

Capítulo XXXVIII

La nutrición mineral del ganado vacuno

Omar Araujo-Febres, MSc

INTRODUCCIÓN

La alimentación mineral del ganado es muy importante, ya que estos compuestos no pueden ser sintetizados por los animales y deben incluirse en la dieta (Ciria *et al.*, 2005). La nutrición mineral es la más compleja y una de la menos entendida. La proteína y la energía son los alimentos que normalmente estamos preocupados de suministrar, pero aun así, observamos que en ciertas ocasiones, a pesar de proporcionar abundancia de alimentos con contenidos proteicos y energéticos en cantidades suficientes, los animales no responden y presentan un cuadro de desnutrición (Wright, 2003). Esto se debe a la falta o desbalance de minerales importantes en la dieta.

Los forrajes contienen suficientes minerales que permitirán a los animales sobrevivir pero no cubrir las necesidades de su potencial genético (Sanchez *et al.*, 1985). En los animales a pastoreo ocurren situaciones que hay que considerar simultáneamente, y los requerimientos minerales van a depender del nivel de producción (Greene, 2000). La primera, los requerimientos de los animales cambian con la edad y con su estado productivo; segunda, los pastos poseen diferente composición de acuerdo a la especie, edad, al suelo y clima donde se desarrollan, y tercera, los métodos para suplir los minerales y la biodisponibilidad de los suplementos que se utilizan (Wright, 2003).

Si los animales están siendo alimentados correctamente y sus reservas corporales de minerales son adecuadas, no debe haber respuesta a la suplementación mineral extra, pero si por el contrario, sus niveles son deficitarios, entonces la respuesta a la suplementación mineral es muy marcada. Los minerales juegan un papel muy importante en la digestión de los forrajes, en la eficiencia reproductiva, en el sistema inmune y en el desarrollo de los huesos, músculos y dientes. El consumo insuficiente de minerales (y de vitaminas) puede generar numerosas respuestas negativas en el animal, tales como:

1. Se reduce el consumo de forraje
2. Se reduce el aprovechamiento de los alimentos

3. Disminuye la ganancia de peso
4. Desmejora la eficiencia reproductiva
5. Poca resistencia a las enfermedades
6. Reducido peso al nacer

Hay 21 elementos esenciales o probablemente esenciales para la vida. Los minerales se dividen en dos categorías: los minerales macro y los micro o trazas. Los macro son aquellos cuyos requerimientos están por encima de 100 ppm en la dieta. Los minerales requeridos en cantidades mayores son calcio, fósforo, magnesio, sodio, cloro (sal) azufre y magnesio. Los minerales traza son hierro, zinc, cobre, manganeso, yodo, cobalto, molibdeno, selenio, y cromo (Corah, 1996; Ciria *et al.*, 2005).

Hay dos tipos de deficiencia de minerales en el ganado; la primera debido a niveles muy bajos de minerales en los pastos y en el agua y la segunda, cuando un elemento impide la absorción de otro elemento. Por ejemplo, sulfatos en el agua o molibdeno en los forrajes pueden impedir la absorción de cobre.

Los requerimientos de minerales dependen en mayor grado de los niveles de producción de los animales (Cuadro 1). Animales con crecimiento rápido y alta producción de leche, tendrán exigencias mayores que los que no poseen esos atributos. También se observarán diferencias importantes en el metabolismo de los minerales debidas a la raza y al nivel de adaptación de los animales al medio.

Cuadro 1
Requerimientos minerales del ganado de carne

Mineral	Vacas/novillas		
	Crecimiento	Gestantes	Lactantes
Calcio ^b %	.40 a.80	.16 a.27	.28 a.58
Fósforo%	.22 to.50	.17 to.22	.22 to.39
Magnesio%	.10	.12	.20
Potasio%	.60	.60	.70
Sodio%	.06 a.08	.06 a.08	.10
Azufre%	.15	.15	.15
Cobalto ppm	.10	.10	.10
Cobre ppm	.10	.10	.10
Iodo ppm	.50	.50	.50
Hierro ppm	.50	.50	.50
Manganeso ppm	.20	.40	.40
Selenio ppm	.10	.10	.10
Zinc ppm	.30	.30	.30

Greene, 2000; NRC, 2001

^bLos requerimientos de calcio y fósforo (% del consumo de materia seca) disminuyen en la medida que aumenta de peso, con el incremento de la tasa de ganancia o con el aumento del nivel de producción de leche.

Las plantas que consumen los animales difieren en su composición mineral, existiendo diferencias entre las diferentes especies de gramíneas, y aun mayor entre las leguminosas y las gramíneas; y en la estructura, reportándose diferencias entre hojas y tallos (MacPherson, 2000). La edad de la planta afecta el contenido, y en la medida que la planta madura se hace evidente la deficiencia de los minerales K, Na, Cl, Cu, Co, Ni, Zn y Mo (MacPherson, 2000; Ciria *et al.*, 2005). La composición mineral y el pH del suelo afectan la absorción por las plantas (Ciria *et al.*, 2005). El clima también influye el contenido de minerales en los pastos. Durante la época de sequía, los pastos crecen más lentamente, los niveles de energía y proteína son menores y los animales no ganan peso o lo pierden. Sin embargo, durante la época lluviosa, los pastos crecen aceleradamente, poseen mayores niveles de energía y proteína, y es cuando se observan deficiencias de minerales en los animales porque la demanda aumenta. El mayor riesgo de deficiencia se presenta al inicio de las lluvias (MacPherson, 2000).

CALCIO Y FÓSFORO

Los animales pueden estar creciendo, produciendo leche o engordando, pero no están expresando todo su potencial productivo, a pesar de estar consumiendo buenos pastos. Probablemente sea debido a una deficiencia de un elemento inorgánico, un mineral, y es esa la limitación en la producción ganadera. Los pastos tropicales difícilmente pueden suplir todos los minerales en cantidades adecuadas a las necesidades de los animales. Los factores que afectan el contenido de minerales en los forrajes son el suelo, la especie forrajera, la edad del pasto, el rendimiento, el manejo de los potreros y el clima.

Las leguminosas poseen contenidos minerales diferentes de las gramíneas y se complementan bastante bien. La edad de la planta es otro factor importante, cuando la planta madura, los minerales disminuyen en las hojas porque son translocados a otros órganos de la planta, como las raíces. El clima, la estación del año y el manejo de los potreros afectan el rendimiento y la composición mineral de los pastos. Los minerales no pueden ser sintetizados por los animales, por lo tanto, el aporte debe venir de la dieta.

Calcio y Fósforo. Las deficiencias minerales han sido reportadas en todas las regiones tropicales. Sin embargo, el fósforo es el mineral con más probabilidades de estar deficitario. En el trópico los suelos y los forrajes poseen bajos contenidos de fósforo. Las recomendaciones de fósforo siempre van unidas a las de calcio, debido a la estrecha interrelación entre ellos con la vitamina D. Los requerimientos de cada uno de ellos dependen de la presencia del otro. Normalmente se recomienda que la relación sea de 1:1 a 2:1. Los huesos constituyen las reservas corporales del calcio y fósforo. Estos dos elementos poseen funciones vitales para el animal.

Funciones. Calcio y fósforo son dos elementos muy abundantes en el cuerpo animal. Constituyen cerca del 70% del contenido mineral en el cuerpo animal. Aproximadamente 20% es fósforo. El calcio es esencial para la formación del esqueleto, para la coagulación de la sangre, para el latido del corazón, el funcionamiento de los nervios, activación enzimática y la permeabilidad de las células. El fósforo está presente en los glóbulos rojos, en los músculos, en el tejido nervioso; entra en la formación de

los huesos, y es esencial para el funcionamiento de los microorganismos de rumen. También en el sistema de utilización de la energía, así como, en el metabolismo proteico y el control del pH en la sangre y en el rumen. Si hay deficiencia de fósforo hay reducción en la producción y en la reproducción (Greene, 2000). Los huesos actúan como la reserva de Ca y P y de otros minerales, y proveen el Ca necesario para síntesis de la leche en las vacas (Keene *et al.*, 2004).

Absorción. El principal sitio de absorción del calcio y del fósforo es el intestino delgado. La absorción intestinal de calcio se adapta a los niveles de consumo de calcio y es muy baja en situaciones de raquitismo (deficiencias de vitamina D). Al suministrar vitamina D, se reestablece la absorción normal de calcio. La absorción de fósforo, también es activada por la vitamina D y las condiciones de acidez favorecen la absorción del calcio. El porcentaje de absorción decrece con la edad. La absorción de fósforo es influenciada por la fuente de fósforo, el pH intestinal, la edad del animal y el consumo de otros minerales, especialmente calcio, hierro, aluminio, manganeso, potasio y magnesio. El contenido mineral de los huesos es el resultado del balance entre la formación y la reabsorción ósea, lo cual está influenciado por la dieta, la edad y el estado fisiológico del animal (Keene *et al.*, 2004).

Excreción. Hay un recambio permanente del calcio y del fósforo y la excreción está bajo control hormonal. La saliva de los rumiantes es muy rica en fósforo, tanto así, que el consumo diario de fósforo en el alimento puede ser inferior a las cantidades que entran al rumen en la saliva. La principal vía de excreción del calcio y del fósforo ocurre a través de las heces. Las pérdidas por la orina son mínimas. Los rumiantes son más eficientes que los monogástricos en la reabsorción del fósforo, debido a un mecanismo de protección, porque las dietas son pobres en fósforo.

Deficiencias. Las deficiencias de calcio y fósforo no son fácilmente detectables. Una deficiencia en calcio reduce la calcificación de los huesos, huesos débiles, crecimiento lento, baja producción de leche, y cuando la deficiencia es muy pronunciada puede producir convulsiones. La deficiencia de fósforo es más difícil de determinar. Los signos principales son fragilidad ósea, debilidad general, pérdida de peso, emaciación, rigidez, disminución de la producción láctea; se observa comportamiento anormal, mastican madera, tierra o huesos. Sin embargo, la masticación de objetos puede ocurrir también producto de deficiencias de otros minerales.

La mayor demanda de calcio ocurre inmediatamente después del parto. El inicio de la lactación requiere mayores cantidades de calcio por la producción de leche (Greene, 2000). Un eficiente uso de fósforo en el alimento por las vacas lecheras minimiza las pérdidas fecales del elemento. El balance de fósforo está determinado por el consumo, la excreción y la producción de leche. El contenido de fósforo en la leche es constante. Bajo una severa deficiencia de fósforo, el ganado presentará graves problemas de reproducción, pudiendo pasar hasta tres o más años sin entrar en celo o parir un becerro.

Inmediatamente después del parto, hay una transferencia elevada de Ca, P y Mg a través del calostro para el becerro. Las concentraciones Ca, P, y Mg en el calostro de vacas multíparas es mucho mayor que en las primíparas (Kume y Tanabe, 1993). El fósforo también juega un importante papel en la etiología de la hipocalcemia postparto. Altos niveles de P en la dieta probablemente reducen la biosíntesis de calcitriol, y

entonces activa la absorción intestinal, la cual, junto con la acción aniónica en la excreción renal, produce hipocalcemia (Romo *et al.*, 1991).

Prevención. Los requerimientos de fósforo de los rumiantes a pastoreo difícilmente son satisfechos, por lo tanto, los animales deben ser suplementados. Las deficiencias de calcio y fósforo son fáciles de remediar. La suplementación puede ser directa o indirecta. Directa es suministrar a los animales un suplemento mineral en la dieta. Indirecta es a través del tratamiento con fertilizantes de los potreros. Los suplementos minerales deben ser comprados a laboratorios serios, con alta calidad técnica y científica. No suplemente con arena en sacos. El procedimiento más económico es el suministro en comederos protegidos de la lluvia. Buenas fuentes de fósforo son el fosfato dicálcico y el superfosfato triple. Utilice una buena fuente de minerales, y los resultados los verá en los animales, mas leche, más becerros y más animales en mejores condiciones corporales.

MAGNESIO, SODIO, POTASIO, CLORO Y AZUFRE

Los minerales constituyen una parte muy pequeña de la dieta de un animal, pero juegan un papel fundamental en el crecimiento, salud, y reproducción. La deficiencia de un elemento mineral se presentará inadvertidamente como un crecimiento lento, un estado de salud precaria, o una tasa de reproducción disminuida. El exceso podría ocasionar una toxicidad.

Magnesio

El magnesio es un componente clave para iniciar muchos procesos enzimáticos metabólicos y en la función neuromuscular (Ward y Lardy, 2005). La distribución del magnesio en el organismo animal es semejante a la distribución del fósforo; alrededor del 60% en el esqueleto y el otro 40% en los líquidos corporales. Después del potasio es el catión más importante en el líquido intracelular. El suero sanguíneo contiene de 1 a 3 mg por 100 mL. El magnesio se absorbe en el intestino delgado. Las deficiencias de magnesio se manifiestan como reducción en porcentaje de preñez, disminución del vigor en los becerros y reducción de la tasa de ganancia de peso. En los casos graves puede presentarse vasodilatación, nerviosismo, calambres musculares y un porcentaje elevado de mortalidad.

La insuficiencia de magnesio (hipomagnesemia) ocasiona la enfermedad del ganado bovino conocida como “tetania de los pastos”. Una prolongada deficiencia de magnesio se manifiesta con excesiva micción, conducta errática y nerviosa, convulsiones y muerte. Todos los rumiantes son susceptibles a esta enfermedad pero en mayor riesgo se encuentran las vacas lactantes más viejas que son buenas productoras. Los henos de gramíneas tienden a ser bajos en magnesio (Mg < 0,15%), mientras que los henos de leguminosas poseen cantidades adecuadas (Mg entre 0,27 y 0,33%).

Sodio, Cloro, y Potasio

Estos tres minerales se estudian juntos por la semejanza de sus funciones y por la distribución en el organismo. Estos tres elementos se encuentran en los líquidos orgánicos y tejidos blandos. Ellos controlan la presión osmótica, regulan el equilibrio

ácido-base (Tucker y Hogue, 1990) y el metabolismo del agua en los tejidos. Desde el punto de vista de la nutrición, a estos tres elementos se les concede menos importancia, ya que las necesidades del organismo se suplen adecuadamente en la dieta normal, y los riesgos de consumo excesivo sólo se observa en condiciones especiales.

Sodio y Cloro. Son los componentes de la sal común, son electrolitos que trabajan juntos para mantener el volumen de las células, el balance ácido-base (pH) y la presión osmótica (Greene, 2000). La sal induce a tomar agua y a mantener los volúmenes de producción de leche. El cloro es indispensable para la producción de ácido clorhídrico (HCl) en la mucosa gástrica relacionado con la digestión de las proteínas en el estómago. El sodio trabaja conjuntamente con el potasio para el transporte de nutrientes hacia o desde la célula. La mayor parte del sodio se encuentra en el líquido extracelular. En los bovinos se requieren de 10 a 15 gramos de sal por día. Además los animales deben disponer de abundante agua para beber. Estos minerales son regulados por medio de los riñones y el sistema hormonal (Greene, 2000). La deficiencia en sodio puede aparecer en animales pastoreando forrajes fertilizados con altos niveles de potasio. Los síntomas de deficiencia se manifiestan como una reducción en la producción de leche, disminución del consumo, desmejoramiento en condición corporal y menor crecimiento. Los requerimientos de cloro no están claramente establecidos.

Potasio. Al igual que el sodio el ganado requiere potasio en grandes cantidades para mantener el funcionamiento normal de los órganos. El potasio trabaja en conjunto con el sodio para facilitar la entrada y salida de nutrientes a las células (actividad de la bomba Na^+/K^+) (Greene, 2000). También ayuda a mantener el balance de agua en la célula (presión osmótica). La mayor parte del potasio se encuentra en el líquido intracelular. La mayoría de los forrajes suministran cantidades adecuadas de potasio. El ganado requiere de 0,6 a 0,8% de potasio en la materia seca de la ración. Deficiencias de potasio se manifiestan como una reducción en el consumo y pérdida de peso. La absorción del sodio, cloro y potasio ocurre fundamentalmente en el duodeno. Como norma los forrajes son más ricos en potasio que los concentrados. La excreción urinaria es el principal mecanismo homeostático para regular el Na y el K (Nennich *et al.*, 2006).

Azufre

Este es un mineral muy especial ya que es el único incorporado en los aminoácidos (específicamente en la cistina y metionina). Los aminoácidos son las estructuras básicas para la constitución de las proteínas. Casi todo el azufre en el organismo se encuentra formando parte de los compuestos orgánicos. El azufre inorgánico no satisface los requerimientos de los animales. Sin embargo, en los rumiantes, los microorganismos del rumen utilizan azufre inorgánico para fabricar sus propios aminoácidos azufrados. Los pastos maduros y/o secos tienden a tener niveles bajos de azufre. La mayor eficiencia de síntesis microbiana se obtiene cuando existe una relación nitrógeno azufre de 7:1.

Existen varias fuentes de azufre: flor de azufre (azufre elemental), el sulfato, el tiosulfato y el sulfito. El azufre es un componente importante de la queratina, y se encuentra en el pelo, pezuñas y piel. En animales a pastoreo es más frecuente que el azufre se encuentre en niveles altos que en niveles de deficiencia, y el problema principal es que el azufre más el molibdeno antagoniza la disponibilidad del cobre (Greene, 2000).

MINERALES TRAZAS

Este grupo de minerales se denominan trazas porque las cantidades que requieren los animales son muy pequeñas, normalmente expresados en partes por millón (ppm) o en miligramos por kilogramo de peso corporal (mg/kg PV). De los 16 elementos considerados necesarios, realmente son esenciales el cobalto (Co), cobre (Cu), hierro (Fe), zinc (Zn), manganeso (Mn), yodo (I), selenio (Se), cromo (Cr) y molibdeno (Mo); las deficiencias de los otros ocurren muy rara vez (MacPherson, 2000). Aunque estos minerales son requeridos en porciones muy pequeñas, ellos juegan un importante papel metabólico (Cuadro 2). Los elementos traza, tales como, Zn, Mn, Cu, y Co son importantes en la síntesis proteica, metabolismo de las vitaminas, en la formación de tejido conectivo y en las funciones de inmunidad (Griffiths *et al.*, 2007). La suplementación oral de los elementos trazas ha mostrado efectos positivos en los eventos reproductivos, como disminución del periodo de aparición del primer estro, y un incremento en la tasa de concepción (Vanegas *et al.*, 2004). Algunos complejos específicos de aminoácidos con minerales traza son más biodisponibles y mejor retenidos por el cuerpo que fuentes inorgánicas (Griffiths *et al.*, 2007).

Cuadro 2
Criterios para la clasificación del estado de los minerales trazas en bovinos*

	Cu	Zn	Se	Mn	Fe	I
	plasma	plasma	sangre	suero	suero	suero
Estatus	$\mu\text{g/mL}$	$\mu\text{g/mL}$	ng/mL	ng/mL	$\mu\text{g}/100\text{mL}$	$\mu\text{g}/100\text{mL}$
Deficiente	0,2-0,5	0,2-0,4	60-200	< 5	15-120	1-5
Adecuado	0,7-0,9	0,8-1,4	210-1200	6-70	130-250	10-40
Alto	0,9-1,1	2-5	> 1200		400-600	70-300

*Adaptado de Kincaid (2000).

Cobalto. La función principal del cobalto es suministrar un sustrato a los microorganismos del rumen para la elaboración de vitamina B₁₂ (Ward y Lardy, 2005). El cobalto es un componente de la vitamina B₁₂, la cual actúa como co-factor de la enzima metilmalonil-CoA-mutasa que cataliza la conversión del metilmalonil-CoA a succinil-CoA, paso muy importante en la conversión del propionato a glucosa. La producción de vitamina B₁₂ en el rumen es muy deficiente, así como la absorción en el intestino delgado (MacPherson, 2000).

Las deficiencias son más comunes que las intoxicaciones, ya que el ganado posee una gran tolerancia a este mineral. Cuando hay deficiencia, los signos incluyen menor apetito, crecimiento reducido, disminución de la producción de leche, y el pelo se torna áspero (Ward y Lardy, 2005). Incluir este mineral en la suplementación alimentaria, especialmente durante la época seca, añade seguridad con nulos riesgos. Se ha desarrollado un bolo que actúa durante aproximadamente seis meses liberando en el rumen cobre, selenio y cobalto, lo cual representa una ventaja en sistemas extensivos de producción de carne (Sprinkle *et al.*, 2006). También se ha obtenido excelente respuesta a la suplementación con complejos aminoácidos-mineral (quelatos) como Co glucoheptonato, lográndose un incremento de 6% en producción de leche y mejoramiento en la fertilidad (Griffiths *et al.*, 2007). El Co se encuentra principalmente en

las hojas de los tallos. En suelos bien drenados es pobre la presencia de Co, mientras que los suelos con pH altos limitan la disponibilidad del cobalto (MacPherson, 2000).

Cobre. El cobre es un importante cofactor en muchos sistemas enzimáticos, incluidos en la formación de hemoglobina, para el mantenimiento de la salud de los glóbulos rojos, el desarrollo del colágeno, y metabolismo del tejido conectivo, la reproducción y los procesos inmunes (Lalman, 2004). El cobre trabaja en conjunto con el molibdeno y el azufre inorgánico para crear varias importantes enzimas involucradas en el metabolismo de los nucleótidos y de las vitaminas (Ward y Lardy, 2005). Altos niveles de Zn, Mo, Fe o P en la dieta pueden interferir con la absorción de Cu, ya que compiten por los sitios de absorción en la mucosa intestinal. El incremento de Zn en la dieta de 2,0 a 4,0 g/kg de la materia seca reduce la absorción del Cu en 54% e incrementa los niveles de Mo de 1 a 10 mg/kg. MS disminuye la absorción de Cu en 48,3% (Griffiths *et al.*, 2007). En el hígado del becerro recién nacido hay suficientes reservas de Cu y Mn cuando la madre ha recibido adecuada suplementación (Kume y Tanabe, 1993). La mayor acumulación de minerales en el feto ocurre durante los últimos tres meses de gestación (House y Bell, 1993). Las leguminosas de clima templado poseen más cobre que las gramíneas, no así en el trópico, donde las gramíneas contienen más cobre que las leguminosas (MacPherson, 2000).

Iodo. El iodo es un elemento clave para el mantenimiento del metabolismo a través de la producción de triyodotironina T3 y tiroxina T4 en la glándula tiroides, éstas juegan un papel importante en la termorregulación, metabolismo intermediario, diferenciación y crecimiento celular, hematopoyesis y circulación, funcionamiento neuromuscular y reproducción. Una baja producción de tiroxina resulta en tasa metabólicas más bajas, especialmente el metabolismo energético, lo cual se refleja en menor crecimiento y reducida producción de leche (Lalman, 2004; Ward y Lardy, 2005). El iodo es absorbido de la dieta por los rumiantes, especialmente en el abomaso (MacPherson, 2000), y la suplementación de iodo es realmente económica a través de la sal yodada. También se presenta como etilenediamina di-hidrioduro (EDDI), una forma orgánica de iodo (Lalman, 2004).

Cromo. El cromo actúa como potenciador de la acción de la insulina siendo un componente activo del factor de tolerancia a la glucosa. La suplementación con Cr en vacas de carne durante el parto y el postparto (Hayirli *et al.*, 2001; Stahlhut *et al.*, 2006), como en novillos en crecimiento o en finalización (Chang *et al.*, 1995), se reduce el nivel de la concentración de glucosa y de los ácidos grasos no esterificados en la sangre. El efecto trófico del Cr es aumentar la comunicación entre la insulina y sus receptores localizados en las membranas celulares de los tejidos sensibles a la insulina incrementando la fluidez en la membrana (Hayirli *et al.*, 2001). Niveles menores de insulina en el plasma en animales suplementados con Cr sugiere que menos insulina es requerida para movilizar la glucosa de la sangre a los tejidos, esto es potenciar la acción de la insulina (Stahlhut *et al.*, 2006). En vacas cebú suplementadas con Cr se lograron tasas más altas de preñez y se redujo el periodo parto-primer celo comparado con las vacas control (Aragon *et al.*, 2001), la vez disminuyó la incidencia de retención placentaria (Villalobos *et al.*, 1997).

Manganeso. El manganeso es un componente de las enzimas piruvato carboxilasa, arginasa, superóxido dismutasa y varias otras (Lalman, 2004). El Mn juega un

importante papel en el crecimiento y en la reproducción. Cuando se incrementa la concentración del Mn en la dieta aumenta la concentración de Mn en los tejidos reproductivos. La fertilidad se mejora porque el Mn es necesario para la síntesis de colesterol, el cual se utiliza para la síntesis de los esteroides, estrógenos, progesterona y testosterona (Nocek *et al.*, 2006). El manganeso es el segundo, siguiendo al hierro, como el elemento esencial más abundante en la corteza terrestre (MacPherson, 2000). La absorción del Mn parece ser muy pobre en todos los animales domésticos, y es afectada adversamente por altas concentraciones de Ca, P y Fe.

Selenio. El selenio es requerido por el organismo para la síntesis de una enzima-glutatión peroxidasa, que degrada los peligrosos agentes oxidantes (Lalman, 2004), y en conjunto con la vitamina E refuerzan la función inmune (MacPherson, 2000). En la forma de selenometionina, puede reducir ciertos tipos de cáncer (piel, próstata, y colon) en humanos (Ward y Lardy, 2005). El Se y la vitamina E están estrechamente relacionados, una deficiencia de uno, incrementa los requerimientos del otro (Lalman, 2004), debido a sus roles complementarios (MacPherson, 2000). En los forrajes, el Se tiende a aparecer enlazado a una proteína, como selenometionina, con pequeñas cantidades de selenocisteína, y ambas formas parecen ser utilizadas por los rumiantes (MacPherson, 2000).

Zinc. El zinc es un componente esencial de un número importante de enzimas metabólicas relacionadas con la síntesis proteica, ácidos nucleicos, metabolismo de los carbohidratos y también asociado con la función inmune (Lalman, 2004). El zinc es necesario para mantener la actividad normal de los linfocitos, siendo esenciales para la integridad del sistema inmune (Mandal *et al.*, 2006). La deficiencia de zinc se manifiesta por reducción en el consumo de alimentos y disminución de la tasa de crecimiento, excesiva salivación, reducido crecimiento testicular, cascos rotos, lesiones dérmicas y reducción de la fertilidad en vacas y toros (Lalman, 2004). Está bien establecido que el Zn mejora la integridad de los cascos incrementando la velocidad de reparación de los tejidos epiteliales y manteniendo la integridad celular. El Zn también es necesario para la síntesis y maduración de la queratina y junto con el Cu juega un papel importante en la formación del tejido conectivo (Griffiths *et al.*, 2007).

La NRC (2001) recomienda niveles de 33 mg/kg de Zn en las dietas de los becerros en crecimiento, y aunque hay una falta de información sobre la disponibilidad fisiológica de Zn en los forrajes (MacPherson, 2000), la mayoría de los forrajes están por debajo de los niveles recomendados (Lalman, 2004). Los quelatos han sido utilizados en rumiantes con respuestas más efectivas que con las formas inorgánicas (Mandal *et al.*, 2006).

Hierro. El hierro es un componente esencial en la estructura de las proteínas relacionadas en el transporte y utilización del oxígeno, hemoglobina, mioglobina, citocromos, y proteínas hierro-azufre envueltas en la cadena de transporte de electrones (Lalman, 2004). Aunque no se conoce mucho sobre la disponibilidad del Fe en los forrajes para los rumiantes, excepto por su forma química, el óxido férrico está mucho menos disponible que las formas más solubles, como el sulfato ferroso y el cloruro férrico. Los forrajes normalmente poseen más hierro que el necesario, por lo tanto, es poco común que se presenten deficiencias en ganado a pastoreo, excepto en animales que pierden sangre por una infección parasitaria o por hemorragia (MacPherson, 2000).

Antagonismo

Se ha denominado antagonismo a la relación entre los minerales, donde la presencia de un mineral puede interferir la absorción o facilitar la excreción de otro (Ciria *et al.*, 2005). El molibdeno de la dieta puede inhibir la absorción y la utilización del cobre. En el rumen, el Mo se combina con el azufre para formar tetrathiomolibdato, el cual se une al Cu e impide su absorción (Kincaid, 2000). Existe una interacción del yodo con el selenio, el cual está presente en la enzima deiodinasa, que es requerida para la conversión de tetraiodotironina en tri-iodotironina y puede afectar la disponibilidad del yodo (MacPherson, 2000). Una ventaja fisiológica de los compuestos orgánicos con Cu es debida a su exclusiva química de enlace, que le permite la formación de productos altamente solubles y químicamente muy estables que resisten la interacción con los antagonistas en el intestino (Datta *et al.*, 2007). La mayoría de los nutricionistas coinciden en que la relación en la dieta de cobre a molibdeno debe mantenerse entre 4-10:1 para minimizar el riesgo de que el Mo induzca una deficiencia de Cu. También existen interacciones con las vitaminas y con las hormonas que facilitan la acción o se complementan.

SUPLEMENTACIÓN MINERAL DEL GANADO A PASTOREO

Para suministrar un suplemento adecuado se debe conocer los requerimientos de los animales de acuerdo con la edad, estado productivo o reproductivo. Además, la disponibilidad biológica de los minerales en la mezcla, la concentración del elemento en la mezcla, y el consumo de la mezcla. La suplementación mineral puede realizarse de manera directa o indirecta.

La suplementación mineral directa o a voluntad (*ad libitum*) es el método más común de suministrar minerales en animales en pastoreo. Los rumiantes no poseen un apetito especial por los minerales excepto la sal común. La sal común en proporción de 30 al 40% promueve el consumo de la mezcla mineral. Los suplementos minerales sólo benefician a los animales si están disponibles de manera permanente, en forma seca y fresca. Los saleros deben ser contruidos de forma tal que permitan el acceso a los animales pero que impidan la contaminación con heces u orina, así como, a prueba de lluvia. El suministro a pastoreo en la forma de bloques minerales es una manera práctica. Los bloques deben ser colocados a cierta distancia de los bebederos, y debe haber un bloque por cada 25 a 40 animales (MacPherson, 2000). Los saleros deben ser chequeados dos veces por semana.

Si el ganado está consumiendo minerales en exceso, se debe añadir más sal a la mezcla; altos niveles de sal hacen disminuir el consumo. Si el consumo es muy bajo, se puede incentivar el consumo con melaza, grano, semillas de algodón, etc, hasta un 15% de la mezcla. Si se está suplementando con proteína y energía, puede añadirse mineral a la mezcla para alcanzar el consumo al nivel deseado (Gill *et al.*, 2004). En general, los forrajes tropicales no aportan los requerimientos de calcio, fósforo, cobre, zinc y manganeso de los animales a pastoreo (Sánchez *et al.*, 1985).

La forma indirecta de administración mineral incluye un manejo adecuado del suelo, con enmiendas que promuevan el aumento del pH y una mejor disponibilidad de ciertos minerales en la planta. Los forrajes poseen diferencias entre ellos en la cap-

tación de minerales de suelo, entonces, el pastoreo de diferentes especies de forrajes que crecen en el mismo suelo, proporciona una variada concentración de algunos minerales (Greene, 2000).

Los suplementos minerales comerciales están formulados para suplir de un 100 a 125% de los requerimientos promedio de una región, pero desafortunadamente, el rebaño individual, esta por encima o por debajo del promedio (Greene, 2000). Los dueños de rebaños grandes, deben trabajar conjuntamente con el nutricionista para identificar las deficiencias minerales y formular su propia fórmula mineral, para las diferentes épocas del año (Greene, 2000).

Una última consideración está relacionada con la contaminación ambiental. En los sistemas intensivos de producción se acumulan desechos, que pueden poner en peligro la calidad del suelo y del agua superficial. Actualmente, el N y el P son considerados el principal problema ambiental, y debe estudiarse cómo disponer de los desechos adecuadamente (Hristov *et al.*, 2007). El exceso de minerales en las excretas, además de representar un riesgo de contaminación ambiental, representa una pérdida económica.

CONCLUSIONES

No se puede desarrollar un programa económicamente eficiente de suplementación mineral que sirva para todas las fincas y en todo el país. Cada ganadero debe evaluar su sistema de producción, sus recursos, su nivel de producción, y las limitantes que lo afectan, para desarrollar un programa para su operación. El suplemento mineral más costoso, no necesariamente es el mejor. Cualquier cambio en la suplementación mineral, debe venir acompañado de mayor tasa de nacimientos, mejores pesos al nacer, al destete, y más producción de leche (Wright, 2003). En general, la composición de la leche no parece estar afectada por el nivel o fuente de la suplementación mineral (Nocek *et al.*, 2006).

Los minerales quelatados son metales enlazados a un compuesto orgánico tales como los aminoácidos. Debido a asociación con el compuesto orgánico, los metales son absorbidos en el intestino delgado con mayor facilidad. Las fuentes inorgánicas minerales están asociadas con oxígeno, cloro, u otros compuestos no carbonados. El estrés reduce la tasa de absorción de los nutrientes (Ward y Lardy, 2005).

La concentración de minerales en los forrajes varían considerablemente y depende de muchos factores, tales como: especie forrajera, tipo de suelo, nivel de fertilización, condiciones climáticas y época del año. La determinación de la concentración mineral en los forrajes no es difícil de obtener, pero si establecer el nivel de disponibilidad. Es evidente que el ganado a pastoreo en pastos de baja calidad, requieren suplementación mineral (Lalman, 2004). La suplementación mineral de hembras, novillas y vacas lactantes, a pastoreo en sabanas venezolanas permitió un incremento del 14% en la tasa de preñez comparado con el grupo testigo que sólo recibió sal (Rojas *et al.*, 1994).

LITERATURA CITADA

- Ciria J, Villanueva R, Ciria J. 2005. Avances en nutrición mineral en ganado bovino. IX Seminario de Pastos y Forrajes. Universidad Nacional Experimental del Táchira, San Cristóbal. 31 de marzo al 02 de abril. Memorias, pp. 50-69.
- Chang X, Mowat DN, Mallard BA. 1995. Supplemental chromium and niacin for stressed feeder calves. *Can J Anim Sci* 75, 351-358.
- Corah L. 1996. Trace mineral requirements of grazing cattle. *Anim Feed Sci Technol* 59:61-70.
- Datta C, Mondal MK, Biswas P. 2007. Influence of dietary inorganic and organic form of copper salt on performance, plasma lipids and nutrient utilization of Black Bengal (*Capra hircus*) goat kids. *Anim Feed Sci Tech* 135:191-209.
- Gill W, Lane C, Neel J, Fisher A, Bates G, Joines D. 2004. Mineral nutrition of beef cattle. University of Tennessee. Extension PB 1749. 24 pp.
- Greene LW. 2000. Designing mineral supplementation of forage programs for beef cattle. *Proc Amer Soc Anim Sci* 1999, *J Anim Sci* 77: E1-9.
- Griffiths LM, Loeffler SH, Socha MT, Tomlinson DJ, Johnson AB. 2007. Effects of supplementing complexed zinc, manganese, copper and cobalt on lactation and reproductive performance of intensively grazed lactating dairy cattle on the South Island of New Zealand. *Anim Feed Sci Tech* 137:69-83.
- House WA, Bell AW. 1993. Mineral accretion in the fetus and adnexa during late gestation in Holstein cows. *J Dairy Sci* 76:2999-3010.
- Hristov AN, Hazen W, Ellsworth JW. 2007. Efficiency of use of imported magnesium, sulfur, copper, and zinc on Idaho dairy farms. *J Dairy Sci* 90:3034-3043.
- Keene BE, Knowlton KF, McGilliard ML, Lawrence LA, Nickols-Richardson SM, Wilson JH, Rutledge AM, McDowell LR, Van Amburgh ME. 2004. Measures of bone mineral content in mature dairy cows. *J Dairy Sci* 87:3816-3825.
- Kincaid RL. 2000. Assessment of trace mineral status of ruminants: A review. *Proc Amer Soc Anim Sci* 1999, *J Anim Sci* 77: E1-10.
- Kume S, Tanabe S. 1993. Effect of parity on colostrum mineral concentrations of Holstein cows and value of colostrum as a mineral source for newborn calves. *J Dairy Sci* 76:1654-1660.
- Hayirli A, Bremmer DR, Bertics SJ, Socha MT, Grummer RR. 2001. Effect of chromium supplementation on production and metabolic parameters in periparturient dairy cows. *J Dairy Sci* 84, 1218-1230.
- Lalman D. 2004. Vitamin and mineral nutrition of grazing cattle. Oklahoma State University. Oklahoma Cooperative Extension Service. E-861. 40 pp.
- MacPherson A. 2000. Trace-mineral status of forages. In: DI Givens, E. Owen, RFE Axford and HM Omed (eds.) CAB International Forage Evaluation in Ruminant Nutrition. pp. 345-371.
- Mandal GP, Dass RS, Isore DP, Garg AK, Ram GC. 2006. Effect of zinc supplementation from two sources on growth, nutrient utilization and immune response in male cross-bred cattle (*Bos indicus* × *Bos taurus*) bulls. *Anim Feed Sci Tech* doi:10.1016/j.anifeeds-ci.2006.09.014.
- Nennich, T. D., J. H. Harrison, L. M. VanWieringen, N. R. St-Pierre, R. L. Kincaid, M. A. Wattiaux, D. L. Davidson, and E. Block. 2006. Prediction and evaluation of urine and urinary nitrogen and mineral excretion from dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 89:353-364.

- Nocek JE, Socha MT, Tomlinson DJ. 2006. The effect of trace mineral fortification level and source on performance of dairy cattle. *J Dairy Sci* 89:2679-2693.
- NRC, 2001. *Nutrient Requirements of Dairy Animals*, 7th ed. National Research Council/National Academy Press, Washington, DC, USA.
- Rojas L. X, Moya A, McDowell LR, Martin FG, Conrad JH. 1994. Estado mineral de una finca en el suroeste de los llanos de Venezuela. *Zoot Trop* 12:161-186.
- Romo GA, Kellems RO, Powell K, Wallentine MV. 1991. Some blood minerals and hormones in cows fed variable mineral levels and ionic balance. *J Dairy Sci* 74:3068-3077.
- Sanchez JM, Vargas E, Campabadal C, Benavides A. 1985. Contenido mineral de los forrajes y suero sanguíneo del ganado bovino en los cantones de Cañas, Bagaces y Liberia de la provincia de Guanacaste, durante la época lluviosa. *Agron. Costarr.* 9:149-154.
- Sprinkle JE, Cuneo SP, Frederick HM, Enns RM, Schafer DW, Carstens GE, Daugherty SB, Noon TH, Rickert BM, Reggiardo C. 2006. Effects of a long-acting, trace mineral, reticulorumen bolus on range cow productivity and trace mineral profiles. *J Anim Sci* 84:1439-1453.
- Stahlhut HS, Whisnant CS, Lloyd KE, Baird EJ, Legleiter LR, Hansen SL, Spears JW. 2006. Effect of chromium supplementation and copper status on glucose and lipid metabolism in Angus and Simmental beef cows. *Anim Feed Sci Tech* 128: 253-265.
- Tucker WE, Hogue JF. 1990. Influence of sodium chloride or potassium chloride on systemic acid-base status, milk yield, and mineral metabolism in lactating dairy cows. *J Dairy Sci* 73:3485-3493.
- Vanegas JA, Reynolds J, Atwill ER. 2004. Effects of an injectable trace mineral supplement on first-service conception rate of dairy cows. *J Dairy Sci* 87:3665-3671.
- Ward M, Lardy G. 2005. Beef cattle mineral nutrition. North Dakota State University. Extension Service. AS-1287. www.ag.ndsu.nodak.edu visto 10-06-2007.
- Wright CL. 2003. Making sense of mineral supplementation. *Proc Range Beef Cow Symp XVIII*. December 9-11, 2003, Mitchell, Nebraska.