10% de la dosis de cromo absorbida se elimina mediante excreción biliar y cantidades menores se eliminan en el pelo, pesuñas, leche y secreciones. En cuanto al cromo que fue ingerido en el agua y los alimentos, la mayor parte nunca se absorbe y se elimina con las heces después de unos días (Vincent, 1999).

Uso de Cromo-levadura

Petersen et al., (1987); Cole et al., (1992) demostraron que animales alimentados con levaduras reducen la excreción mineral e incrementan la retención diaria y el total de minerales metabolizables. Lo que implica la posibilidad de que el Cr proveniente de levaduras sea utilizado más eficientemente que el Cr quelado obtenido a través de procesos químicos. Como la levadura, el Cr tiene una mejor absorción y biodisponibilidad, por lo tanto el papel de cromo en la dieta animal es aumentar el interés sobre el uso del mismo como fuente adicional en la dieta de los animales para

la producción, este uso se justifica por un posible efecto estimulante sobre la tasa de crecimiento, respuesta inmune. En animales que son sometidos a cambios como el transporte, la vacunación y el cambio de alimentos, se vuelven más vulnerables y puede deberse a la deficiencia de cromo (Mowat et al., 1993). Los primeros estudios con Cr asociado al estrés con ganado fueron llevados a cabo por Chang y Mowat, (1992). En estos experimentos se comprobó que los animales expuestos al estrés y las dietas que contienen Cr suplementado (en forma de levadura, 2 mg de cromo por gramo de levadura), tienen mayor ganancia de peso ($P \leq 0.05$) y además mejora la eficiencia alimenticia ($P \leq 0.05$) y disminuye ($P \leq 0.05$) la concentración de cortisol en plasma.

Por otra parte Mowat et al. (1993), probaron dos fuentes de Cr orgánico (cromo quelado con levadura y aminoácidos) en la dieta de los terneros, y observaron menor concentración de glucosa sérica y de cortisol. La morbilidad de los terneros se redujo en un 55.6% con el tratamiento control y un 33.3% en los que se suplementaron con la levadura más cromo. De igual manera Pollard y Richarson (2007), utilizaron dos niveles de levadura con Cr (0.2 y 0.4) ppm, utilizándose una ración de engorda, suministrando 1.8 y 3.1 mg/cabeza/día. La ganancia diaria, el consumo de materia seca y la eficiencia alimenticia no se vieron afectados por el tratamiento de 0.2 ppm, pero el tratamiento de 0.4 ppm redujo la ganancia diaria y el consumo de MS aunque se observó un aumento en el área del musculo *longissimus dorssi*.

CONCLUSIONES

La suplementación con Cr influye en la liberación de insulina y la captación de glucosa en las primeras etapas de la vida y diferentes fuentes de Cr, así como diferentes niveles en la dieta y período de administración pueden producir respuestas diferentes en relación con el estrés. La suplementación con Cr en la dieta del ganado en los primeros 30 días de confinamiento puede aumentar la ganancia de peso y la eficiencia alimenticia. Por lo tanto nuevas investigaciones deben llevarse a cabo tratando de comprender los mecanismos implicados en el metabolismo de cromo con respecto a su adición en dietas para rumiantes.

La utilización de fuentes queladas de cromo como aditivo alimenticio se hace cada vez más popular por lo tanto el uso de este tipo de levaduras enriquecidas podría incrementar el potencial de respuesta a su suplementación ya que la levadura actúa a nivel de tracto digestivo mientras que el Cr lo hace a nivel tisular, así, la unión de levadura y cromo tendría un uso potencial con respecto a la eficiencia alimenticia y a la modificación de la composición de la ganancia.

Por otra parte, el uso de Cr como fuente adicional a la dieta de los animales para la producción se justifica por su efecto estimulante sobre la tasa de crecimiento, respuesta inmune y cambios metabólicos. Además de promover la acción de la insulina y absorción de glucosa por las células. Sin embargo, la respuesta a la adición del cromo también es variable siendo el factor principal su presentación, demostrándose que la forma orgánica presenta una mayor biodisponibilidad.

LITERATURA CITADA

- Amdur MO, Dull Jand Klaassen CD, 1991. Casarett and Doulls Toxicology. The basic science of poisons. 4a ed., Mc Graw-Hill,NY. 638-639pp.
- Anderson, R.A., M.M. Polanski, N.A. Bryden, E.E. Roginski,W. Mertz and W.H. Glinsmann. 1983. Chromium supplementation of human subjects: effects on glucose, insulin and lipid parameters. *Metabolism* 32:894–899.
- Anderson, R. A. 1987. Chromium. In: W. Mertz (Ed.) *Trace Elements in Human and Animal Nutrition* (5th Ed.). p 225. Academic Press, San Diego, CA.
- Anderson, P. T., W. G. Bergen, R. A. Merkel, W. J. Enright, S. A. Zinn, K. R. Refsal, and D. R. Hawkins. 1988. The relationship between composition of gain and circulating hormones in growing beef bulls fed three dietary crude protein levels. *J. Anim. Sci.* 66:3059–3067.
- Anderson, R.A., N.A. Bryden, M.M. Planski and M.P. Richards. 1989. Chromium supplementation of turkeys: Effects on tissue chromium. *J. Agric. Food Chem.* 37:131–134.
- Anderson RA: Chromium and parenteral nutrition. *Nutrition* 11:83–86, 1995.
- Anel Gómez García, Patricia Magaña Garns. Papel del cromo y del cinc en el metabolismo de la insulina. *Rev Med IMSS* 2004; 42 (4): 347-352.
- Arvat, E.; Broglio, F.; Ghigo, E. 2000. Insulin-like growth factor I: implications in aging. *Drugs Aging*. v. 16, n. 1, p. 29-40.
- AOAC, 2000. *Official Methods of Analysis*. Association of Official Analytical Chemists. Washington, D.C.

- Barajas, R. B. J. Cervantes, E. A. Velazquez, J. A. Romo, F. Juarez, P. J. Rojas, and F. R. Peña. 2008. Chromium methionine supplementation on feedlot performance and carcass characteristics of bulls: II. Results including trough hot and humidity season in the northwest of Mexico. *Proc. West. Sec. Am. Soc. Anim. Sci.* 59:374-377.
- Barrett J. and O'Brien P: 1985. Chromium (III) and the glucose tolerance factor. *Polyhedron* 4:1–14.
- Beede, D. K., and R. J. Collier. 1986. Potential nutritional strategies for intensively managed cattle during thermal stress. *J. Anim. Sci.* 62:543–554.
- Bell, A.W., D.E. Bauman and W.B. Currie. 1987. Regulation of nutrient partitioning and metabolism during pre and postnatal growth. *J. anim. Sci.* 65:186.
- Bernhard, B. C., N.C. Burdick, W. Rounds, R. J. Rathmann, J.A. Carrol, D.N. Finck, M. A. Jennings, T. R. Young and B. J. Johnson 2012. Chromium supplementation alters the performance and health of feedlot cattle during the receiving period and enhances their metabolic response to lipopolysaccharide challenge. *J. Anim. Sci.* 90, 3879-3888.
- Besong, S., J. A. Jackson, D. S. Trammell, and V. Akay. 2001. Influence of supplemental chromium on concentrations of liver triglyceride, blood metabolites and rumen VFA profile in steers fed a moderately high fat diet. *J. Dairy Sci.* 84:1679-1685.
- Bishop, M. D., R. C. M. Simmen, F. A. Simmen, and M. E. Davis. 1989. The relationship of insulin-like growth factor-I with postweaning performance in Angus beef cattle. *J. Anim. Sci.* 67:2872–2880.

- Blackman, M. R.; Sorkin, J. D.; Münzer, T.; Bellantoni, M. F.; Whitehead J. B.; Stevens, T. E.; Jayme, J. J.; O'Connor, K. G.; Christmas, C.; Tobin, J. D.; Stewart, K. J.; Cottrell, E.; Clair, C. S.; Pabst, C. M.; Harman, S. M. 2002. Growth hormone and sex steroid administration in healthy aged women and men. *Jama*. V. 288, n. 18, p.2282-2292.
- Borel, J. S. y R. A. Anderson. 1984. Chromium. Pp. 175–199 in *Biochemistry of the Essential Ultratrace Elements*, E. Frieden, ed. New York: Plenum Press.
- Bradley, J.J. and Chung K.Y. 2007. Alteration in the physiology of growth cattle with growth-enhancing compounds. In: *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. L.C. Hollis and K.C. Olson. Eds. W.B. Saunders Co., Philadelphia, PA, pp. 321-332.
- Brody, S.1945. Bioenergetics and growth. Reprinted 1974. Ed. Hafner Press, New York.
- Brown, K.D. 1987. Mechanisms of action of cell growth-promoting peptides and polypeptides: role for inositol lipid hydrolysis. *J. Anim. Sci.* 65(Suppl.2):140.
- Burton JL. 1995. Supplemental chromium: its benefits to the bovine immune system. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 53:117-133.
- Cannas, A., Tedeschi, L.O., Fox, D.G., Pell A.N., and Van Soest, P.J., 2004. A mechanistic model for predicting the nutrient requirements and feed biological values for sheep. *J. Anim. Sci.* 82,149-169.
- Canton, J.G., and Quintal, J.A., 2007. Evaluation of growth and carcass characteristics of pure Pelibuey sheep and their cross with Dorper and Kathdin breeds. *J. Anim. Sci.* 85(Suppl. 1), 581. (Abstr.).

- Chai, W., Uden, P., 1998. An alternative oven method combined with different detergent strengths in the analysis of neutral detergent fiber. *Anim. Feed Sci. Technol.* 74, 281-28.
- Chang, X., Mowat, D.N., 1992. Supplemental chromium for stressed and growing feeder calves. *J. Anim. Sci.* 70, 559-565.
- Chamberlan, B. L. 1997. The chemical and physical properties of Cr_2 and tetravalent chromium oxide derivatives (7th Ed.). University of Connecticut Department of Chemistry Storrs, Connecticut.
- Chang, X. y D. N. Mowat. 1992. Supplemental chromium for stressed and growing feeder calves. *J. Anim. Sci.* 70:559–565.
- Chang, X., D. N. Mowat y G. A. Spiers. 1992. Carcass characteristics and tissue-mineral contents of steers fed supplemental chromium. *Can. J. Anim. Sci.* 72:663–669.
- Church, D.C. y W.G. Pond. 1987. *Fundamentos de Nutrición y Alimentación de Animales*. Ed. Limusa S.A. México
- Cohen, P. 1993. Dissection of the protein phosphorylation cascades involved in insulin and growth factor action. *Biochem. Soc. Trans.* 21:555–567.
- Cole, N.A., Purdy, C.W., Hutcheson, D.P., 1992. Influence of yeast culture on feeder calves and lambs. *J. Anim. Sci.* 70, 1682-1690.
- Connor, E. E., S. M. Barao, A. S. Kimrey, A. B. Parlier, L. W. Douglass, and G. E. Dahl. 2000. Predicting growth in Angus bulls: The use of GHRH challenge, insulin-like growth factor-I, and insulin like growth factor binding proteins. *J. Anim. Sci.* 78:2913–2918.

Daintith, J., 2000. A Dictionary of Chemistry. 4th Edn., Oxford University Press, Oxford.

DeFlora, S. y K. E. Wetterhahn. 1989. Mechanisms of chromium metabolism and genotoxicity. Life Chem. Rep. 7:169.

EFSA. 2009. Scientific Opinion. Journal 2009; 7(9):1263.

Estrada-Angulo A, Valdés YS, Carrillo-Muro O, Castro-Pérez BI, Barreras A, López-Soto MA, Plascencia A, Dávila-Ramos H, Ríos FG, Zinn RA. 2013. Effects of feeding different levels of chromium-enriched live yeast in hairy lambs fed a corn-based diet: Effects on growth performance, dietary energetics, carcass traits and visceral organ mass. Anim. Prod. Sci. 53: 308-315.

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

Evans, G. W. y L. Meyer. 1992. Chromium picolinate increases longevity. Age 15:134.

Fajt, V.R. 2007. Regulations of drugs used in feedlot. In: *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. L.C. Hollis and K.C. Olson (eds). W.B. Saunders Co., Philadelphia, PA, pp. 321-332.

Gadd, J. 1995. Is chromium another copper?. Milne's Pork Journal. August. pp: 22 – 24.

Garret, W. 1971. Energetic efficiency of beef and dairy steers. J.Anim.Sci.31:452-456.

Gerhardsson, L., and G.F. Nordberg. 1993. Lung cancer in smelter workersinteractions of metals as indicated by tissue levels. Scand J. Work Environ Health. 19 suppl 1. pp: 90-94.

- Gomez G. A. y P.G Magaña. 2004. Papel del cromo y del cinc en el metabolismo de la insulina. Rev.Med.IMSS. 42(4) 347-352.
- Gonzales, S.S.M. 1980. The effects of nutritional and hormonal factors on compensatory growth. PhD. Thesis. University of Nebraska, Lincoln, Nebraska.
- González, A. y I. Valenzuela. 2003. *Saccharomyces cerevisiae*. La levadura *Saccharomyces cerevisiae*: un modelo de estudio desde hace más de cien años. Centro de Investigación sobre Fijación de Nitrógeno, UNAM. Cuerna- vaca, Mor. Editores: Dra. Esperanza Martínez Romero y Julio César Martínez Romero.
- Guan, X., J. J. Matte, P. K. Ku, J. L. Snow, J. L. Burton, and N. L. Trottier. 2000. High chromium yeast supplementation improves glucose tolerance in pigs by decreasing hepatic extraction of insulin. J. Nutr. 130:1274–1279.
- Hemken, R.W. 1997. Role of organic trace minerals in animal nutrition. European and African Lecture. Alltech's. pp: 47 – 52.
- Hill, F. N., Anderson, D.L., 1958. Comparison of metabolizable energy and productive energy determination with growing chicks. J. Nutr. 64, 587-594.
- Hong, S. M., K. I. Sung, S. J. Ohh, J. S. Shin, C. H. Kim and H. S. Kim. 2002. Effect of chromium methionine supplementation to castrated fattening steers on carcass quality and blood metabolites. Proc. Ann. Congress Kor. Soc. Anim. Sci. Tech. p. 196.
- Hunt, C. D. y B. J. Stoecker. 1996. Deliberations and evaluations of the approaches, endpoints, and paradigms for boron, chromium, and fluoride dietary recommendations. J. Nutr. 126:2441S–2451S.

- IMPS. 1996. Institutional Meat Purchase Specification. USDA. Marketing and Regulatory Programs. Agricultural Marketing Service. Livestock and Seed Program. Washington, DC.
- Jeejeebhoy, K.N., R. C. Chu, E. B. Marliss, G. R. Greenberg, and A. Bruce-Robertson. 1977. Chromium deficiency, glucose intolerance, and neuropathy reversed by chromium supplementation, in a patient receiving long-term total parenteral nutrition. *Am. J. Clin. Nutr.* 30:531–538.
- Jensen, P. y B. Receín. 1989 When to wean—Observations from free-ranging domestic pigs. *App. Anim. Behav. Sci.* 23:49–60.
- Johnson, B.L., and K. Y. Chung. 2007. Alteration in the physiology of growth cattle with growth-enhancing compounds. Pages 321-332 In *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. Vol. 23. L.C. Hollis and K.C. Olson, ed. W.B. Saunders Co. Philadelphia, PA.
- Kegley EB, Galloway DL, Fakler TM. 2000. Effect of dietary chromium-L-methionine on glucose metabolism of beef steers. *J. Anim. Sci.* 78:3177–3183.
- Kitchalong, L., Fernandez, J.M., Bunting, L. D., Southern, L. L., Bidner T.D., 1995. Influence of chromium tripicolinate on glucose metabolism and nutrient partitioning in growing lambs. *J. Anim. Sci.* 73, 2694-2705.
- Kornegay, E.T., Z. Wang, C.M. Wood and M.D. Lindemann. 1997. Supplemental chromium picolinate influences nitrogen balance, dry matter digestibility, and carcass traits in growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 75:1319.
- Kuehl, R.O. 2001. *Diseño de Experimentos*. 2da. Edición. International Thomson Editores, México, D.F. 666 pp.

- Langwinsky, D., H.O. Patino. 2002. A Nutrição de ruminantes e os complexos orgânicos de minerais. Tortuga. p. 52.
- Lindemann, M. D., A. F. Harper y E. T. Kornegay. 1995a. Further assessment of the effects of supplementation of chromium from chromium picolinate on fecundity in swine. J. Anim. Sci. 73 (Suppl. 1):185 (Abstr).
- Lindemann, M. D., C. M. Wood, A. F. Harper, E. T. Kornegay, and R. A. Anderson. 1995b. 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., G. L. Cromwell, H. J. Monegue and K. W. Purser.1998. Effect of chromium source on tissue concentration of chromium in pigs. J. Anim. Sci. 86:2971-2978.
- Littell, R. C., G. A. Milliken, W. W. Straub, and R. D. Wolfinger. 1996. SAS System for Mixed Models. SAS Inst. Inc., Cary, NC.
- Mahan, D.C. 1995. Selenium metabolism in animals: What role does selenium yeast have? In: Biotechnology in the Feed Industry, Proceedings of the 11th Annual Symposium (T.P. Lyons and K.A. Jacques, eds), Nottingham University Press, UK. pp. 257-266.
- Mathison, G. W. y D. F. Engstrom. 1995. Chromium and protein supplements for growing finishing beef steers fed barley-based diets. Can. J. Anim. Sci. 75:549.
- McClary, D. G., J. L. Sartin, R. J. Kemppainen, and J. C. W. Williams. 1988. Insulin and growth hormone responses to glucose infusion in mature and first lactation dairy cows. Am. J. Vet. Res. 49:1702–1704.

- Mowat, D. N., X. Chang y W. Z. Yang. 1993. Chelated chromium for stressed feeder calves. *Can. J. Anim. Sci.* 73:49–55.
- Mooney, K. W., Cromwell, G.L., 1995. Effects of dietary chromium picolinate supplementation on growth, carcass characteristics, and accretion rates of carcass tissues in growing-finishing swine. *J. Anim. Sci.* 73, 3351–3357.
- Morley, j.e.; kaiser, f.; raum, w.j.; perry iii, h.m.; flood, j.f; silver, a.j.; roberts, E. Potentially predictive and manipulable blood serum corretates of aging in the healthy human male: progressive decreases in bioavailable testosterone, dehydroepiandrosterone sulfate, and the raio of insulin-like growth factor 1 to growth hormone. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, v. 94, p. 7537-7542, Jul 1997.
- Moxley, R. T. Potencial for growth factor treatment of muscle disease. *Current Opinion in Neurology*. v. 7, p. 427-434, 1994.
- Murdoch, G.K., E.K. Okine, and R.J. Christopherson. 2006. Metabolic modifiers in animal nutrition: Potential benefits and risks. Pages 135-178 in *Biology of Nutrition in Growing Animals*. Vol. 4. R. Mosenthin, J.Zentek, and T. Zebrowska, ed. Elsevier. Philadelphia, PA.
- Murphey, C. E., D. K. Hallett, W. E. Tyler, and J. C. Pierce. 1960. Estimating yields of retail cuts from beef carcasses. Presented at the 62nd Meet. Am. Soc. Anim. kProd., Chicago, IL. November 26, 1960.
- NAMP. 1997. The Meat Buyers Guide. N. Am. Meat Proc. Assoc., Weimar, TX.
- Neville, T.L., Ward, M.A., Reed, J.J., Soto-Navarro, S.A., Julius, S.L., Borowicz P.P., Taylor, J.B., Redmer, D.A., Reynolds, L.P. and Caton, J.S. 2008. Effects of level and source of dietary selenium on maternal and fetal body weight, visceral organ

- mass, cellularity estimates, and jejunal vascularity in pregnant ewe lambs. J. Anim. Sci., 86: 890-901.
- Newbold, C. J., R. J. Wallace, X. B. Chen, and F. M. McIntosh. 1995. Different strains of *Saccharomyces cerevisiae* differ in their effects on ruminal bacterial numbers in vitro and in sheep. J. Anim. Sci. 73:1811-1818.
- NRC. 1984. Nutrient requirement of beef cattle. (6th Rev. Ed.). National Academy Press, Washington, D.C.
- NRC. 1985. Nutrient requirement of sheep. (6th Rev. Ed.). National Academy Press, Washington, DC.
- N.R.C. 1996. Nutrient requirements of beef cattle (7th Rev. Ed). National Academy of Press. Washington D.C.
- NRC, 1997. The Role of Chromium in Animal Nutrition. National. Academy Press, Washington, DC.
- NRC, 2007. Nutrient requirement of small ruminant. Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids. National Academy Press, Washington, DC.
- O'Quinn, P. R., Smith II, J.W., Nelssen, J.L., Tokach, M.D., Goodband, R.D., Owen, Q., 1998. Effects of source and level of added chromium on growth performance and carcass characteristics of growing-finishing pigs. J. Anim. Sci. 76(Suppl. 2), 56. (Abstr.).
- Page, T. G., L. L. Southern, T. L. Ward, and D. L. Thompson, Jr. 1993. Effect of chromium picolinate on growth and serum and carcass traits of growing-finishing pigs. J. Anim. Sci. 71:656–662.

- Pallauf, J. and A.S. muller. 2006. Metabolic modifiers in animal nutrition: Inorganic feed additives. Pages 135-178 in *Biology of Nutrition in Growing Animals*. Vol. 4. R. Mosenthin, J.Zentek, and T. Zebrowska, ed. Elsevier. Philadelphia, PA.
- Pechová, A., Illek, J., Indela, M., Pavlata, L., 2002. Effects of chromium supplementation on growth rate and metabolism in fattening bulls. *Acta Vet. Brno*. 71, 535-541.
- Pechová, A., Pavlata, L. 2007. Chromium as an essential nutrient: a review. *Veterinari Medicina*, 52, 1–18.
- Peng Z, Qiao W, Wang Z, Dai Q, He J, Guo C, Xu J, Zhou A. 2010. Chromium improves protein deposition through regulating the mRNA levels of IGF-1, IGF-1R, and Ub in rat skeletal muscle cells. *Biol Trace Elem Res*. 137:226-34.
- Petersen, M. K., Streeter, C. M., Clark, C.K., 1987. Mineral availability with lambs fed yeast culture. *Nutr. Rep. Int.* 36, 521-526.
- Pina, D.S., S. C. Valadares Filho, L. O. Tedeschi, A. M. Barbosa, and R. F. D. Valadares. 2009.87-1058-1067.
- Plascencia A. and R.A. Zinn. 2002. Evaluation of a forage-fat blend as an isocaloric substitute for steam-flaked wheat in finishing diets for feedlot cattle: growth-performance and digestive function. *Prof. Anim.Sci.*18:247-253.
- Plascencia, A., Torrentera, N.O. and Zinn, R.A. 2008. Influence of the β -agonist, zilpaterol, on growth performance and carcass characteristics of feedlot steers. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 7: 1257-1260.
- Pollard, G. V. and C. R. Richardson. 1999. Effects of organic chromium (Bio-Chrome) on growth, efficiency and carcass characteristics of feedlot steers. In:

Biotechnology in the Feed Industry. Proc. Alltech's 15th Annu. Symp. Nottingham University Press, Nottingham, UK. pp. 103-109.

Pouladi, M.A., Y. Xie, N.H. Skotte, E. Dagmar, Ehrnhoefer, D.E., R.K. Graham, J.E. Kim, N. Bissada, X. W. Yang, P. Paganetti, R.M.Friedlander, P.M., B.R. Leavitt, and M. R. Hayden. 2010. Full-length huntingtin levels modulate body weight by influencing insulin-like growth factor 1 expression. Human Molecular Genetics.19: 1528–1538.

Ríos Rincón, F.G., A. Barreras-Serrano, A. Estrada-Angulo, J. F. Obregón, A. Plascencia-Jorquera, J. J. Portillo-Loera, R. A. Zinn. 2010. Effect of level of dietary zilpaterol hydrochloride (β_2 -agonist) on performance, carcass characteristics and visceral organ mass in hairy lambs fed all-concentrate diets. J. Appl. Anim. Res. 38:33-38.

Rozov, A., E. Gootwine and H. Honig. 2012. Plasma concentration of key metabolites and insulin in late-pregnant ewes carrying 1 to 5 fetuses. J. Anim. Sci. 90:318-324.

Sahin, K., N. Sahin, M. Ondersci, F. Gursu, and G. Cikim. 2002a. Optimal dietary concentration of chromium for alleviating the effect of heat stress on growth, carcass qualities, and some serum metabolites of broiler chickens. Biol. Trace Element Res.89:53-64.

Sahin, K., N. Sahin, O. Kucuk. 2002b. 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). Nutr. Res. 23:225-238. Underwood, E.J., Suttle, N.F., 1999. The Mineral Nutrition of Livestock. Third ed. CABI Publishing, New York.

Schwarz, K. y W. Mertz. 1959. Chromium (III) and the glucose tolerance factor. Arch. Biochem. Biophys. 85:292.

Seltzer, J.D., Skin biopsies in mammals. 2007. Lab Anim (NY). 36:23-24.

Shelton, J. L., Payne, R.L., Johnson, S.L., Bidner, T.D., Southern, L.L., Odgaard, R.L., 2003. Effect of chromium propionate on growth, carcass traits, pork quality, and plasma metabolites in growing-finishing pigs. J. Anim. Sci. 81, 2515–2524.

Soengas, J. L., Agra-Lago, M. J., Carballo, B., Andres, M. D. and Veira, J. A. R., 1996. Effect of an acute exposure to sublethal concentrations of cadmium on liver carbohydrate metabolism of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 57 635-631

Stearns DM, Belbruno JJ, Weterhahn KE: A prediction of chromium (III) accumulation in humans from chromium dietary supplements. *FASEB J* 9:1650–1657, 1995.

Subiyatno A. D.N. Mowat, and W.Z. Yang. 1996. Metabolite and hormonal responses to glucose or propionate infusions in periparturient dairy cows supplemented with chromium. *Journal of Dairy Science*, 79: 1436-1445.

Swanson, K.C., Harmon, D.L., Jacques, K.A., Larson, B.T., Richards, C.J., Bohnert, D.W., Paton, S.J., 2000. Efficacy of chromium-yeast supplementation for growing beef steers. *Anim. Feed Sci. Technol.* 86, 95–105.

Tezuka, M., K. Momiyama, T. Edano y S. Okada. 1991. Protective effect of chromium (III) on acute lethal toxicity of carbon tetrachloride in rats and mice. *J. Inorg. Biochem.* 42:1–8.

Underwood, E.J., Suttle, N.F., 1999. *The Mineral Nutrition of Livestock*. Third ed. CABI 10.

- USDA. 1992. Official United States Standards for Grades of Carcass Lambs, Yearling Mutton and Mutton Carcasses. Agric. Marketing Serv., USDA, Washington, DC.
- USDA. 1997. Official United States standards for grades of carcass beef. Agric. Marketing Serv., USDA, Washington, DC.
- Valdés-García, Y.S., J.I. Aguilera-Soto, A. Barreras, A. Estrada-Angulo, A. Gómez-Vázquez, A. Plascencia, F.G. Ríos, J.J. Reyes, J. Stuart and N. Torrentera 2012. Growth performance and carcass characteristics in finishing feedlot heifers fed different levels of chromium-enriched live yeast or fed zilpaterol hydrochloride. Cuban J. Agric. Sci. 4 (in press).
- Williams, P.E., C. A. Tait, G. M. Innes, and N. Newbold. 1991. Effects of the inclusion of yeast culture (*Saccharomyces cerevisiae* plus growth medium) in the diet of dairy cows on milk yields and forage degradation and fermentation patterns in the rumen of steers. J. Anim. Sci. 69:3016-3026.
- Wolin, M. J. 1960. A theoretical rumen fermentation balance. J. Dairy Sci. 43:1452.
- Yang, W. Z., D. N. Mowat, A. Subiyatno y R. M. Liptrap. 1996. Effects of chromium supplementation on early-lactation performance of Holstein cows. Can. J. Anim. Sci. 76:221.
- Zinn, R.A. 1988. Comparative feeding value of supplemental fat in finishing diets for feedlot steers supplemented with and without monensin. J. Anim.Sci. 66:213-227.
- Zinn, R. A. 1990. Influence of steaming time on site digestion of flaked corn in steers. J. Anim. Sci. 68:776-781.

Zinn, R.A., and A. Plascencia. 1993. Interaction of whole cottonseed and supplemental fat on digestive function in cattle. *J. Anim. Sci.* 71:11-17.

Zinn, R. A., and F. N. Owens. 1986. A rapid procedure for purine measurement and its use for estimating net ruminal protein synthesis. *Can. J. Anim. Sci.* 66:157-166.

EXPERIMENTO I

Heading title: Chromium, Hydrolyzed yeast, Feedlot, Cattle, Performance

Influence of feeding chromium-enriched enzymatically hydrolyzed yeast on growth performance, dietary energetics and carcass characteristics in feedlot cattle under conditions of high ambient temperature

B. Sánchez-Mendoza¹, A. Montelongo-Terriquez¹, A. Plascencia¹, N. Torrentera¹, R.A. Ware², R.A. Zinn^{3*}

¹*Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, BC, México*

²*Varied Industries Corporation, Mason City, IA, USA*

³*University of California, Davis, CA, USA*

Artículo publicado en: Journal of Applied Animal Research; JAAR-2014-0099

* Corresponding author email: razinn@ucdavis.edu

Abstract: Forty crossbred steers (245 ± 0.95 kg) were used in a 222-d feeding trial to assess the effects of a supplementation of chelated chromium enhanced extract of enzymatically hydrolyzed yeast (Cr-EHY) on growth performance, dietary energetics and carcass characteristics in feedlot cattle finishing during high ambient temperatures. Treatments consisted of a steam-flaked corn-based diets supplemented with 0 or 0.4 g/kg of diet with Cr-EHY (0.3 g/kg of TruMax plus 0.1 g/kg of chelated Cr). Both dry matter intake (DMI) and climatic variables were measured weekly and the temperature humidity index (THI) was estimated. Daily maximal THI that exceeding a THI value of 72 were reached in 213 of the 222-d study (avg. THI=75.24). During the initial 112-d period (including the receiving and diet transition phases), Cr-EHY increased ADG (7%, $P = 0.03$). This effect was due to a tendency ($P=0.07$) for increased DMI. There were no treatment effects on gain efficiency and dietary NE. Overall, however, there were no treatment effects on growth performance or dietary NE. Nevertheless, Cr-EHY supplementation had a modulating effect on carcass quality, decreasing carcass fat thickness (10%, $P=0.09$, and increasing LM area (7%, $P < 0.01$) and retail yield of boneless closely trimmed primal cuts (2%, $P=0.07$). Results indicate that supplementation with a chelated chromium enhanced extract of enzymatically hydrolyzed yeast can have beneficial effects on feed intake and daily weight gain, particularly during the initial receiving growing phase. It also appears to have a modulating effect on carcass quality, enhancing muscularity and reducing external fat.

These results indicate that Cr supplementation has a modulating effect on carcass quality, and may enhance DMI and corresponding ADG of feedlot cattle during periods of high ambient temperature.

(Keywords: chromium; hydrolyzed yeast; feedlot; cattle; performance)

Introduction

One of the main goals of the feedlot industry is to increase gain efficiency, particularly during the late finishing phase when cost of gain is highest. Thus, use of growth modulators (hormonal implants, supplemental beta-agonist, etc.) in some countries is widespread. Although the safety of these additives has been verified through exhaustive evaluations, there remains some concern among consumers, and hence considerable effort is underway to advance the use of more

“organic” alternatives. The latter perception has generated interest in the search for generally-recognized-as-safe alternatives. Among these, the chelated minerals and yeast have shown promising results. Chromium (Cr) is an essential nutrient in animal nutrition that potentiates binding of insulin to receptor sites (Kegley et al 2000). Inorganic chromium is poorly absorbed in animals and humans (ranging from 0.4 to 3; Anderson et al. 1983, 1989). However, absorption of supplemental Cr is enhanced when fed as a chelate (O’Quinn et al. 1998; Shelton et al. 2003). Chelated Cr supplementation of market and transit stressed feedlot calves has reduced plasma cortisol, enhanced rates of weight gain, feed efficiency, and humoral immune responses, and reduced morbidity compared to non-supplemented control calves (Burton 1995). More recently, the use of chelated chromium (as chromium-enriched yeast) supplementation modulated composition of weight gain in finishing ruminants (Valdes-Garcia et al. 2011; Estrada-Angulo et al. 2013). The use of yeast extracts (comprised of the water-soluble components of the yeast cell and derivatives of cell wall as glucans and mannans) as food additives for livestock has gained popularity. Feeding derivatives of the yeast cell wall influences the composition and metabolic activity of the intestinal microflora and has been shown to have beneficial effects on animal health response (Nocek et al. 2011). In recent study, Ponce et al. (2012) observed positive effects on performance and health of stressed calves when they were supplemented with 14 g per day of enzymatically hydrolyzed yeast. Responses were ascribed to positive effects that the yeast extracts have on ruminal microbial flora and health of intestinal epithelium. The objective of this trial was to evaluate the growth modulating effects of a source of chelated chromium (chromium in combination with enzymatically hydrolyzed yeast) in feedlot cattle finishing under conditions of high ambient temperature.

MATERIALS AND METHODS

All animal care and handling followed protocols approved by the University of California, Davis, Animal Use and Care Committee.

Experimental location

This trial was conducted at the Desert Research Center of the University of California Davis, during the period of April through October 2012 (222-d feeding trial). The Desert Research Center is located in the Imperial Valley, California (32° 47’ 31” N and 115° 33’ 47”W). It is about 16 m below sea level, and under Sonoran desert conditions (*BWh* classification according

to Koppen). This region is characterized as dry and arid with extreme temperatures in summer ($\geq 42^{\circ}\text{C}$), and an average annual precipitation of 85 mm.

Weather measurement and THI estimation

Climatic variables (ambient temperature, relative humidity, solar radiation, black globe temperature, and wind speed) were obtained every 30 min from an on-site weather station (UC Agriculture Field station) throughout the experimental period. The temperature humidity index was calculated using the following formula: $\text{THI} = 0.81 \times T + \text{RH} (T - 14.40) + 46.40$ (Hahn 1999).

Animal management

Forty crossbreed steers (live weight [LW] average 245 ± 1 kg), approximately 20% Zebú breeding with the remainder represented by Hereford, Angus and Charolais breeds in various proportions, were used in a 222-day feeding trial to assess the treatments effects on characteristics of growth performance, dietary energetic and carcass characteristics. Steers were purchased in Raymondville, Texas and transported to the Desert Research and Experimental Center at El Centro, California, (approximately 2230 km) and were in transit for approximately 23 h. Upon arrival steers were implanted with Revalor-IS (Merck Animal Health, Summit, NJ), vaccinated for infectious bovine rhinotracheitis, bovine viral disease (Types 1 and 2), parainfluenza 3 virus (PI3), bovine respiratory syncytial virus, leptospirosis (Cattle Master Gold FP 5 L5; Pfizer Animal Health, New York, NY) and treated for internal and external parasites (Dectomax, Pfizer, New York, NY). Steers were injected with 500,000 IU vitamin A (Vital E-AD, Stuart Products, Bedford, TX) and 8 mL Excede (Pfizer, New York, NY). Steers were weighed and assigned to eight pens (5 steers/ pen). Pens were 43 m², with 22 m² of overhead shade, automatic waterers and 2.4-m long fence-line feed bunks. On day 112, steers were reimplanted with Revalor-S (Merck Animal Health, Summit, NJ) and injected with 500,000 IU vitamin A (Vital E-AD Stuart Products, Bedford, TX).

Treatments

Dietary treatments consisted of a steam-flaked corn-based finishing diet supplemented with 0 or 0.4 g/kg of diet (air dry basis) with TruMax-Cr™ (Vi-CORR, Mason City, IA, USA), consisting

of TruMax (Vi-CORR, Mason City, IA, USA), a combination of yeast culture and enzymatically-liberated functional carbohydrates derived from the yeast cell wall, in particular, mannan oligosaccharides and beta-glucans, enriched to provide 0.5 mg/kg of dietary dry matter as chelated Cr. The characteristics of the TruMax product has been described previously (Nocek et al. 2011). Feeding program and composition of experimental diets is shown in Table 1. Steers were allowed free access to dietary treatments. Fresh feed was provided twice daily.

Estimations of performance and dietary energy

The estimations of dietary energetics were performed based on measures of initial and final shrunk body weight (SBW), assuming that SBW is 96% of full weight (NRC 1996). Average daily gains (ADG) were computed by subtracting the initial LW from the final LW at day 112 and at day 222 of feeding and dividing the result by the number of days on feed. The efficiency of BW gain was computed by dividing ADG by the daily DMI. The estimation of dietary NE was performed by means of the quadratic formula: $x = (-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac})/2c$, where $x = NE_m$, $a = -0.41EM$, $b = 0.877 EM + 0.41 DMI + EG$, and $c = -0.877 DMI$ (Zinn and Shen 1998), where EM (energy required for maintenance, Mcal/day) $= 0.077W^{0.75}$, DMI = observed average dry matter intake (kg/d), $EG = ADG^{1.097} \times 0.0557W^{0.75}$ (NRC 1984). The dietary NEg was derived from NE_m by the equation: $NEg = 0.877 NE_m - 0.41$ (Zinn et al. 2008).

Carcass data

All steers were harvested on the same day. Hot carcass weights (HCW) were obtained from all steers at the time of slaughter. After carcasses were chilled for 48 h, the following measurements were obtained: 1) LM area, taken by direct grid reading of the muscle at the 12th rib; 2) subcutaneous fat over the eye muscle at the 12th rib taken at a location 3/4 the lateral length from the chine bone end (adjusted by eye for unusual fat distribution); 3) kidney, pelvic and heart fat (KPH) as a percentage of carcass weight and 4) marbling score (USDA 1997).

Statistical analyses

Performance (gain, gain efficiency, and dietary energetics) and carcass data were analysed as a randomized complete block design. The experimental unit was the pen. The MIXED procedure of SAS (SAS Institute 2004) was used to analyze variables. The fixed effect consisted of

treatment, and pen as the random component. Feed additive effects were tested using F test statistic. Contrasts were considered significant when the *P*-value was ≤ 0.05 , and tendencies were identified when the *P*-value was > 0.05 and ≤ 0.10 .

Results and discussion

Ambient weather conditions during the course of the study are shown in Table 2. Minimum and maximum estimated THI were 55.4 and 99.2, respectively. Daily maximal THI exceeded the threshold THI value of 72 (Igono et al., 1992) for 213 of the 222-d study. Average daily THI was 75.2. Treatment effects on growth performance are shown in Table 3. Daily Cr-EHY intake averaged 3.41 g/d (3.40 and 3.42 g/d during the first 112 d and second 110 d periods, respectively), corresponding to average daily supplemental EHY and Cr intakes of 7.0 and 0.01 mg/kg of LW, respectively. During the initial 112-d period (including the receiving and diet transition phases), Cr-EHY increased ADG (6.8%, $P = 0.03$). This effect was due to a tendency ($P=0.07$) for increased dry matter intake (DMI), as there were no treatment effects ($P\geq 0.70$) on gain efficiency and dietary NE. Thereafter, there were treatment effects ($P\geq 0.70$) on growth performance or dietary NE. Ponce et al. (2012) observed positive effects on initial performance and health on stressed (newly received) calves when they were supplemented with 14 g per day of enzymatically hydrolyzed yeast. They ascribe these responses to the positive effects that the yeast extracts have on ruminal microbial flora and on the health of intestinal epithelium. Previously (Chang and Mowat 1992; Cole et al. 1992; Zinn et al. 1999) non-enriched yeast culture supplementation of shipping stressed cattle reduced sick days and/or enhanced feed intake during the initial receiving period (<35 days). However, subsequent effects on growth performance have been small or non-appreciable. In studies where a greater weight gain is observed as result of yeast supplementation differences could be explained by increased energy intake rather than by increases in energy efficiency. Harrison et al. (1988) revealed that yeast supplementation resulted in less variation in ruminal ammonia concentrations and increased cellulolytic bacteria concentrations, leading to more stable ruminal fermentation. Under certain conditions, yeast supplementation has been shown to favor the stabilization of feed intake (i.e. decrease day to day feed intake fluctuations, Beauchemin et al. 2006). Fluctuations in intake of high-concentrate diets may be a causative factor in the incidence of subacute acidosis (Stock et al. 1995). Galyean et al. (1992) observed that, compared to a constant rate of feeding, a 10% of

fluctuation in feed allowance depressed both ADG (6.5%) and gain to feed (7%). However, it appears that cattle can adjust to the feed intake fluctuations in short term, so that in the long-term, no adverse effects on gain or gain to feed are observed (Zinn 1994; Soto-Navarro et al. 2000). The latter could partially explain the short-term benefits commonly observed for the supplemented cattle with yeast.

Likewise, previous reports summarized by Burton (1995), have shown benefits of Cr supplementation in cattle receiving studies (initial few months following arrival of calves into the feedlot), reducing plasma cortisol, and morbidity, and increasing weight gain, feed efficiency, and humoral immune responses. During a 56-d receiving period following arrival of shipping stressed calves into the feedlot, Bernhard et al. (2012) observed linearly increased ADG and gain efficiency in response to supplementation with 0.1, 0.2 or 0.3 mg Cr/ kg of dietary DM. However, performance responses to Cr supplementation in long-term growing-finishing studies are inconsistent. Consistent with the present study, Swanson et al. (2000) did not observe an overall effect of Cr-enriched yeast supplementation on ADG or gain efficiency in steers fed a corn silage-based diet. In contrast, other studies have shown benefits to both ADG and dietary energetics with chelated Cr supplementation (alone or combined with yeast) on overall feedlot growth performance of finishing cattle (Barajas et al. 2008; Valdes-Garcia et al. 2011). It is possible that the efficacy of Cr supplementation on long-term finishing diets depends mainly on the level of administration (Valdes-Garcia et al. 2011). In studies involving pigs (Page et al. 1993; Lindemann et al. 1995) supplementation with 250 to 500 mg/kg dietary DM (approximately 0.01 to 0.02 mg Cr/kg LW/day) as Cr propionate or Cr picolinate, increased daily weight gain, gain efficiency, and carcass muscle. However, supplemental Cr requirements for ruminants have not been established (Pallau and Muller 2006), and there is limited information available on the effect of level of Cr supplementation the growth performance and carcass characteristics in feedlot cattle (Besong et al. 2001; Romero et al. 2009). Pechova et al. (2002) observed greater (26.8%) ADG in finishing bulls supplemented with 0.024 mg Cr/kg LW/day (2.4 times the Cr concentration used in the present experiment) from Cr enriched yeast cells during the initial 136 days of a finishing experiment. With higher concentrations of chromium, greater responses were obtained. For example, linear responses in gain, gain efficiency and apparent dietary energy were observed in finishing heifers supplemented with chelated chromium at levels of 5, 10 or 15 mg/head/d (equivalent to 0.012, 0.024 and 0.036 mg Cr/kg

LW/day; Valdes-Garcia et al. 2011). Comparable improvements were also observed in finishing lambs fed 0.4, 0.8 or 1.2 mg Cr/head/d (equivalent to 0.009, 0.018 and 0.027 mg Cr/kg LW/day; Estrada-Angulo et al. 2013). Accordingly, maximal responses in growth performance were observed when animals were fed at three-fold the level applied in the present study.

Treatments effects on carcass characteristics are shown in Table 4. There were no treatment effects ($P \geq 0.11$) on carcass weight, dressing percentage, and internal fat (KPH), and marbling score. However, supplemental Cr-EHY tended to reduce external fat thickness (9%, $P = 0.09$) and percentage yield of boneless closely trimmed primal cuts (2%, $P = 0.07$), and increased LM area (7%, $P < 0.01$). The basis for these enhancements is not certain. In previous studies (Beauchemin et al. 2006; Zerby et al. 2011), feedlot cattle supplementation with hydrolyzed yeast cell wall components did not affect carcass characteristics. Barajas et al. (2008) observed lower internal fat in feedlot bulls supplemented with chelated chromium (0.34 mg/kg diet dry matter). Likewise, Valdes et al. (2011) observed linear decrease in internal fat and fat thickness in feedlot heifers fed 0.012, 0.024 and 0.036 mg Cr/kg LW/day). Estrada-Angulo et al. (2013) observed linear increase in LM area of lambs fed 0.009 or 0.18 mg Cr/kg/LW. In contrast, Chang et al. (1992) did not observe an effect of supplemental Cr (0.20 mg Cr/kg diet DM) on carcass characteristics of steers in a 138-d finishing trial. They attributed the lack of effect on the low level of Cr supplementation (equivalent to 0.004 mg/kg LW). Cr may potentiate insulin action by enhancing its binding to target cell receptors, and also by improving its post-receptor signaling, contributing to enhanced lean tissue growth (Debski et al. 2004; Pechova and Pavlata 2007). However, ruminants are more resistant to insulin than nonruminants (Chang et al. 1992) which could explain the absence of effects on growth performance and carcass in some studies.

Conclusion

It is concluded that supplementation with a chelated chromium enhanced extract of enzymatically hydrolyzed yeast has beneficial effects on feed intake and daily weight in, particularly during the initial receiving growing phase. It also appears to have a modulating effect on carcass quality, enhancing muscularity and reducing external fat.

References

- Anderson RA, Polanski MM, Bryden NA, Roginski EE, Mertz W, Glinsmann W. 1983. Chromium supplementation of human subjects: Effects on glucose, insulin and lipid variables. *Metabolism*. 32:894–899.
- Anderson RA, Bryden NA, Planski MM, Richards MP. 1989. Chromium supplementation of turkeys: Effects on tissue chromium. *J. Agric. Food Chem.* 37:131–134.
- AOAC (Association Official Analytical Chemists). 2000. *Official methods of analysis*. 17th ed. Gaithersburg, MD.
- Barajas R, Cervantes BJ, Velazquez EA, Romo JA, Juarez F, Rojas PJ, Pena FR. 2008. Chromium methionine supplementation on feedlot performance and carcass characteristics of bulls: II. Results including trough hot and humidity season in the northwest of Mexico. *Proc. West. Sec. Am. Soc. Anim. Sci.* 59:374-377.
- Beauchemin KA, Krehbiel CR, Newbold CJ. 2006. Enzymes, bacterial direct-fed microbials and yeast: principles for use in ruminant nutrition. In: Mosenthin R, Zentek J, Zebrowska T, editors. *Biology of Nutrition in Growing Animals*. Vol. 4. Elsevier. Philadelphia, PA.
- Bernhard BC, Burdick NC, Rounds W, Rathmann RJ, Carroll JA, Finck DN, Jennings MA, Young TR, Johnson BJ. 2012. Chromium supplementation alters the performance and health of feedlot cattle during the receiving period and enhances their metabolic response to a lipopolysaccharide challenge. *J. Anim. Sci.* 90:3879-3888.
- Besong S, Jackson JA, Trammell DS, Akay V. 2001. Influence of supplemental chromium on concentrations of liver triglyceride, blood metabolites and rumen VFA profile in steers fed a moderately high fat diet. *J. Dairy Sci.* 84:1679-1685.
- Burton JL. 1995. Supplemental chromium: its benefits to the bovine immune system. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 53:117-133.
- Chang X, Mowat DN. 1992. Supplemental chromium for stressed and growing feeder calves. *J. Anim. Sci.* 70: 559-565.
- Chang X, Mowat DN, Spiers GA. 1992. Carcass characteristics and tissue-mineral contents of steers fed supplemental chromium. *Can. J. Anim. Sci.* 72:663.
- Cole NA, Purdy CW, Hutcheson DP. 1992. Influence of yeast culture on feeder calves and lambs. *J. Anim. Sci.* 70: 1682-1690.

- Debski B, Zalewski W, Gralak MA, Kosla T. 2004. Chromium-yeast supplementation of chicken broilers in an industrial farming system. *J. Trace Elem. Med. Biol.* 18: 47– 51.
- Estrada-Angulo A, Valdes YS, Carrillo-Muro O, Castro-Perez BI, Barreras A, Lopez-Soto MA, Plascencia A, Davila-Ramos H, Rios FG, Zinn RA. 2013. Effects of feeding different levels of chromium-enriched live yeast in hairy lambs fed a corn-based diet: Effects on growth performance, dietary energetics, carcass traits and visceral organ mass. *Anim. Prod. Sci.* 53: 308-315.
- Galyean ML, Malcom KJ, Garcia DR, Pulsipher GD. 1992. Effects of varying the pattern of feed consumption on performance by programmed-fed steers. New Mexico State University. Research Agricultural Experimental Station. PR. 78.
- Hahn GL. 1999. Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. *J. Dairy Sci.* 82 (Suppl.2): 10–20.
- Igono MO, Bjotvedt G, Sanford-Crane HT. 1992. Environmental profile and critical temperature effects on milk production of Holstein cows in desert climate. *Int. J. Biometeorol.* 36: 77–87.
- Kegley EB, Galloway DL, Fakler TM. 2000. Effect of dietary chromium-L-methionine on glucose metabolism of beef steers. *J. Anim. Sci.* 78:3177–3183.
- Lindemann MD, Wood CM, Harper AF, Kornegay ET, Anderson RA. 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
- National Research Council. 1984. Nutrient Requirement of Beef Cattle. National Academy Press, Washington, DC.
- National Research Council. 1996. Nutrient Requirement of Beef Cattle (7th ed.). National Academy Press, Washington, DC.
- Nocek JE, Holt MG, Oppy J. 2011. Effects of supplementation with yeast culture and enzymatically hydrolyzed yeast on performance of early lactation dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 94:4046-4056.
- O'Quinn PR, Smith II JW, Nelssen JL, Tokach MD, Goodband RD, Owen Q. 1998. Effects of source and level of added chromium on growth performance and carcass characteristics of growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 76(Suppl. 2): 56 (Abstr.).

- Page TG, Southern LL, Ward TL, Thompson DL Jr. 1993. Effect of chromium picolinate on growth and serum and carcass traits of growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 71: 656–662.
- Pallauf J, Muller AS. 2006. Inorganic feed additives. In: Mosenthin R, Zentek J, Zebrowska T, editors. *Biology of Nutrition in Growing Animals*. Vol. 4. Elsevier. Philadelphia, PA.
- Pechova A, Illek J, Indela M, Pavlata L. 2002. Effects of chromium supplementation on growth rate and metabolism in fattening bulls. *Acta Vet. Brno.* 71: 535-541.
- Pechova A, Pavlata L. 2007. Chromium as an essential nutrient: a review. *Veterinarni Medicina.* 52: 1–18.
- Ponce CH, Schutz JS, Elrod CC, Anele UY, Galyean ML. 2012. Effects of dietary supplementation of a yeast product on performance and morbidity of newly received beef heifers. *Prof. Anim. Sci.* 28:618-622.
- Romero M, Pinos-Rodriguez JM, Herrera JG, Garcia JC, Salem AZM, Barcena R, Alvarez G. 2009.
- Influence of zilpaterol and mineral-yeast mixture on ruminal fermentation and growth performance in finishing steers. *J. Appl. Anim. Res.* 35:77-81.
- SAS Institute Inc. 2004. *SAS/STAT User's Guide: Version 9.1*. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina.
- Shelton JL, Payne RL, Johnson SL, Bidner TD, Southern LL, Odgaard RL. 2003. Effect of chromium propionate on growth, carcass traits, pork quality, and plasma metabolites in growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 81: 2515–2524.
- Soto-Navarro SA, Krehbiel CR, Duff GC, Galyean ML, Brown MS, Steiner RL. 2000.
- Influence of feed intake fluctuation and frequency of feeding on nutrient digestion, digesta kinetics, and ruminal fermentation profiles in limit-fed steers. *J. Anim. Sci.* 78: 2215-2222.
- Stock R, Klopfenstein T, Shain D. 1995. Feed intake variation. In: *Symposium; Feed Intake by Feedlot Cattle*. Oklahoma Agriculture Experimental Station. P-942, 56-59.
- Swanson KC, Harmon DL, Jacques KA, Larson BT, Richards CJ, Bohnert DW, Paton SJ. 2000. Efficacy of chromium-yeast supplementation for growing beef steers. *Anim. Feed Sci. Technol.* 86: 95–105.
- USDA. 1997. *Official United States standards for grades of carcass beef*. United States Department of Agriculture.

- Valdes-Garcia YS, Aguilera-Soto JI, Barreras A, Estrada-Angulo A, Gomez-Vazquez A, Plascencia A, Rios FG, Reyes JJ, Stuart J, Torrentera N. 2012. Growth performance and carcass characteristics in finishing feedlot heifers fed different levels of chromium-enriched live yeast or fed zilpaterol hydrochloride. *Cuban J. Agric. Sci.* 4:361-368.
- Zerby HN, Bard JL, Loerch SC, Kuber PS, Radunz AE, Fluharty FL. 2011. Effects of diet and *Aspergillus oryzae* extract or *Saccharomyces cerevisiae* on growth and carcass characteristics of lambs and steers fed to meet requirements of natural markets. *J. Anim. Sci.* 89: 2257-2264.
- Zinn RA. 1988. Comparative feeding value of supplemental fat in finishing diets for feedlot steers supplemented with and without monensin. *J. Anim. Sci.* 66:213-227
- Zinn RA. 1994. Influence of fluctuating feed intake on feedlot cattle growth-performance and digestive function. In: Southwest Nutrition Management Conference, Univ. Arizona, Tucson. pp. 77- 83.
- Zinn RA, Alvarez EG, Rodriguez S, Salinas J. 1999. Influence of yeast culture on health, performance and digestive function of feedlot steers. *Proc. West. Sect. Soc. Am. Anim. Sci.* 50: 335-337.
- Zinn RA, Barreras A, Owens FN, Plascencia A. 2008. Performance by feedlot steers and heifers: ADG, mature weight, DMI and dietary energetics. *J. Anim. Sci.* 86:1-10.
- Zinn RA, Shen Y. 1998. An evaluation of ruminally degradable intake protein and metabolizable amino acid requirements of feedlot calves. *J. Anim. Sci.* 76:1280.

Table 1. Diet formulations (diets were supplemented with 0 or 4 g of EHY-Cr which represents 3 g of EHY and 500 ppb of chromium^a) of program feeding (222 d of feeding).

Item	1 28-d	2 7-d	3 7-d	4 Last 180-d of trial
Ingredient (% DMB)				
Steam-flaked corn	36.72	46.05	52.66	58.15
DDGS	20.00	20.00	20.00	20.00
Alfalfa hay	20.00	10.00	5.00	0.00
Sudangrass hay	12.00	12.00	12.00	12.00
Tallow	2.00	2.00	2.00	2.30
Molasses	8.00	8.00	6.00	5.00
Urea	0.45	0.65	0.75	0.85
Limestone	0.73	1.20	1.49	1.60
Magnesium oxide	0.10	0.10	0.10	0.10
Nutrient composition (DM basis) ^b				
NE of maintenance, Mcal/kg	1.97	2.06	2.12	2.18
NE of gain, Mcal/kg	1.32	1.40	1.46	1.52
Crude protein, %	16.12	15.57	15.37	15.11
NDF, %	23.68	20.59	19.22	17.75
Ether extract, %	6.19	6.31	6.45	6.83
Calcium, %	0.79	0.81	0.82	0.78
Phosphorous, %	0.48	0.49	0.50	0.50

^aTruMax-Cr, Vi-COR, Mason City, Iowa.

^b Based on tabular values for individual feed ingredients (NRC, 1996) with the exception of supplemental fat, which was assigned NE_m and NE_g values of 6.03 and 4.79, respectively (Zinn, 1988).

Table 2. Ambient temperature (Ta), mean relative humidity (RH) and mean temperature-humidity index (THI), registered during experiment.

Period ^b	Mean T _a , °C	Max T _a , °C	Min T _a , °C	Mean RH, %	Max RH, %	Min RH, %	Mean THI ^a	Max THI	Min THI	Days with maximal of THI > 72
1	21.4	30.2	11.8	42.0	66.0	23.0	66.46	80.99	55.42	24
2	34.4	36.4	16.0	43.7	61.0	18.0	71.71	88.94	59.48	28
3	30.3	39.8	19.7	30.0	52.0	17.0	75.41	91.44	63.01	30
4	32.3	40.2	24.0	41.0	64.0	26.0	79.58	95.07	68.09	30
5	33.8	41.0	27.1	51.0	75.0	33.0	83.33	99.15	72.27	30
6	31.7	39.7	24.0	45.0	69.0	28.0	79.55	95.62	68.29	30
7	24.5	33.5	23.6	46.0	73.0	14.1	70.65	87.14	66.58	31

^a THI = $0.81 \times \text{ambient temperature} + [(\text{relative humidity} \times (\text{ambient temperature} - 14.4))] + 46.4$.

^b Each period represent 32 days with except of the last period which represents 30 days.

Table 3. Effect of enzymatically hydrolyzed yeast with 500 ppb chromium (EHY-Cr) on performance and dietary energetics of feedlot beef steers under high ambient temperature.

Item	EHY-Cr level ^a , g/head/d		SEM	P value
	0	3(500 ppb)		
Pen replicates	4	4		
Body weight, kg ^b				
Initial	243.7	245.9	0.47	0.97
112 d	428.9	444.5	1.95	0.02
Final	559.9	576.4	12.61	0.42
ADG, kg/d				
1-112 d	1.65	1.77	0.02	0.03
112-222 d	1.19	1.20	0.10	0.96
1-222 d	1.42	1.49	0.06	0.49
DMI, kg/d				
1-112 d	8.00	8.50	0.13	0.07
112-222 d	8.40	8.54	0.20	0.65
1-222 d	8.20	8.52	0.13	0.17
Gain to feed (kg/kg)				
1-112 d	0.207	0.209	0.003	0.70
112-222 d	0.142	0.140	0.009	0.91
1-222 d	0.174	0.175	0.004	0.88
Dietary NE, Mcal/Kg				
1-112 d NE _m	2.04	2.04	0.02	0.97
1-112 d NE _g	1.38	1.38	0.02	0.97
112-222 d NE _m	2.16	2.18	0.06	0.84
112-222 d NE _g	1.48	1.50	0.06	0.84
1-222 d NE _m	2.09	2.10	0.03	0.91
1-222 d NE _g	1.42	1.43	0.03	0.91

^aTruMax-Cr, Vi-COR, Mason City, Iowa.

^b Initial and final weights were reduced 4% to account for digestive tract fill.

Table 4. Effect of enzymatically hydrolyzed yeast and 500 ppb chromium (EHY-Cr) on carcass characteristics.

Item	EHY-Cr, level ^a , g/head/d		SEM	P-value
	0	3 (500 ppb)		
Carcass Weight, kg	369.5	375.7	6.38	0.54
Dressing Percentage, %	65.6	65.2	0.60	0.45
KPH, %	2.55	2.69	0.04	0.11
Fat Thickness, cm	1.4	1.26	0.04	0.09
Rib eye area, cm ²	78.2	83.9	0.68	<0.01
Marbling score ^b	5.21	5.49	0.43	0.69
Retail Yield, %	48.4	49.2	0.20	0.07

^aTruMax-Cr, Vi-COR, Mason City, Iowa.

^b Coded: minimum slight = 3, minimum small = 4, etc.

Running title: Chromium in carcass and chemical composition in feedlot lambs

Short Communication

Effects of high-level chromium methionine supplementation in lambs fed a corn-based diet on the carcass characteristics and chemical composition of *longissimus* muscle

Berenice SÁNCHEZ-MENDOZA¹, Antonio AGUILAR-HERNÁNDEZ¹, María A. LÓPEZ-SOTO¹, Alberto BARRERAS¹, Alfredo ESTRADA-ANGULO², Francisco J. MONGE-NAVARRO¹, Noemí G. TORRENTERA¹, Richard A. ZINN³, Alejandro PLASCENCIA^{†1}

¹Institute of Veterinary Research, Autonomous University of Baja California, México

²Veterinary School, Autonomous University of Sinaloa, México

³Department of Animal Science, University of California, Davis, USA

Artículo aceptado con correcciones menores por Turkish Journal of Veterinary and Animal Science

[†] Correspondence: aplas_99@yahoo.com ; alejandro.plascencia@uabc.edu.mx

Abstract: Twenty four male lambs (24.93 ± 0.93 kg) were used in order to evaluate the effects of chromium methionine (Cr) supplementation in high-energy finishing diets on the carcass characteristics and chemical composition of *longissimus* muscle (LM). Treatments were: 1) 0.00; 2) 0.60; 3) 1.20, and 4) 1.80 mg Cr/lamb/day. The experiment lasted 56 days. There were no effects of treatments on dry matter intake, feed to gain and final weight which averaged 35.24 ± 1.01 kg. Supplemental Cr linearly decreased fat thickness enough to improve the estimated yield grade from 1.82 to 1.42 with no effect on the other carcass measured. Fat concentration in LM decreased linearly as level of Cr increased in diet, but protein concentration remain constant and so, protein:fat ratio in LM increased. It is concluded that Cr methionine supplementation have a modulating effect on carcass by reducing fat, maximal responses was reached at a dose of 1.20 mg Cr/head/day.

Key words: Chelated chromium, lambs, carcass, marbling, finishing diets

One of the main goals of the feedlot industry is to increase efficiency in the final stages of fattening. Therefore, the use of modulators of growth (hormones and beta-agonist agents) is widespread. The concern about the potential impact of the use of these growth promoters has furthered interest in the search for safe alternatives of modulating agents of growth in recent years. In this regards, the use of chelated minerals has been shown interesting advantages in non-ruminant species. In this sense, the chromium (Cr) supplementation, as Cr propionate or Cr methionine, have shown increases on the percentage of carcass muscle and decreased carcass fat in pigs and poultries (1). In ruminants, Cr requirements have not been clearly established (2) and there is limited information available on the effects of Cr on carcass characteristics in feedlot cattle (3) and in feedlot lambs (4). In a recent study (5), linearly decreases ($P=0.02$) on kidney-pelvic-heart fat and fat thickness were observed in finishing steers supplemented with chelated

Cr (as Cr-enriched yeast) at levels of 0, 5, 10 or 15 mg/ head/day. According to the above, the maximum response levels were observed when cattle were fed with three-fold levels what is currently recommended. There are a limited information regard to the effects of high-level of Cr supplementation on carcass characteristics and chemical composition of muscle of finished lambs. Therefore, the aim of this trial was to evaluate the effects of feeding different levels of chromium methionine (Cr) on the carcass characteristics and chemical composition of *longissimus* muscle (LM) in hairy lambs fed a high energy diet. For the latter, twenty four Pelibuey × Dorper (initial weight at start of experiment=24.9 ± 0.2 kg) were assigned (five lambs/treatment) in indoor facilities in collective pens of 16 m² with automatic waterers and 1.2 m fence-line feed bunks. Lambs were fed *ad libitum* with a finishing diet formulated as follows (Dry matter basis): 61.2% ground maize, 14.5% soybean meal, 12.6% sudangrass hay, 7.7% molasses cane, 2.5% mineral premix and 1.5% zeolite. The calculated composition of the basal diet dry matter basis (6) was as follows: crude protein, 17 g/kg; metabolisable energy, 12.09 MJ/kg, ether extract, 29 g/kg, calcium, 98 g/kg, and phosphorus, 36 g/kg. Lambs were adapted to the basal diet and facilities 14 day before start the experiment. To determine carcass characteristics and chemical composition of LM of representative lambs at the initiation of feeding Cr, four lambs were slaughtered at the beginning of experiment. Treatments were: 1) 0.00 mg Cr/ lamb/day; 2) 0.60 mg Cr/ lamb/day; 3) 1.20 mg Cr/ lamb/day, and 4) 1.80 mg Cr/ lamb/day. The source of Cr was Cr methionine (Microplex®, Zinpro Corp.). Fresh feed were provided twice daily at 0800 and 1400 h in a 40:60 proportion (as feed basis). Daily feed allotments to each pen were adjusted to allow minimal (< 5%) feed refusals in the feed bunk. The doses of Cr were hand-weighed using a precision balance (Ohaus, mod AS612, Pine Brook, NJ). To ensure the consumption of the planned dose, the total daily dose of Cr of each treatments were mixed with 30 g of wheat bran and were

provided in the morning feeding using individual feeders. The experiment lasted 56 days. Lambs were individually weighed at morning (0700) before harvest. Hot carcass weights (HCW) were obtained for all lambs at the time of slaughter. Because feed and water were not withdrawn for 12 h before weighing and slaughtering, the final weights were reduced (pencil shrink) by 4% to account for digestive tract fill (7). After carcasses were chilled in a cooler at -2 to 1 °C for 48 h, the following measurements were obtained: 1) carcass length (maximum distance between the edge of the ischio-pubic symphysis and anterior border of the first rib at its midpoint); 2) chest depth (maximum distance between the sternum and the back of carcass, at level of sixth thoracic vertebra); 3) leg length (distance from the symphysis pubis to the tarsal-metatarsal joint); 4) fat thickness perpendicular to the *m. longissimus thoracis*, measured over the center of the ribeye between the 12th and 13th rib; 5) LM surface area, measure using a grid reading of the cross sectional area of the ribeye between 12th and 13th rib kidney, and kidney pelvic fat which was removed from the hind saddle and weighed and reported as a percentage of carcass weight (8). Chest perimeter and leg circumference were measured based on methodology reported by Smith et al. (9). Estimated yield grade was performed according to the equation proposed by USDA (8). For assessment of muscle protein and fat concentrations, muscle samples from the LM (12th rib cut) of each carcass were collected. LM samples were subjected to the following analysis according to AOAC (10) procedures: Dry matter (oven drying at 105°C until no further weight loss; method 930.15); Kjeldahl nitrogen (method 984.13), and ether extract (method 920.39). All animal management procedures were conducted within the guidelines of locally-approved techniques for animal use and care. The trial was analyzed using the MIXED procedure of SAS (11) for a completely randomized design. Treatment is considered as the fixed effect, and lamb as the random effect. Treatment effects will be tested for linear, quadratic and cubic components of

the Cr supplementation level. Contrasts are considered significant when the P-value was ≤ 0.05 , and tendencies are identified when the P-value was > 0.05 and ≤ 0.10 .

The average chemical compositions of LM of the four lambs slaughtered at the initiation of experiment were $22.71\% \pm 0.98$ and $1.46\% \pm 0.15$ of protein and fat, respectively. This chemical composition is in agreement to the previous reports in which lambs were slaughtered at lighters weights (12). After 56-d of fattening, controls lambs increased up to 11.9% fat in LM muscle. Fat deposition is highly correlated to the energy density of diet, level of intake, and the length of days of feeding (13-14). There were no effects of treatments on HCW, dressing percentage and size measures of components of carcass. Similarly, Estrada et al. (4) reported that the supplementation up to 1.20 mg/head/day with Cr (from Cr-enriched yeast) did not affect ($P \geq 0.09$) carcass length, carcass width, leg length of lambs. In opposite with the present study, Estrada-Angulo et al. (4) observed an overall positive effect of Cr supplementation on ADG and feed efficiency in lambs fed a corn-based diet. In contrast, in agreement with the present study, other studies have shown no benefits to both ADG and feed efficiency with chelated Cr supplementation on overall feedlot growth-performance of finishing lambs (15, 16)

Final weight was not affected by Cr supplementation averaging 35.24 ± 1.01 kg. Even when there were no difference on energy intake between groups (average = 9.90 ± 0.67 Megajoules/day of metabolisable energy, data not shown), supplemental Cr tended (linear, $P=0.09$) to decrease kidney pelvic fat, and linearly decreased fat thickness (linear effect, $P=0.01$) enough to improve the estimated yield grade from 1.82 to 1.42. Fat concentration in LM decreased linearly ($P<0.01$) as level of Cr increased in diet, but protein concentration remain constant ($P \geq 0.41$) and so, protein:fat ratio in LM increased ($P<0.01$). In previous reports, the addition of 0.30 mg/head/day of Cr as Cr nicotinate decreased the internal fat weight in fat-tailed lambs (17). Domínguez-Vara

et al. (15) observed decreases on carcass fat in finishing lambs supplemented with 0.35 mg/head/day of Cr plus 0.3mg/head/day of selenium from Cr and selenium-enriched yeast. In opposite, Kitchalong et al. (16) observed that supplementation with 0.47 mg/head/day of Cr tripicolinate did not affect kidney or pelvic fat weight of feedlot lambs. Chromium appears to potentiate insulin action by enhancing its binding to target cell receptors, and also by improving its post-receptor signaling, contributing to enhanced lean tissue growth (18-19). However, ruminants are more resistant to insulin than non-ruminants (20) which could explain the absence of effects on growth performance and carcass in some studies.

It is concluded that Cr methionine supplementation have a modulating effect on carcass by reducing fat, maximal responses to Cr supplementation was reached when Cr was supplemented at a dose of 1.20 mg/head/day.

References

1. Underwood EJ, Suttle NF. The Mineral Nutrition of Livestock. 3rd ed. New York, NY, USA: CABI Publishing; 2009.
2. Pallauf J, Muller AS. Inorganic feed additives. In: Mosenthin R, Zentek J, Zebrowska T, editors. Biology of Nutrition in Growing Animals Philadelphia, PA, USA: Elsevier; 2006. pp. 179-249.
3. Romero M, Pinos-Rodríguez JM, Herrera JG, García JC, Salem AZM, Bárcena R, Alvarez G. Influence of zilpaterol and mineral-yeast mixture on ruminal fermentation and growth performance in finishing steers. J Appl Anim Res 2009; 35:77-81.
4. Estrada-Angulo A, Valdés YS, Carrillo-Muro O, Castro-Pérez BI, Barreras A, López-Soto MA, Plascencia A, Dávila-Ramos H, Ríos FG, Zinn RA. Effects of feeding different levels of chromium-enriched live yeast in hairy lambs fed a corn-based diet: Effects on growth performance, dietary energetics, carcass traits and visceral organ mass. Anim Prod Sci 2013; 53: 308-315.
5. Valdés-García YS, Aguilera-Soto JI, Barreras A, Estrada-Ângulo A, Gómez-Vázquez A, Plascencia A, Ríos FG, Reyes JJ, Stuart J, Torrentera N. Growth performance and carcass

characteristics in finishing feedlot heifers fed different levels of chromium-enriched live yeast or fed zilpaterol hydrochloride. *Cuban J Agric Sci* 2011; 4: 361-368.

6. National Research Council. Nutrient Requirement of Sheep. 6th ed. Washington, DC, USA: National Academy Press; 1985.

7. Cannas A, Tedeschi LO, Fox DG, Pell AN, Van Soest PJ. A mechanistic model for predicting the nutrient requirements and feed biological values for sheep. *J Anim Sci* 2014; 82:149-169.

8. United State Department of Agriculture. Official United States Standards for Grades of Carcass Lambs, Yearling Mutton and Mutton Carcasses. Washington, DC, USA: Agriculture Marketing Service; 1982.

9. Smith GC, Griffin DB, Kenneth JH. Meat Evaluation Handbook Revision Committee. Champaign, IL, USA: American Meat Science Association; 2001.

10. AOAC. Official Methods of Analysis. 17th ed. Arlington, VA, USA: Association of Official Analytical Chemists; 2000.

11. Statistical Analysis System. SAS/STAT: User's Guide Statistic Released 9.1. Cary, NC, USA: SAS Institute Inc; 2004.

12. Partida PJA, Martínez LR. Body composition in Pelibuey lambs in terms of feed energy concentration and slaughter weight. *Rev Vet Mex* 2010; 41:177-190.

13. Ebrahimi R, Ahmadi HR, Zamiri MJ, Rowghani E. Effect of energy and protein levels on feedlot performance and carcass characteristics of Mehraban ram lambs. *Pakistan J Biol Sci* 2007; 15: 1679-1684.

14. Ríos-Rincón FG, Dávila-Ramos H, Estrada-Angulo A, Plascencia A, López-Soto MA, Castro-Pérez BI, Calderón-Cortés JF, Portillo-Loera JJ, Robles-Estrada JC. Influence of protein and energy level on growth performance, dietary energetics and carcass characteristics of feedlot hair lambs. *Asian-Australasian J Anim Sci* 2014; 27:55-60.

15. Domínguez-Vara IA, González-Muñoz SS, Pinos-Rodríguez JM, Bórquez-Gastelum JR, Bárcena-Gama R, Mendoza-Martínez G, Zapata LE, Landois-Palencia LL. Effects of feeding selenium-yeast and chromium-yeast to finishing lambs on growth, carcass characteristics, and blood hormones and metabolites. *Anim Feed Sci Technol* 2009; 152: 42-49.

16. Kitchalong L, Fernandez JM, Bunting LD, Southern LL, Bidner TD. Influence of chromium tripicolinate on glucose metabolism and nutrient partitioning in growing lambs. *J Anim Sci* 1995; 73: 2694-2705.

17. Mostafa-Tehrani A, Ghorbani G, Zarre-Shahneh A, Mirhadi SA. Noncarcass components and wholesale cuts of Iranian fat-tailed lambs fed chromium nicotinate or chromium chloride. *Small Rum Res* 2006; 63: 12–19.
18. Debski B, Zalewski W, Gralak MA, Kosla T. Chromium-yeast supplementation of chicken broilers in an industrial farming system. *J Trace Elements Med Biol* 2004; 18: 47–51.
19. Pechová A, Pavlata L. Chromium as an essential nutrient: a review. *Vet Med* 2007; 52: 1–18.
20. Chang X, Mowat DN. Supplemental chromium for stressed and growing feeder calves. *J Anim Sci* 1992; 70: 559-565.

Table 1. Treatment effects on dressing percentage, carcass characteristics and chemical composition of LM muscle of lambs supplemented with Cr-methionine.

Item	Cr-methionine level (mg/lamb/day)				SEM	<i>P</i> ^a value		
	0.00	0.60	1.20	1.80		Linear	Quadratic	Cubic
Replications	5	5	5	5				
Initial weight (kg)	25.10	24.97	25.09	24.54	2.04	0.86	0.92	0.92
Dry matter intake (kg)	0.825	0.805	0.799	0.846	0.040	0.76	0.42	0.86
Feed to gain	4.77	4.78	4.61	4.61	0.45	0.75	0.99	0.87
Slaughter weight (kg)	35.40	35.03	35.18	35.36	2.21	0.99	0.91	0.96
Hot carcass weight (kg)	19.85	19.61	20.21	20.03	1.49	0.87	0.98	0.81
Dressing percentage	56.01	56.04	57.41	56.68	0.47	0.13	0.43	0.13
Cold carcass weight (kg)	19.63	19.31	19.84	19.71	1.42	0.86	0.98	0.81
Carcass length (cm)	56.50	56.00	55.50	55.50	1.98	0.70	0.91	0.95
Leg length (cm)	25.40	24.60	23.50	23.80	1.20	0.28	0.65	0.76
Leg circumference (cm)	41.10	41.30	41.60	42.60	0.78	0.19	0.61	0.86
Chest perimeter (cm)	64.40	65.80	65.20	65.40	2.03	0.79	0.77	0.76
Chest depth (cm)	32.40	32.20	32.20	31.70	1.30	0.72	0.91	0.91
LM area (cm ²)	13.73	13.74	14.43	13.92	0.34	0.43	0.46	0.24
Fat thickness (cm)	0.36	0.30	0.26	0.26	0.02	0.01	0.18	0.84
Kidney pelvic fat (%)	3.01	2.86	2.86	2.42	0.22	0.09	0.66	0.56
Estimated yield grade	1.82	1.58	1.42	1.42	0.08	<0.01	0.18	0.83
LM composition (%)								
Protein	21.13	21.34	21.22	20.85	0.34	0.54	0.41	0.96
Fat	11.92	11.45	9.35	9.93	0.43	0.01	0.25	0.04
Protein to fat ratio	1.78	1.89	2.27	2.10	0.08	<0.01	0.11	0.03

^a *P* = observed significance level for linear, quadratic and cubic effect of supplementation level of Cr-methionine. Yield grade was estimated as: YG = (Fat thickness, in × 10) + 0.4 (8), where: 1=Most desirable, minimum fat and heavy muscled, and 5= Least desirable, fat and light muscled.