

Capítulo XXXVII

Uso de minerales quelatados en la nutrición de bovinos

Dervin B. Dean

En las regiones tropicales de Latinoamérica se han identificado múltiples deficiencias minerales en animales bajo pastoreo (McDowell, 1985), siendo las más importantes las carencias de fósforo (P) (Godoy & Chicco, 2004) y cobre (Cu) (McDowell & Arthington, 2005) en suelos y forrajes. Los desbalances y deficiencias de minerales se corrigen mediante el suministro de sales que contengan macro y micro elementos en proporciones balanceadas, y en su elaboración se deben tener en cuenta dos factores: cada uno de los minerales a suplementar deberán estar calculados en cantidades correctas, ya que ciertos minerales en exceso interfieren en la absorción de otros, causando disturbios en la producción de los animales y que se debe considerar la fuente u origen del mineral, debido a que las diversas formas químicas afectan su disponibilidad biológica y solubilidad (Underwood, 1981).

La eficiencia de absorción de muchos minerales traza, debido a factores dietéticos que afectan la biodisponibilidad de los mismos, difieren entre rumiantes y monogástricos. En rumiantes, la fermentación microbiana de la fibra en el retículo-rúmen precede a la digestión gástrica del abomaso y enzimática del intestino delgado. Las dietas para rumiantes son normalmente muy altas en fibra, y la asociación de esta fracción fibrosa a los elementos minerales presente en los forrajes y suplementos, y/o la unión de los minerales dietéticos a la fibra no digerida en el tracto gastrointestinal, pueden alterar la biodisponibilidad de algunos minerales trazas (Whitehead *et al.*, 1985; Kabaija & Smith, 1988). El pH ruminal tiende a ser neutro o ligeramente ácido (6,0–6,8), y en el rumen muchos minerales trazas se encuentran en una forma insoluble, por lo que ciertos complejos de minerales que se forman a ese nivel, permanecen insolubles aun en las condiciones ácidas del abomaso (Waghorn *et al.*, 1990), lo cual disminuye su absorción y acción metabólica en el animal. En el presente Capítulo se discutirán las posibles ventajas que las fuentes minerales orgánicas pudieran tener sobre las fuentes inorgánicas y el efecto que ejercen sobre la respuesta productiva, reproductiva e inmunológica de los bovinos.

FORMAS QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DE LOS ELEMENTOS MINERALES

Un mineral es un elemento inorgánico (comúnmente un metal) combinado con algún otro elemento o grupo de elementos químicos, como puede ser un óxido, un carbonato, un sulfato, un fosfato, etc. Sin embargo en el organismo, los metales no están combinados de esta forma, sino de un modo más complejo, en asociación con otros constituyentes orgánicos (enzimas, hormonas, proteínas, aminoácidos, etc.) (Araque *et al.*, 2010).

Según McDowell (2003) existe una diferencia considerable en la biodisponibilidad de los elementos minerales, de acuerdo a la fuente mineral utilizada. La concentración de un elemento mineral en un alimento o un suplemento mineral es diferente a la disponibilidad de ese elemento para los animales; de acuerdo al mismo autor, estas variaciones deben tomarse en cuenta cuando se formula o se evalúa un suplemento mineral. En la elaboración de suplementos minerales, generalmente se emplean sales inorgánicas (óxidos, sulfatos, carbonatos, fosfatos, etc.). Los sulfatos y carbonatos son aceptablemente absorbidos; en cambio, los óxidos son muy poco absorbidos, por lo que grandes cantidades son desechadas por el animal al medio ambiente a través de sus heces. La excreción en las heces de minerales no absorbidos, provenientes de grandes concentraciones de animales, es un causante de contaminación del suelo, pudiendo también propiciar la eutrofización (aporte masivo de nutrientes inorgánicos en un ecosistema acuático) de los cuerpos de agua superficiales cuando las heces son arrojadas en ellos (Audoin, 1991; Williams *et al.*, 1999).

Una alternativa para mejorar el uso de la suplementación mineral ha sido el desarrollo de nuevos productos metal-orgánicos, en donde la unión mineral se une a un agente quelatante de origen orgánico. Este agente quelatante debe: a) contener al menos dos grupos funcionales (oxígeno, nitrógeno, amino, hidroxilo) cada uno capaz de donar un par de electrones para combinarse (enlace covalente), con el ión metálico, y b) formar un anillo heterocíclico con el metal (Spears, 1991) (Figura 1). Estos compuestos aparentemente no tienen cargas eléctricas, por lo que atraviesan la pared intestinal con mayor facilidad (Jacques & McKenzie, 1991). Por consiguiente, se espera que la aplicación de esta tecnología en los alimentos, propicie una mayor eficiencia de absorción de los minerales, menor interferencia con otros nutrientes y en consecuencia, reduzca su excreción en heces y por ende, la contaminación ambiental.

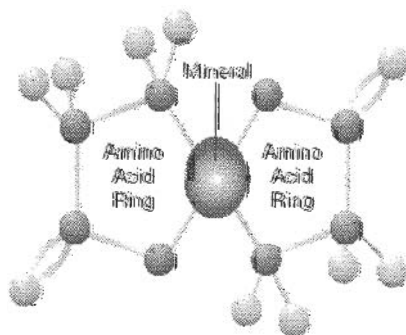


Figura 1. Estructura de un ion metálico ligado (quelatado) a moléculas orgánicas (aminoácidos)

De acuerdo a la Association of American Feed Control Officials, los minerales quelatados se pueden clasificar como (Patton, 1990):

* **Complejo metal-aminoácido:** es el producto resultante de formar complejos entre una sal metálica soluble y un (unos) aminoácidos (s).

* **Quelato metal-aminoácidos:** es el producto de la reacción de un ión metálico soluble con aminoácidos, en una proporción molar de un mol del mineral con uno a tres (preferiblemente dos) moles del aminoácido, para formar enlaces covalentes.

* **Metal proteínato:** es el producto resultante de mezclar una sal mineral soluble con aminoácidos y/o proteína parcialmente hidrolizada.

* **Complejo metal-polisacárido:** es el resultado de mezclar una sal mineral soluble con una solución de polisacáridos.

De acuerdo a McDowell (2003) los quelatos están ampliamente distribuidos en todos los seres vivos en forma natural, incluyendo carbohidratos, lípidos, aminoácidos, fosfatos (ácido fítico), porfirinas (hemoglobina y clorofila) y vitaminas (vitamina B₁₂ y ácido ascórbico). Un número importante de drogas también presentan estructuras quelatadas, incluyendo aspirina, penicilina y tetraciclinas.

EFFECTO DE MEZCLAS MINERALES QUELATADAS SOBRE LA RESPUESTA ANIMAL

La respuesta animal al uso de minerales quelatados se ha evaluado en diferentes experimentos y los resultados obtenidos han sido controversiales. Cetz-Ucan *et al.* (2005) evaluaron en novillas mestizas *B. taurus-B. indicus* (peso inicial promedio de 211 ± 38 kg) a pastoreo durante las épocas seca y lluviosa, el efecto de tres tratamientos: A: Testigo: suplementación con una mezcla de macrominerales; B: igual al anterior adicionando microminerales inorgánicos; C: igual que B, pero con microminerales quelatados; se observó una tendencia atribuible al tipo de suplemento mineral y a la época del año sobre la ganancia de peso ($P < .08$), existiendo una interacción entre los factores estudiados ($P < .05$). Fue mayor la ganancia de peso en las novillas alimentadas con los minerales quelatados en la época de lluvias, en cambio este grupo fue el que menor ganancia de peso registró en la sequía; considerando todo el periodo experimental, no se encontraron diferencias estadísticas entre tratamientos. De acuerdo a los autores, el efecto positivo de la suplementación con minerales quelatados observado durante la época de lluvias se perdió en la subsiguiente época de sequía, posiblemente debido a que el valor nutricional del pasto se redujo y entonces la principal limitante para el crecimiento de los animales fue el contenido de energía y/o proteína del forraje (Cuadro 1).

Por otra parte, Nocek & Patton (2002) en un estudio con 524 vacas, evaluaron durante 150 días posparto el efecto de una mezcla de minerales inorgánicos y lo compararon con una combinación de minerales inorgánicos más un proteínato de sales minerales (en ambos tratamientos los minerales cubrían 120% de los requerimientos según la NRC); se observó una mejor respuesta reproductiva, con menores intervalos parto-primer celo y parto-servicio y días vacíos 150 días después del parto en los animales que recibieron la mezcla de minerales quelatados (Cuadro 2).

Cuadro 1
Efecto del tipo de suplemento mineral sobre la ganancia diaria de peso (GDP)
(g) y consumo de minerales (g/anim/d) en novillas en pastoreo

Epoca	Testigo		Minerales Inorgánicos		Minerales Quelatados		Promedios
	GDP	Cons	GDP	Cons.	GDP	Cons.	GDP
Lluvias	506 ^a	28	512 ^a	23	588 ^b	27	535
Secas	216 ^a	22	163 ^a	20	143 ^b	25	174
Promedio	361 ^a	25	338 ^a	22	366 ^a	26	

^{a,b} Letras distintas en el mismo renglón indica diferencia estadística ($P < 0,08$) entre tratamientos.

Cuadro 2
Efecto de minerales quelatados en el comportamiento
reproductivo de vacas lecheras

Variable	Fuente mineral	
	Inorgánicos	Quelatados
Número de vacas	n = 262	n = 262
Intervalo parto-primer celo, días	50,3	45,8
Intervalo parto-primer servicio, días	66,8	62,8
Vacas confirmadas preñadas	n = 189	n = 183
Intervalo parto-primer celo, días	47,4	42,5
Intervalo parto-primer servicio, días	66,3	59,2
Días vacíos	90,3	83,6

Kinal *et al.* (2007) evaluaron el uso de zinc (Zn), Cu y manganeso (Mn) en forma orgánica (minerales quelatados que aportaban el 30% de los requerimientos minerales de las vacas) y lo compararon con una mezcla inorgánica de los mismos elementos, observando que los minerales orgánicos tuvieron un efecto positivo sobre los sólidos totales del calostro (23,35 vs 20,9%) al igual que sobre las concentraciones de proteína, grasa, y los niveles de calcio (Ca), fósforo, magnesio (Mg), Zn y Cu en leche. Sin embargo, Hackbart *et al.* (2010) compararon otra mezcla de microelementos inorgánicos vs. una mezcla de Zn, Cu, cobalto (Co) y Mn quelatados, en vacas lecheras y no detectaron diferencias en términos de producción de leche, composición química de la leche, consumo de materia seca, la dinámica de la primera onda folicular, calidad embrionaria, concentración de minerales en hígado y concentración de minerales traza luteales, entre animales que consumieron los minerales orgánicos y los que se suplementaron con la mezcla de minerales inorgánicos.

EFFECTO DEL COBRE ORGÁNICO EN BOVINOS

La deficiencia de Cu es bastante común en el mundo, y a excepción del fósforo, la deficiencia de este mineral es la principal limitante en zonas tropicales (McDowell & Arthington, 2005). El Cu es un componente de varias enzimas, incluyendo superóxido dismutasa, tirosinasa (enzima que cataliza la oxidación de fenoles, como la tiro-

xina), ceruloplasmina (proteína que transporta la mayor cantidad de cobre en la sangre) y la citocromo oxidasa (enzima de la cadena de transporte de electrones resultante del ciclo de Krebs). Estas enzimas son importantes en la integridad estructural del colágeno y la elastina, en la detoxificación de radicales superóxidos, en la pigmentación, transporte de hierro y en el metabolismo energético (Spears, 2003).

Tradicionalmente, el sulfato de cobre (CuSO_4) ha sido usado como la fuente regular de cobre (Cu) en suplementos minerales para diferentes especies de animales, y aun en algunos ámbitos se sigue promoviendo el uso del óxido de cobre (CuO), pero esta fuente no está disponible para rumiantes (Spears *et al.*, 2004a). Sin embargo, las fuentes inorgánicas de Cu son relativamente ineficaces cuando las concentraciones de antagonistas, como el molibdeno y el azufre, son altas. Suplementar con cantidades muy altas de sulfatos tampoco sería una solución lógica, ya que resulta más costoso para el productor y aumenta la excreción de Cu a través de las heces, creando un problema al medio ambiente. La absorción del Cu por parte de los rumiantes es muy baja ($<1,0 - 10\%$), y esto ha sido atribuido a la formación de complejos a nivel ruminal (Spears, 2003). Altas concentraciones de molibdeno y de azufre en la ración, provocan una reducción en la absorción de Cu, lo que ocurre principalmente debido a la formación de thiomolibdatos en el rumen. Los thiomolibdatos son complejos ruminales que forman enlaces irreversibles con el Cu, que inhiben su absorción (McDowell & Arthington, 2005). También se ha observado que excesos de Cu generan problemas en la absorción de Zn (Engle & Spears, 2000).

Una de las opciones presentes para mejorar la disponibilidad y absorción de Cu en presencia de antagonistas es la utilización de fuentes quelatadas. Estas fuentes incluyen proteinatos de cobre (Ward *et al.*, 1996), citratos de Cu (Engle & Spears, 2000), y Cu quelatado con aminoácidos como la lisina (Spears, 2003). Se ha reportado que la unión de la molécula de Cu a moléculas orgánicas permite la formación de complejos solubles y altamente estables, que pueden resistir la acción de antagonistas (Brown & Zeringue, 1994). En algunos estudios, la disponibilidad de las fuentes quelatadas de Cu ha sido superior a la del cobre en forma de sulfato, pero esto en general ocurre en presencia de antagonistas, ya que en ausencia de los mismos las diferencias desaparecen (Spears, 2003). Engels & Spears (2000) compararon diversas fuentes de Cu (sulfato, citrato, proteinato y cloruro) contra un control sin Cu suplementario en novillos en crecimiento (por 56 días) y engorde (por 121 días); los resultados en términos de reservas de Cu en hígado o concentraciones en plasma no mostraron diferencias entre las fuentes, aunque fue notable la diferencia a favor de los tratamientos suplementados en ambas fases. En el mismo estudio se observó que el comportamiento productivo no fue afectado por el nivel o la fuente de Cu. Durante la fase de engorde, la ganancia de peso y eficiencia alimenticia (kg de ganancia de peso/kg de materia seca consumida) fue menor en los animales que no recibieron suplementación con Cu. Según los autores, niveles tan bajos en la ración como 20 mg de Cu/kg de materia seca pueden afectar el comportamiento productivo de novillos en fase de engorde (Cuadro 3).

Cuadro 3

Efecto de la fuente y nivel de Cu en la ración sobre el comportamiento productivo y la concentración plasmática de Cu (mg/L) en bovinos machos en fases de crecimiento y engorde

Variable	Cu adicionado, mg de Cu/kg de material seca					
Fuente de cobre	Control	CuSO ₄	CuSO ₄	Citrato de Cu	Proteinato de Cu	Cloruro de Cu
Nivel de Cu	0	20	40	20	20	20
Fase de Crecimiento						
Ganancia, kg/d	1,55	1,50	1,44	1,48	1,52	1,56
Efic. Alim.	,23	,21	,21	,21	,21	,23
Cu en plasma	,84	,97	1,02	,93	1,00	,96
Fase de Engorde						
Ganancia, kg/d	1,59	1,25	1,22	1,34	1,29	1,31
Efic. Alim.	,18	,15	,14	,16	,16	,16
Cu en plasma	,80	1,05	1,10	,99	1,08	1,02

Fuente: Engels & Spears, 2000.

EFFECTO DEL ZINC ORGÁNICO EN BOVINOS

En el organismo, la mayor parte del zinc se encuentra en músculos, hígado, huesos y glándula mamaria y es un componente esencial de más de 70 enzimas encontradas en tejidos de mamíferos. Las enzimas que contienen Zn están envueltas en el metabolismo de: proteínas, ácidos nucleicos, carbohidratos y lípidos. El Zn también es importante para el normal desarrollo y función del sistema inmune, en la estabilidad de las membranas celulares, en la expresión genética, desarrollo de huesos y funciones reproductivas (Spears, 2003; Hosnedlova *et al.*, 2005). Las deficiencias en Zn pueden causar bajas concentraciones de gonadotropinas y se ha detectado un efecto localizado de este elemento sobre el tamaño testicular y la secreción de testosterona (Lee *et al.*, 2008).

Cao *et al.* (2000) evaluaron la concentración de Zn en fuentes orgánicas e inorgánicas y determinaron las siguientes concentraciones de este elemento en las diferentes fuentes: Zn-Metionina A: 3.78%, Zn-Metionina B: 9.29%, Zn-Polisacárido: 19.02%, Zn-Lisina: 9.43%, Zn-Aminoácido: 9.42%, Zn-Proteinato A: 13.63%, Zn-Proteinato B: 13.65%, Zn-Proteinato C: 13.01% y Sulfato de Zn: 20.8%. La Zn-Metionina es uno de las fuentes orgánicas de Zn más estudiadas, habiéndose determinado que es poco degradada por los microorganismos ruminales, lo que sugiere que permanece relativamente intacta en el rumen y puede llegar al intestino en su forma quelatada (Spears, 2003). En pequeños rumiantes, Lardy *et al.* (1992) observaron que el Zn orgánico (proteinato de Zn) tuvo una mayor retención de Zn que aquellos que se suplementaron con una fuente inorgánica (óxido de Zn, ZnO), cuando la concentración de Zn en ambas fuentes era similar.

Spears & Kegley (2002) utilizaron animales cárnicos mestizos (peso inicial de 246 kg) para evaluar el efecto del nivel y fuente de Zn sobre el comportamiento productivo, respuesta inmune y solubilidad de Zn en licor ruminal de novillos en fase de crecimiento y engorde. Los tratamientos fueron: 1) control (sin suplementación de

Zn); 2) ZnO; 3) Proteinato-A de Zn (10% Zn); y 4) Proteinato-B de Zn (15% Zn). Los tratamientos 2, 3 y 4 contenían 25 mg de Zn/kg dieta. La respuesta productiva fue similar en los novillos que consumieron los dos proteínatos de Zn. La suplementación con Zn, independientemente de la fuente, incrementó la ganancia diaria de peso ($P < 0,05$) durante la fase de crecimiento. Durante la fase de engorde, la ganancia de peso ($P = 0,10$) y la eficiencia alimenticia ($P = 0,07$) tendieron a ser mayores en los novillos que consumieron los proteínatos de Zn, que los que consumieron el ZnO. La respuesta inmune no fue afectada por las fuentes o niveles de Zn. La concentración de Zn soluble en licor ruminal fue mayor ($P < 0,05$) en los novillos que consumieron proteinato de Zn comparado con los que se suplementaron con ZnO. Estos últimos resultados concuerdan con los obtenidos por Spears *et al.* (2004b) quienes obtuvieron mayores ($P < 0,05$) concentraciones de Zn soluble en licor ruminal en novillos suplementados con una fuente de Zn orgánica (Zn-Metionina) que aquellos suplementados con Zn inorgánico (ZnSO_4). Estos resultados pudieran indicar que las fuentes orgánicas de Zn aportarían mayor cantidad de este elemento a los microorganismos ruminales para sus funciones metabólicas, pero parecieran contradecir la hipótesis de que las fuentes orgánicas pueden resistir las condiciones de fermentación ruminal sin ser alterada su estructura.

Sin embargo, las fuentes orgánicas de Zn no siempre mejoran la respuesta animal, ya que Kessler *et al.* (2002) evaluaron durante 284 días, dos fuentes de Zn orgánico (Zn-proteinato y Zn-polisacárido) y una fuente inorgánica (ZnO) en toretes mestizos, observando que las fuentes de Zn no produjeron diferencias significativas en términos de consumo de materia seca, tasa de crecimiento, eficiencia alimenticia o estatus de Zn en los animales.

EFFECTO DEL SELENIO ORGÁNICO EN BOVINOS

El selenio (Se) actúa en el sistema antioxidante como un componente de una familia de las enzimas glutatión peroxidasa. Estas enzimas previenen daños celulares al destruir el peróxido de hidrogeno y los hidroperóxidos de los lípidos. El Se también está envuelto en la deiodinación (remoción de una molécula de yodo) de la tiroxina para transformarla en tri-iodotironina, la cual es una forma metabólicamente más activa en los tejidos. Se ha observado que el sistema inmune es adversamente afectado por deficiencias de Se, y que las deficiencias de este elemento incrementan la incidencia de mastitis y retención placentaria en vacas lecheras (Spears, 2003). En vacas lecheras se ha determinado que el Se también tiene efectos sobre la inmunidad pasiva y la inmunidad adquirida, incluyendo la producción de anticuerpos y de citoquinas (proteínas responsables de la comunicación intercelular y que inducen la activación de receptores específicos de membrana) y la función de los neutrófilos (Larsen, 1993).

Silvestre *et al.* (2007) definen a un nutraceutico, como un producto aislado o purificado de un alimento, que tiene propiedades fisiológicas beneficiosas o que proveen protección contra enfermedades crónicas. El Se es un nutriente esencial que reduce la incidencia de problemas clínicos, incluyendo la prevención de cáncer, reduce la incidencia de mastitis clínicas, la mortalidad en becerros e incrementa el conteo de células somáticas en leche, por lo cual se considera un nutraceutico.

Comparado con los animales monogástricos, los rumiantes absorben el selenito de sodio en forma más deficiente; esta diferencia es parcialmente el resultado del estado altamente reductor del rumen, el cual convierte parcialmente el Se inorgánico en compuestos insolubles de Se (Wright & Bell, 1966). De acuerdo a Pehrson *et al.* (1989) la selenometionina (Se-Metionina), la cual es la principal forma como el Se encuentra en la mayoría de los alimentos y en cultivos de levaduras enriquecidas con Se, es más biodisponible que el selenito inorgánico.

Ibeagha *et al.* (2009) evaluaron el efecto del Se orgánico y lo compararon a una fuente inorgánica (selenito de sodio), ambas en dos diferentes dosis (0,3 y 0,5 mg/kg de material seco) en vacas lecheras. Observaron que la fagocitosis (proceso por el que una célula ingiere partículas sólidas mediante la deformación del citoplasma hasta rodearlas completamente) de los neutrófilos no fue afectada por nivel o fuente de Se, sin embargo, el Se orgánico disminuyó ($P < 0,01$) la apoptosis (muerte celular programada) de los neutrófilos, mientras que la concentración de Se en plasma incrementó en becerros que consumieron leche de las vacas que consumieron la dieta con mayor concentración de Se en ambas formas, lo que demuestra la importancia del Se en el sistema inmune de los animales. Resultados similares fueron observados por Gunter *et al.* (2003), quienes detectaron mayor concentración de Se sanguíneo y mayor actividad de la enzima glutatión peroxidasa en los becerros de vacas suplementadas con Se orgánico en preparto, que en las crías de vacas que consumieron selenito de sodio. Al comparar una fuente de Se orgánico (Sel-Plex) contra una fuente inorgánica (selenito de sodio) a una dosis de 0,3 mg/kg de MS desde 24 días preparto hasta 81 días posparto en vacas lecheras primíparas y multíparas, se observaron que las vacas que recibieron el Se orgánico mostraron mayor concentración de Se en plasma ($0,087$ vs $0,069 \pm 0,002$ $\mu\text{g/ml}$; $P < 0,01$) y mejoró la función de los neutrófilos al parto en vacas multíparas ($42 \pm 6,14\%$ vs $24,3 \pm 7,2\%$) y a los 7, 14 y 37 días posparto en vacas primíparas ($53,9$ vs $30,7\%$, $58,6$ vs $41,9\%$, y $53,4$ vs $34,8\%$, respectivamente) con respecto a las vacas que consumieron el selenito (Silvestre *et al.*, 2007). En el mismo trabajo, se observó que la producción de leche, tanto mensual ($36,41$ vs $37,15$ kg/d, $P = 0,03$) como la ajustada por grasa ($35,33$ vs $36,2$ kg/d, $P = 0,05$) fueron mayores en las vacas suplementadas con Sel-Plex, notando igualmente que en las vacas primíparas el pico de lactancia fue más prolongado en las que recibieron Sel-Plex.

EFFECTO DEL CROMO (Cr) ORGÁNICO EN BOVINOS

El Cr es un componente activo del factor de tolerancia a la glucosa (GTF), siendo esencial para el mantenimiento normal del metabolismo de carbohidratos y lípidos (Mertz, 1993) y su deficiencia puede producir síntomas similares a los de la diabetes. Condiciones de estrés, tales como ejercicios extenuantes, enfermedades y traumas, pueden inducir a deficiencias de Cr, porque estas situaciones producen un incremento en el metabolismo de la glucosa que producen movilizaciones de Cr desde las reservas corporales y a pérdidas irreversible de Cr en la orina (Burton *et al.*, 1996). Resultados de investigaciones han mostrado que la suplementación con Cr orgánico (picolinato de Cr) reducen marcadamente los niveles de cortisol sérico y tiene efectos beneficiosos sobre el sistema inmune de becerros en condiciones de estrés (Mowat *et al.*, 1993).

El efecto de la suplementación con Cr orgánico fue evaluado por Besong *et al.*, 2001) en becerros lecheros (108 kg de peso promedio) sometidos a dos tratamientos: 1) una dieta balanceada sin suplemento de Cr, y 2) una dieta balanceada suplementada con 0,8 mg/kg de picolinato de Cr. Los investigadores no observaron efectos significativos de la suplementación con Cr orgánico sobre el consumo de materia seca, ganancia diaria de peso, glucosa sérica, insulina, colesterol ni sobre la proporción de ácidos grasos volátiles en el rumen. Sin embargo, los becerros suplementados con Cr mostraron menores concentraciones de triglicéridos sanguíneos a la 3ra semana de ensayo, de α -hidroxibutirato a la 6ta semana y de triglicéridos hepáticos a la 9na semana. Otros autores evaluaron el efecto del picolinato de Cr (3,5 mg de Cr/vaca/d) suministrado durante las últimas 9 semanas de gestación, sobre la incidencia de retención de placentaria en vacas lecheras y observaron que la incidencia de retención placentaria fue apenas un 25% (16 vs 56%) en las vacas que recibieron Cr con respecto al grupo no suplementado, sin embargo, no hubieron diferencias en el peso al nacer de los becerros entre ambos grupos (sin Cr = $43,92 \pm 0,75$ kg vs. suplementados con Cr = $44,26 \pm 0,84$ kg) (Villalobos *et al.*, 1997).

CONCLUSIONES

A pesar de las múltiples evaluaciones que se han llevado a cabo para determinar las posibles ventajas del uso de los minerales orgánicos (quelatados) en rumiantes, todavía siguen sin respuestas muchas interrogantes concernientes al valor como suplemento de estas sustancias. Una evidencia que demuestre aumentos en la absorción y en la retención de microelementos orgánicos no es totalmente concluyente y su costo es entre 10 y 20 veces mayor que los suplementos inorgánicos (Lee *et al.*, 2008). Aunque se han reportado algunas respuestas positivas, se requieren ulteriores investigaciones para determinar si las formas orgánicas de microelementos pueden tener un efecto realmente mejorador, que derive en beneficios económicos en los sistemas de producción de carne, leche o doble propósito, que justifiquen su uso.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Araque C, Medina R, Sánchez A, Delgado A, Espinosa V. 2010. Importancia de los minerales quelatados en la alimentación. Disponible en: http://www.cuencarural.com/ganaderia/bovinos/68658-importancia-de-los-minerales-quelatados-en-la-alimentacion/?encuestas_id=42&ver_resultado=1. Visto: 04/03/2011.

Audoin L. 1991. The role of nitrogen and phosphorus in pollution of animal origin. *Rev Scien Techn* 10: 629-654.

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.

Brown TF, Zeringue LK. 1994. Laboratory evaluations of solubility and structural integrity of complexed and chelated trace mineral supplements. *J Dairy Sci* 77: 181-189.

Burton JL, Nonnecke BJ, Dubesky PL, Elsasser TH, Mallard BA. 1996. Effects of supplemental chromium on production of cytokines by mitogen-stimulated bovine peripheral blood mononuclear cells. *J Dairy Sci* 79: 2237-2246.

- Cao J, Henry PR, Guo R, Holwerda RA, Toth JP, Littell RC, Miles RD, Ammerman CE. 2000. Chemical characteristics and relative bioavailability of supplemental organic zinc sources for poultry and ruminants. *J Anim Sci* 78: 2039-2054.
- Cetz-Ucán FH, Cervantes-Tun JI, Sauri-Duch E, Bores-Quintero RA, Castellanos-Ruelas AF. 2005. Impacto del empleo de microminerales quelatados en la alimentación de rumiantes. *Livest Res Rural Develop* 17 (9).
- Engle TE, Spears JW. 2000. Effects of dietary copper concentration and source on performance and copper status of growing and finishing steers. *J Anim Sci* 78: 2446-2451.
- Godoy S, Chicco CF. 2004. Fuentes alternas de fósforo en la alimentación de ovinos. *Inter-ciencia* 29: 33-38.
- Gunter SA, Beck PA, Phillips JM. 2003. Effects of supplementary selenium source on the performance and blood measurements in beef cows and their calves. *J Anim Sci* 81: 856-864.
- Hackbart KS, Ferreira RM, Dietsche AA, Socha MT, Shaver RD, Wiltbank MC, Fricke PM. 2010. Effect of dietary organic zinc, manganese, copper, and cobalt supplementation on milk production, follicular growth, embryo quality, and tissue mineral concentrations in dairy cows. *J Anim Sci* 88: 3856-3870.
- Hosnedlová B, Soch M, Trávníček J. 2005. Effect of additive intake of zinc on its content in blood plasma of dairy cows. *ISAH 2005, Warsaw, Poland* 1: 260-263.
- Ibeagha AE, Ibeagha-Awemu EM, Mehrzad J, Baurhoo B, Kgwatalala P, Zhao X. 2009. The effect of selenium sources and supplementation on neutrophil functions in dairy cows. *Animal* 3: 1037-1043.
- Jacques K, McKenzie C. 1991. Organic trace minerals on the farm. *Feeds and Feeding* 16: 18-25.
- Kabaija E, Smith OB. 1988. Trace element kinetics in the digestive tract of sheep fed diets with graded levels of dietary fibre. *J Anim Physiol* 59:218-224.
- Kessler J, Morel I, Dufey PA, Gutzwiller A, Stern A, Geyer H. 2003. Effect of organic zinc sources on performance, zinc status and carcass, meat and claw quality in fattening bulls. *Liv Prod Sci* 81: 161-171.
- Kinal S, Korniewicz A, Supczyńska M, Bodarski R, Korniewicz D, Ęermak B. 2007. Effect of the application of bioplexes of zinc, copper and manganese on milk quality and composition of milk and colostrum and some indices of the blood metabolic profile of cows. *Czech J Anim Sci* 52:423-429.
- Lardy GP, Kerley MS, Paterson JA. 1992. Retention of chelated metal proteinate by lambs. *J Anim Sci* 70 (Suppl. 1): 314 (Abstr.).
- Larsen HJS. 1993. Relations between selenium and immunity. *Norwegian J Agric Sci* (suppl. 11): 105-119.
- Lee J, Masters DG, White CL, Grace ND, Judson GJ. 2008. Current issues in trace element nutrition of grazing livestock in Australia and New Zealand. *Aust J Agric Res* 50:1-12.
- McDowell LR. 2003. Grazing Ruminants Require Free-Choice Minerals. *Feedstuffs*. Issue 47 (75).
- McDowell LR. 1985. *Nutrition of Grazing Ruminants in Warm Climates*. Academic Press, NY, USA.
- McDowell LR, Arthington JD. 2005. *Minerales para rumiantes en pastoreo en regiones tropicales*. Cuarta Edición. University of Florida, Gainesville, FL, USA.

- Mertz W. 1993. Chromium in human nutrition: A review. *J Nutr* 123: 626-633.
- Mowat DN, Chang X, Yang WZ. 1993. Chelated chromium for stressed feeder calves. *Can J Anim Sci* 73: 49-55.
- Nocek JE, Patton RS. 2002. Effect of chelated trace mineral supplementation for inorganic sources on production and health of Holstein cows. *J Dairy Sci* 85 (Suppl. 1): 107.
- Pehrson B, Knutsson M, Gyllensward M. 1989. Glutathione peroxidase activity in heifers fed diets supplemented with organic and inorganic selenium compounds. *Swedish J Agric Res* 19: 53-56.
- Silvestre F, Heloisa T, Rutigliano M, Thatcher WW, Santos JEP, Staples CR. 2007. Effect of selenium source on production, reproduction, and immunity of lactating dairy cows. *Florida Ruminant Nutrition Symposium, Gainesville, FL*.
- Spears JW. 1991. Chelated trace minerals in ruminant nutrition. 2nd Florida Ruminant Nutrition Symposium. Gainesville, FL, USA. Pp 23-29.
- Spears JW. 2003. Trace mineral bioavailability in ruminants. *J Nutr* 133:1506S-1509S.
- Spears JW, Kegley EB. 2002. Effect of zinc source (zinc oxide vs zinc proteinate) and level on performance, carcass characteristics, and immune response of growing and finishing steers. *J Anim Sci* 80: 2747-2752.
- Spears JW, Kegley EB, Mullis LA. 2004a. Bioavailability of copper from tribasic copper chloride and copper sulfate in growing cattle. *Anim Feed Sci Technol* 116: 1-13.
- Spears JW, Schlegel P, Seal MC, Lloyd KE. 2004b. Bioavailability of zinc from zinc sulfate and different organic zinc sources and their effects on ruminal volatile fatty acid proportions. *Liv Prod Sci* 90: 211-217
- Underwood EJ. 1981. Los minerales en la alimentación del ganado vacuno. Editorial Acribia. España.
- Villalobos F. JA, Romero RC, Tarragó MR, Rosado A. 1997. Supplementation with chromium picolinate reduces the incidence of placental retention in dairy cows. *Can J Anim Sci* 77: 329-330.
- Waghorn GC, Shelton ID, Sinclair BR. 1990. Distribution of elements between solid and supernatant fractions of digesta in sheep given six diets. *N Z J Agric. Res.* 33: 259-269.
- Ward JD, Spears JW, Kegley EB. 1996. Bioavailability of copper proteinate and copper carbonate relative to copper sulfate in cattle. *J. Dairy Sci* 79:127-132.
- Whitehead DC, Goulden KM, Hartley RD. 1985. The distribution of nutrient elements in cell wall and other fractions of the herbage of some grasses and legumes. *J Sci Food Agric* 36: 311-318.
- Williams CM, Barker JC, Sims JT. 1999. Management and utilization of poultry wastes. *Rev Environm Contam Toxic.* 162:105-57.
- Wright PL, Bell MC. 1966. Comparative metabolism of selenium and tellurium in sheep and swine. *Am J Physiol* 211: 6-10.