

REQUERIMIENTOS Y RECOMENDACIONES DE SUPLEMENTACIÓN CON MINERALES EN BOVINOS

Hernando Flórez Díaz¹

INTRODUCCIÓN

Los bovinos requieren un adecuado balance de agua, energía, proteínas, vitaminas y minerales para obtener niveles adecuados de crecimiento, producción de leche y reproducción. En las condiciones del trópico bajo colombiano, sin embargo, los pastos no alcanzan a suministrar las concentraciones requeridas de varios minerales necesarios para este propósito, por lo tanto, los bovinos en pastoreo se deben suplementar con una fuente permanente de estos elementos (Figura 4.1).

Los 15 minerales indispensables para los bovinos se dividen en mayores (macro) y trazas (micro) minerales. Los siete minerales mayores se requieren en cantidades de gramos, se expresan en porcentaje del total de la dieta e incluyen calcio (Ca), fósforo (P), sodio (Na), cloro (Cl), potasio (K), magnesio (Mg) y azufre (S). Los macrominerales son importantes componentes estructurales del hueso y otros tejidos, y sirven como constituyentes de los fluidos corporales. Estos minerales mayores cumplen un papel esencial en el mantenimiento del equilibrio ácido base, de la presión osmótica, del potencial eléctrico de las membranas y de la transmisión nerviosa.

MVZ., M.Sc., Ph.D. Investigador CORPOICA. La Libertad. hflorez@corpoica.org.co



Figura 4.1. Suplementación con sal mineralizada a bovinos.

Los ocho minerales trazas se requieren en muy bajas cantidades, pero son esenciales y se reportan en partes por millón (ppm). Estos minerales involucran: cobre (Cu), cobalto (Co), hierro (Fe), manganeso (Mn), molibdeno (Mo), selenio (Se), yodo (I) y zinc (Zn). Los microminerales sirven como componentes de las metaenzimas y cofactores de enzimas o como componentes de hormonas del sistema endocrino.

En términos del balance y la disponibilidad de minerales en el organismo, es importante tener en cuenta la concentración del mineral en el forraje, la capacidad de selección del animal en pastoreo, la disponibilidad del mineral para el bovino y la cantidad que se absorbe. Este capítulo tiene como objetivo presentar los principales aspectos de la nutrición mineral en bovinos, las recomendaciones de suplementación y la importancia de estos nutrientes para la producción y reproducción en ganaderías de carne del trópico bajo colombiano.

FUNCIONES DE LOS MINERALES MAYORES

- **Calcio (Ca)**

Aproximadamente el 98% del Ca en el organismo hace parte del esqueleto y el 2% restante se encuentra en el fluido extracelular. El Ca extracelular

es necesario para la formación de los huesos, la transmisión de impulsos nerviosos, la contracción del músculo esquelético y cardíaco, la coagulación de la sangre y como componente de la leche. El Ca intracelular es importante para la función de las enzimas y actúa como segundo mensajero de la acción hormonal.

La concentración normal del Ca en el plasma sanguíneo se encuentra entre 9 y 10 mg/dL en vacas adultas, siendo levemente mayor en terneros. Entre el 40% y 45% de este Ca se encuentra unido a la albúmina y un 5% al citrato y elementos inorgánicos, y el restante 45% a 50% está ionizado en forma soluble.

La absorción de Ca en el intestino depende de la vitamina D. En caso de deficiencia, el Ca se moviliza del hueso. Si la deficiencia se prolonga, se desarrolla osteoporosis y fracturas. Una deficiencia en animales jóvenes afecta la mineralización del hueso y retarda el crecimiento. La concentración de Ca en la leche no se altera incluso en casos severos de deficiencia.

El exceso de Ca en la dieta generalmente no causa intoxicación, pero una concentración del 1% en la dieta puede disminuir el consumo de alimento. El exceso puede afectar la absorción de microminerales como el Zn. En el caso de vacas alimentadas con ensilaje de maíz, el suministro de Ca por encima de los requerimientos mejora la eficiencia de producción.

Las demandas de Ca aumentan en la transición entre el parto y la lactancia. La deficiencia súbita en este período (hipocalcemia) conlleva a la presentación de la fiebre de leche o vaca caída, que es más común en vacas lecheras que en vacas de carne. En la hipocalcemia, el tono muscular en el útero disminuye y se presentan partos prolongados y retención de placenta, así mismo, la involución uterina se retrasa y se presentan problemas de fertilidad posparto. Cuando la dieta se suplementa con grasa, los requerimientos se deben ajustar, ya que estos aumentan. La relación Ca : P se debe mantener entre 1:1 y 5:1. La eficiencia de la absorción del Ca disminuye con la edad del animal; los jóvenes lo absorben con mayor eficiencia que los adultos (NCR, 2001).

En pastos del género *Brachiaria*, manejados en forma tradicional, la concentración foliar de Ca no alcanza, en muchos casos, a llenar los requerimientos para lactancia y crecimiento del ganado de carne. En general, la eficiencia de absorción del Ca proveniente de los forrajes se estima en 30%, mientras que para granos y concentrados es del 60%. En los suplementos minerales, la

eficiencia es mayor que en los pastos y concentrados, y es de 50% para los óxidos de Ca, 75% para carbonato de Ca y 95% para cloruro de Ca y fosfato de Ca (NRC, 2001).

• Fósforo (P)

Aproximadamente el 80% del P se encuentra en el esqueleto y los dientes. En los huesos se une con el Ca para formar sales de hidroxapatita y fosfato de Ca. El P es importante en el metabolismo energético de cada célula, como parte del ATP. Este mineral actúa en los sistemas buffer ácido-base de la sangre y otros fluidos, en la diferenciación celular y como componente de fosfolípidos, fosfoproteínas y ácidos nucleicos.

La concentración de P en el plasma sanguíneo es de 6 a 8 mg/dL en animales jóvenes y de 4 a 6 mg/dL en adultos. En un animal de 600 Kg de peso circulan aproximadamente de 1 a 2 g de P inorgánico y el total de P intracelular para el mismo animal es de 155 g (Goff, 1998a; citado por NRC, 2001).

Los microorganismos del rumen requieren P para la digestión de la celulosa y la síntesis de la proteína microbiana. Para optimizar la digestión de la fibra se recomienda que el P disponible dentro del rumen (de la dieta y el que se recicla en la saliva) sea de al menos 5 g/kg de materia orgánica digerida. La absorción de P se lleva a cabo principalmente en el duodeno y en el yeyuno, y depende directamente de la concentración en el lumen intestinal. Cuando el alimento presenta baja concentración de P, la absorción depende de la vitamina D (NRC, 2001).

El P que se absorbe por el intestino se secreta en la leche o en el tracto digestivo con las heces. El equilibrio en el organismo se lleva a cabo por el reciclaje en la saliva y por la excreción en las heces. La concentración de P en la saliva es 4 a 5 veces mayor que en el plasma. En vacas lecheras entre 30 g y 90 g de P inorgánico se secretan diariamente en la saliva. La eficiencia de absorción del P se estima en 90% para terneros lactantes y 78% para terneros entre 100 y 200 kg. Con respecto a los alimentos, la eficiencia de absorción es menor en los forrajes (64%) que en los concentrados (70%). En los suplementos minerales, la eficiencia de absorción es del 80% para fosfato de amonio, 85% en fosfato de dicalcico y 90% para fosfato de Na (NRC, 2001). La eficiencia de absorción disminuye a medida que aumenta el consumo de P. El exceso de P en la dieta reduce la eficiencia de absorción del P inorgánico y el que está presente en la saliva.

Los requerimientos para el crecimiento dependen de la ganancia de peso, y en vacas en lactancia, de la producción y la concentración en la leche. Para vacas gestantes, los requerimientos aumentan en el último tercio de la gestación.

El P es el mineral más deficiente en los bovinos y en los pastos de todo el mundo, debido a la baja concentración en el suelo. A diferencia del Ca, la deficiencia de P se presenta en bovinos que pastorean praderas sin fertilización o en praderas nativas. La deficiencia de P también se presenta cuando los animales consumen una dieta con exceso de forrajes maduros o residuos de cosecha con baja concentración de P (menos de 0,25 % de P en la MS). Los signos de deficiencia no son específicos e incluyen: pérdida del apetito, baja ganancia de peso y producción de leche y baja fertilidad, pero los signos se complican porque simultáneamente se presentan deficiencias de energía y proteína. Los animales presentan baja concentración de P en la sangre (2-3 mg/dL) pero la concentración en la leche se mantiene normal. En casos severos de deficiencia se presenta consumo de huesos, tierra, etc., raquitismo en terneros y osteomalacia (debilidad del hueso) en bovinos adultos. Los signos de deficiencia de P son similares a los de Cu pero se diferencian por la baja concentración de P y hemoglobina en la sangre, respectivamente. El consumo de P en exceso por largo tiempo, afecta el metabolismo del Ca y produce pérdida de hueso y cálculos urinarios (NRC, 2001).

El P es el mineral más costoso en la sal mineralizada. Por lo tanto, es importante realizar análisis de su concentración en los forrajes y suplementos con el fin de elaborar una formulación exacta y correcta del suplemento mineral. En general, se presenta una alta variación en la concentración de P en los forrajes y suplementos proteico-energéticos. En pastos del género *Brachiaria*, manejados de forma tradicional, la concentración foliar de P no alcanza a llenar los requerimientos para lactancia y crecimiento del ganado de carne. Según Mc Dowell (1985), el P produce el mayor retorno de la inversión cuando se suplementa.

Anteriormente se hacía mucho énfasis en la relación Ca-P para la formulación de las dietas. Este factor es importante únicamente si hay deficiencia de Ca y/o P. Lo importante es asegurar que los requerimientos de cada elemento se cumplan.

En la literatura se menciona mucho la importancia del P para la reproducción. En varios trabajos, pero no en todos, se ha observado que la deficiencia

severa de P causa problemas de fertilidad y reducción de los parámetros reproductivos. En casos de deficiencia, se reduce el consumo de alimento, lo que ocasiona deficiencia de proteína, energía y otros nutrientes, lo que puede afectar la reproducción. Se piensa que la baja ganancia de peso corporal en vacas con deficiencia de P es la principal causa de problemas reproductivos (Holmes, 1981; citado por NRC, 2001). En vacas de carne, la deficiencia de P y proteína en conjunto afectan la presentación del primer calor posparto. El NRC (2001) concluye que la literatura no muestra información que soporte que el suministro de P más allá de los requerimientos, mejore la reproducción.

• Sodio (Na)

El Na es el principal catión extracelular y entre el 30% y el 50% de este mineral se encuentra en el hueso como parte de la estructura cristalina. El Na con el Cl y el K son importantes para mantener el líquido extracelular y el equilibrio ácido-base. Con el K actúan en la función del corazón, en la transmisión de impulsos nerviosos y en la bomba de Na y K, mecanismo esencial en todas las células para el transporte de glucosa, aminoácidos, fosfatos, Ca, bicarbonato, K y Cl. El Na es el componente principal de las sales de la saliva que ayudan a mantener el pH del rumen.

La concentración de Na en el organismo es de 1,68 a 2,01 g/kg de peso corporal y en el hueso del 0,4%. En la sangre la concentración es de 150 meq/L y en la saliva está entre 160 y 180 meq/L. La concentración en la leche es de 25 a 30 meq/L, y aumenta en casos de mastitis (NRC, 2001).

La absorción activa de Na se lleva cabo en retículo-rumen, abomaso, omaso y duodeno y la pasiva a nivel intestinal. La excreción en las heces es escasa, porque los bovinos pueden permanecer largos períodos de tiempo con bajo nivel de Na en la dieta. La concentración de Na en la sangre se mantiene por reabsorción y excreción en los riñones. En caso de deficiencia, el riñón reabsorbe eficientemente el Na y se disminuye la secreción en la saliva. Los requerimientos diarios de Na para bovinos en crecimiento y vacas preñadas no lactantes es de 1,5 g/100 kg de peso vivo. En vacas lecheras se requieren 0,038 g/kg de peso por día. Cuando la temperatura ambiental está entre 25 y 30 °C se requiere para mantenimiento un adicional de 0,10 g/100 kg de peso vivo y en temperaturas mayores de 30 °C de 0,50 g/100 kg de peso vivo (ARC, 1980). Para crecimiento, los requerimientos son de 1,4 g/kg de ganancia de peso para bovinos entre 150 y 600 kg, y para vacas en el último trimestre de gestación es de 1,39 g/d. La concentración promedio de Na en la leche es de 0,63 g/kg.

La absorción aparente de Na en vacas lecheras alimentadas con forrajes frescos es de 85% y con ensilaje de maíz de 74%; el Na en la sal blanca (cloruro de Na) está 100% disponible. En general, el coeficiente de absorción del Na es de 90%.

La deficiencia de Na se manifiesta por el consumo de tierra, orina, disminución del apetito y de la producción de leche, pérdida de peso y pelaje opaco. La intoxicación con Na depende de la disponibilidad de agua para consumo, los signos incluyen falta de apetito, disminución en el consumo de agua, deshidratación y pérdida de peso. La concentración máxima de cloruro de Na en la dieta de ganado lechero es de 4% (1,6 % de Na en la MS) (NRC, 2001).

La sal blanca es esencial en los bovinos. El Na y el Cl son electrolitos que se encuentran en los fluidos corporales y no existen reservas importantes en el organismo. Estos elementos ayudan a mantener el volumen celular, el pH y la osmolaridad (balance de agua) de los fluidos corporales como la sangre. La sal blanca promueve el consumo de agua, lo cual ayuda a mantener la producción de leche; debido a esto, en los bovinos se pueden presentar deficiencias rápidamente, por lo tanto, en los potreros debe haber un acceso permanente a la sal o a un suplemento que la contenga. En promedio, los bovinos deben consumir entre 11 y 15 g de sal blanca por día. Ambos elementos se pueden consumir en grandes cantidades sin efectos negativos, siempre y cuando exista agua disponible. Los niveles de la dieta no deben superar el 8%, ya que el exceso se excreta a través de la orina.

• Cloro (Cl)

El Cl es el anión más abundante en el organismo. La mayoría se encuentra en el líquido extracelular, en el plasma sanguíneo y en el fluido cerebroespinal. Las concentraciones en sangre están en el rango entre 90 y 110 meq/L, entre 10 y 30 meq/L en el líquido ruminal y entre 25 y 30 meq/L en la leche. Sus funciones incluyen la regulación de la presión osmótica, el transporte de dióxido de carbono y oxígeno con el Na y K, y como parte del ácido clorhídrico que se secreta en el abomaso cumple un papel determinante en la digestión de las proteínas (NRC, 2001).

Una gran proporción (80%) del Cl que entra al tracto digestivo proviene de la secreción de la saliva, de los jugos abomasal y pancreático, y se absorbe en la parte alta del intestino delgado por difusión; también se transporta con el Na a través de la pared del rumen, en contra de su gradiente de concentración.

El exceso de Cl se excreta en la orina y las heces, con pequeñas cantidades en el sudor como cloruro de Na o K. La excreción en el sudor en una vaca de 500 kg es de 1,6 g/d en condiciones tropicales (CSIRO, 2007).

Los requerimientos de mantenimiento de Cl son de 2,25 g/100 kg de peso corporal, para crecimiento de 1,0 g/kg de ganancia de peso entre 150 y 600 kg, y para el último tercio de la gestación es de 1,0 g/d. La concentración de Cl en la leche es de 1,15 g/L. La concentración en el calostro es alta y disminuye en la leche durante la lactancia, pero aumenta al final de esta. Los requerimientos en lactancia son de 1,15 g/kg de leche producida (NRC, 2001).

La absorción aparente del Cl en vacas lecheras alimentadas con forrajes frescos es de 88%. Para el cloruro de Na, la eficiencia de absorción se estima en el 100%. En general, para alimentos y fuentes minerales el coeficiente de absorción del Cl es de 90% (NRC, 2001).

La deficiencia de Cl en bovinos se manifiesta por anorexia, pérdida de peso, aletargamiento, polidipsia, poliuria y disminución en la producción de leche. El exceso de Cl en la dieta produce alteración del equilibrio ácido-base. En vacas lecheras, la concentración máxima tolerable de cloruro de Na es de 4,0 % en la materia seca (MS).

• Potasio (K)

El K es el tercer mineral más abundante en el organismo. Este mineral se almacena poco y sus requerimientos son los más altos de todos los cationes. El exceso de K se excreta en la orina.

La función del K se relaciona con el equilibrio ácido - base, el balance de agua, la transmisión nerviosa, la contracción muscular y el transporte de dióxido de carbono y oxígeno. También actúa en la fosforilación de la creatinina, en la actividad de la piruvato kinasas, en la síntesis de proteína, metabolismo de carbohidratos y en la función del tejido cardíaco y adrenal (NRC, 1980).

El K es el principal mineral intracelular (150 – 155 meq/L), pero por fuera de la célula su concentración es muy baja (5 meq/L). La saliva contiene 10 meq/L y el fluido ruminal entre 40 y 100 meq/L. El plasma sanguíneo contiene entre 5 y 10 meq/L. La concentración de K en bovinos es de 2,37 y 2,01 g/kg para animales entre 75 y 500 kg, respectivamente. La concentración de K en la leche

es la mayor de todos los minerales (1,5 g/L) (NRC, 2001). El K no se almacena en el cuerpo, por lo tanto los bovinos lo deben consumir diariamente.

En temperaturas ambientales entre 25 °C y 30 °C se requieren para mantenimiento 0,04 g de K adicionales por cada 100 kg de peso corporal, y por encima de 30 °C se deben adicionar 0,36 g de K, para un total de 0,4 g de K por cada 100 kg de peso vivo (NRC, 2001).

Se ha observado aumento del consumo de alimento y de la producción de leche en vacas bajo temperaturas superiores a 35 °C, cuando se suplementan con 10 a 12 g/kg de MS de K en dietas con alta proporción de granos (West *et al.*, 1987; citados por NRC, 2001).

El K se encuentra por encima del 1% en la mayoría de los forrajes, valor superior a los requerimientos para los bovinos. En casos de fertilización con exceso de estiércol o con compuestos de K, su concentración aumenta en mayor proporción y disminuye la de Na y Mg. Esto ocasiona hipomagnesemia y edema de la ubre en bovinos que pastorean este tipo de praderas y exceso de K en el ambiente. En general, los cereales contienen menos K que los forrajes. La absorción aparente del K de los forrajes es del 85% y de las fuentes minerales como cloruro o sulfato de K supera el 90%.

Los signos de deficiencia de K incluyen: disminución del consumo de alimento y agua, pérdida de peso, baja producción de leche, consumo de tierra y caída del pelo. Si se suplementan dietas con altos niveles de concentrado, se puede presentar deficiencia de K, ya que la mayoría de los granos de maíz y los subproductos presentan baja concentración de este elemento, pero el ensilaje de maíz es una buena fuente de este elemento. Los bovinos requieren entre 0,6 y 0,7% de K, por lo tanto, en la mayoría de situaciones la suplementación no es necesaria. En casos de estrés por transporte y calor, el K se pierde en mayor grado a través del sudor, lo cual requiere de un aporte extra de este elemento por medio de la dieta.

• **Magnesio (Mg)**

El Mg es el principal catión intracelular que actúa como cofactor enzimático en la conducción nerviosa, la contracción muscular y la formación del hueso. La concentración de Mg en el plasma es de 0,75 a 2,4 mmol/L. En una vaca de 500 kg hay aproximadamente 0,7 g de Mg en la sangre, 2,5 g en el líquido extracelular, 70 g en el intracelular y 170 g en el hueso. En animales jó-

venes el Mg se absorbe principalmente en el intestino delgado, y en adultos, en el rumen. La eficiencia de absorción es del 16%. La principal fuente de suplementación para la sal mineralizada es el óxido de Mg, con un coeficiente de absorción entre 28% y 49%, mientras que en el carbonato de Mg es de 44%. El sulfato y cloruro de Mg están en el 50%.

Las dietas con alta humedad y concentración de N disminuyen la eficiencia de absorción. Esto es común en forrajes tiernos. Los bovinos excretan grandes cantidades de Mg en la orina, por lo que es poco probable la intoxicación. El exceso de Mg en la sal mineralizada (como sulfato y cloruro de Mg) afecta la palatabilidad de la sal, disminuye su consumo y ocasiona diarrea con moco.

Los pastos y leguminosas presentan concentraciones adecuadas de Mg durante todo el año. Pero al inicio de lluvias en praderas de rápido crecimiento y que han sido fertilizadas, se puede presentar baja concentración. Bajo estas condiciones, también puede haber alta concentración de K, el cual puede interferir con la absorción de Mg. Los casos de la tetania del pasto se presentan cuando vacas recién paridas pastorean estas praderas, las cuales no alcanzan a aportar los mayores requerimientos del inicio de la lactancia.

• **Azúfre (S)**

Aproximadamente el 0,15% del peso corporal del bovino corresponde al S, el único mineral que hace parte de los aminoácidos (metionina, cisteína, homocisteína y taurina). Los microorganismos ruminales utilizan el S inorgánico para la síntesis de proteína microbiana y vitaminas como tiamina y biotina. El S también se encuentra en el condroitin sulfato de los cartílagos y se relaciona con el balance ácido - base. El S se absorbe con los aminoácidos en el intestino delgado.

En general, la concentración de S en los alimentos se relaciona directamente con la de proteína. Cuando se utiliza N no proteico (urea) en la dieta, es necesaria la suplementación de S para facilitar la síntesis de los aminoácidos (AA) azufrados como la metionina. Para que se presente una utilización eficiente de la urea, la relación N:S debe estar entre 10 y 12:1 (Bauchard y Conrad, 1973b; citados por NRC, 2001). En los casos de deficiencia de proteína degradable en el rumen, se disminuye el aporte de S para los microorganismos y se afecta la digestión de la celulosa, lo que disminuye la digestión de la fibra (NRC, 2001).

En las condiciones de los Llanos Orientales, el suministro de S en la sal mineralizada en forma de flor de azufre presentó efectos positivos en el peso al destete de terneros de vacas suplementadas con el 12% en la sal mineralizada (213 kg), en comparación con vacas no suplementadas (198 kg) y en la ganancia diaria de peso de bovinos Sanmartineros que se suplementaron con el 9% (475 g/d) y 12% (544 g/d), en comparación con el grupo suplementado con 6% (424 g/d) y el grupo control 0% (414 g/d) (Villar, 2006). Así mismo, se observó un efecto benéfico en la resistencia natural a la infestación por garrapatas de la especie *Boophilus microplus*, siendo estas de menor tamaño y con menor capacidad de ovoposición (Villar y col., 1992).

La deficiencia de S se relaciona con la disminución del apetito y emaciación. La baja concentración afecta la utilización de nitrógeno no proteico (urea), lo cual reduce el crecimiento de los microorganismos y la fermentación ruminal. El S es un mineral deficiente en los forrajes de los Llanos Orientales y no alcanza a llenar los requerimientos de bovinos para carne en pastoreo. Mientras que subproductos de la agroindustria, como la torta de soya, tienen una concentración adecuada de S.

El exceso de S en la dieta afecta la absorción de Cu y selenio. En ganado de carne se ha observado que el consumo de dietas con subproductos de destilería del maíz (0,5% de S en la MS; límite máximo de 0,4%) produce poliencefalomalacia, que cursa con signos neurológicos como ceguera, temores musculares, opistótono, hemorragias en riñón y coma (Zanton y Heinrichs, 2010; Vanness *et al.*, 2010). Por otra parte, el agua que tiene una concentración de más de 5 g/kg de sulfato de Na, disminuye el consumo de alimento y la ganancia de peso.

MICROMINERALES O MINERALES TRAZA

- **Cobalto (Co)**

El Co es necesario exclusivamente en el rumen como sustrato para la síntesis microbiana de vitamina B₁₂. Los microorganismos ruminales utilizan la vitamina B₁₂ para la producción de propionato (un ácido graso volátil importante para la síntesis de glucosa). Aunque los bovinos no absorben cobalto, su papel en la síntesis de la vitamina B₁₂ lo hace esencial en la nutrición de los rumiantes. Solo el 3% del Co de la dieta se utiliza para la síntesis de vitamina B₁₂. Los requerimientos de Co aumentan cuando se suministran dietas con alta proporción de

granos. La deficiencia incluye signos como: disminución del consumo de alimento, del crecimiento y de la producción de leche; anemia, baja inmunidad por daño en la función de los neutrófilos y pelaje opaco. Los animales jóvenes son más sensibles que los adultos.

Las plantas y los subproductos de la agroindustria presentan entre 0,1 y 0,5 mg Co/kg de MS. Los suelos alcalinos limitan la absorción de Co por las plantas. Se ha observado que la adición de Co (0,25 – 0,35 mg/kg de MS) aumenta la digestión de forrajes de baja calidad y la población de bacterias anaeróbicas en 50%. Los signos de toxicidad por Co incluyen: disminución del consumo de alimento, pérdida de peso y alteraciones en la sangre como anemia.

• Cobre (Cu)

Este elemento hace parte de múltiples sistemas enzimáticos en el organismo. Es importante para el crecimiento adecuado, el correcto funcionamiento de los glóbulos rojos, el desarrollo del colágeno, la producción de melanina, la reproducción y la inmunidad.

La concentración de Cu en los tejidos es de 1,15 mg/kg, en el calostro es de 0,6 mg/kg y en la leche, de 0,15 mg/kg. En la vaca, en la primera fase de la gestación, se deposita en el feto, la placenta y útero, aproximadamente 0,5 mg/d, y en los dos últimos meses, entre 1,5 y 2 mg/d (ARC, 1980). La absorción de Cu en los terneros recién nacidos es alta (70%), pero disminuye a los tres meses entre 50% y 60%, y en adultos es de solo de 1% a 5%.

En conjunto con el Mo y el S inorgánico, hace parte de sistemas enzimáticos relacionados con el metabolismo de vitaminas y nucleótidos; sin embargo, estos elementos pueden afectar la absorción de Cu. El S forma sulfito de Cu, que se precipita en el rumen, y el S y Mo forman tetratiomolibdato, que se une al Cu y lo hace insoluble; por esto, para bovinos en pastoreo es importante mantener un balance entre Cu y Mo entre 2:1 y 4:1. La cantidad de Cu que se absorbe en los forrajes es menor en los pastos que en los ensilajes y henos.

La ingestión de pasto con tierra, especialmente si la disponibilidad de forraje en la pradera es baja, puede disminuir hasta el 50% la absorción de Cu. Los modelos nutricionales no consideran esta situación, por lo que es recomendable doblar los requerimientos de Cu que describe la literatura para bovinos en pastoreo. Si los bovinos se exponen a concentraciones elevadas de Zn, Fe y P,

la absorción de Cu disminuye. Además, el agua de bebida con alta concentración de Fe produce deficiencia de Cu.

Los signos de deficiencia de Cu incluyen: pérdida de pigmentación del pelaje particularmente alrededor de los ojos, retardo en la pubertad, anestro posparto, reabsorción embrionaria, disminución de las tasas de concepción, disminución de la libido y de la espermatogénesis en toros, anemia, diarrea severa, disminución de la respuesta inmune y aumento de la susceptibilidad a las infecciones. Como el Cu interactúa con muchos minerales (Fe, Mo, S, Se, Zn), se puede presentar deficiencia cuando la concentración de estos elementos supera los siguientes valores: S (> 0,4%), Zn (> 500 ppm), Fe (> 400 ppm) y Mo (> 150 ppm), ya que afectan la absorción de Cu en el intestino (NRC, 2001).

A semejanza de lo que ocurre con el Zn, el Cu es deficiente en forrajes del género *Brachiaria*, pero a diferencia del Zn, este se almacena en el hígado. El óxido de Cu es una fuente de baja biodisponibilidad. De todos los minerales, el Cu es el que presenta mayor riesgo de intoxicación especialmente en ovejas. El exceso en la dieta produce hemólisis, ictericia, metahemoglobinemia, hemoglobinuria, necrosis y muerte.

• Hierro (Fe)

El Fe es un componente de la hemoglobina, molécula encargada del transporte de oxígeno y CO₂ en el organismo, de la mioglobina y de enzimas que ayudan a la respiración celular. Los requerimientos de Fe son muy bajos. La eficiencia de absorción en animales jóvenes es de 60% y baja al 2% en adultos. En animales jóvenes estabulados con consumo exclusivo de leche se puede presentar deficiencia, que produce anemia, disminución del consumo de alimento, baja tasa de crecimiento, inmunodepresión y aumento de la presencia de enfermedades y muerte (NRC, 2001).

Puesto que la mayoría de los pastos y forrajes en el trópico bajo contienen concentraciones elevadas de Fe (80 – 300 ppm) y debido a las cantidades de suelo que el bovino consume durante el pastoreo, el Fe casi nunca presenta deficiencias en bovinos en pastoreo; sin embargo, un problema que se puede presentar son los altos niveles que se hallan en el forraje o en el agua de consumo, lo cual puede afectar la absorción del Cu y Zn. La intoxicación con Fe se asocia con bajo consumo de alimento, diarrea y pérdida de peso. Las bacterias utilizan el Fe libre para su crecimiento, por lo tanto, un exceso de Fe en la dieta aumenta la susceptibilidad a las infecciones (NRC, 2001).

• Manganeso (Mn)

El Mn cumple un papel importante en el crecimiento y la reproducción. A medida que la concentración en la dieta aumenta, la concentración del mineral se incrementa en los tejidos reproductivos, sugiriendo una relación directa entre el Mn y la fertilidad. Este mineral hace parte de las enzimas que forman los cartílagos esqueléticos. La deficiencia ocasiona alteración del crecimiento, anomalías del esqueleto en recién nacidos y alteración de la reproducción. Cuando se suministran en exceso, el Ca y el P pueden inhibir la absorción de Mn (NRC, 2001).

Los requerimientos varían dependiendo del estado fisiológico y de producción. Por ejemplo, en crecimiento y ceba, los bovinos requieren 20 ppm en la dieta, mientras que las vacas gestantes y lactantes requieren 40 ppm. Como con el cobalto, el Mn tiene un límite amplio para su suministro. La leche contiene 0,03 mg/kg y el colostro 0,16 mg/kg.

El coeficiente de absorción es de 0,75%. La deficiencia de Mn en vacas se relaciona con anestro, calores silenciosos, bajas tasas de concepción, abortos, disminución del crecimiento, bajo peso al nacimiento y en neonatos deformidades esqueléticas, articulares y acortamiento de tendones. Los pastos del género *Brachiaria* tienen niveles adecuados de Mn (120 – 400 ppm) (NRC, 2001).

Las dietas con altos niveles de Ca, K y P aumentan la excreción de Mn en las heces; en terneros, el exceso de Fe disminuye su absorción. El máximo límite tolerable es de 1000 ppm; sin embargo, el Mn interactúa con otros minerales que pueden afectar su límite tolerable (NRC, 2001).

• Molibdeno (Mo)

El Mo es un componente de enzimas de la leche y los tejidos. La deficiencia es de poca ocurrencia, pero este elemento afecta la absorción de Cu y P. De hecho, la intoxicación por Mo se relaciona con una deficiencia de Cu (NRC, 2001).

Como se mencionó, el Mo y el S forman tiomolibdato, que tiene alta afinidad con el Cu y afectan su absorción. Esto se puede controlar con el aumento de la suplementación de Cu y, así mismo, la intoxicación por Cu se puede reducir con el aumento de la suplementación con Mo.

• Selenio (Se)

El Se en conjunto con la vitamina E hacen parte de los sistemas enzimáticos antioxidantes y ayudan a fortalecer el sistema inmune. La deficiencia de Se produce retención de placenta, alteración de la fertilidad, calores silenciosos y temeros débiles con baja respuesta inmune, lo que conlleva a elevadas tasas de mortalidad predestete. La concentración de Se en las plantas se relaciona estrechamente con la concentración en el suelo. Las hojas presentan entre 1,5 y 2 veces más que los tallos; en las semillas, la concentración es alta.

Muchos subproductos de la agroindustria, a excepción de los derivados de la leche, tienen alta concentración de Se. La harina de pescado tiene una concentración de más de 1 mg de Se/kg de MS, pero su eficiencia de absorción es baja. La digestibilidad aparente del Se en los forrajes y concentrados está entre 30% y 60%. La suplementación con Se aumenta su concentración en la leche, con efectos benéficos para el ternero y la salud humana. La leche tiene una concentración entre 0,01 y 0,025 mg/kg (NRC, 2001).

El exceso de Ca y S en la dieta afectan la absorción de Se. La deficiencia de Se produce la enfermedad del músculo blanco, baja inmunidad, retención de placenta, nacimiento de terneros débiles o muertos y diarrea crónica. En Colombia, existen áreas seleníferas (Magdalena medio) donde se presenta toxicidad, con signos clínicos como pérdida de peso, caída del pelaje, laminitis y deformación de las pezuñas. El Se se puede suministrar en la premezcla mineral o en forma inyectable. La FDA en los Estados Unidos limita la cantidad máxima de Se que se puede agregar, a 3 mg por animal por día (NRC, 2001).

• Yodo (I)

El I hace parte de las hormonas tiroideas (T_3 y T_4). Es importante para mantener la tasa metabólica normal. La incorporación de I en la dieta de terneros es de 0,4 mg/kg, y de 1,3 mg/d en novillas no gestantes. En el último tercio de la gestación, las vacas almacenan 1,5 mg/d, y en lactancia, entre 4 y 4,5 mg/d. La concentración en la leche está entre 30 y 300 $\mu\text{g/L}$ y aumenta con la dieta, siendo ésta un buen indicador de la concentración en el organismo. Los niveles requeridos en la dieta son relativamente bajos (0,5 ppm) (NRC, 2001).

Los glucósidos cianogénicos de los granos de soya y el maíz afectan la absorción de I. La concentración de I en los forrajes varía ampliamente y

depende del tipo de suelo. Mientras que la deficiencia produce aumento del tamaño de la glándula tiroidea (coto) y conlleva disminución de la tasa metabólica, retardo en el crecimiento, baja producción de leche, bajo peso al destete, aumento de la susceptibilidad a las infecciones y problemas podales (NRC, 2001).

Las vacas con deficiencia de I, presentan retención de placenta y terneros que nacen ciegos, sin pelaje, prematuros o muertos.

Por otra parte, la intoxicación produce exceso de secreción nasal y ocular, salivación, tos y disminución de la producción de leche; estos signos se observan primero en terneros con el uso prolongado del I orgánico (EDDI). El exceso de I puede pasar a la leche y afectar la salud de los humanos.

- **Zinc (Zn)**

El Zn es un componente importante de sistemas enzimáticos que afectan el metabolismo de proteínas, lípidos, hormonas tiroideas y ácidos nucleicos. El Zn es importante en la espermatogénesis y el desarrollo de órganos sexuales primarios y secundarios en el macho; además, para que haya una respuesta inmune adecuada.

La concentración de Zn en la leche es de 4 mg/kg. Aproximadamente el 50% del Zn en la leche se absorbe, pero la adición de proteína de la soya reduce su absorción a la mitad. La eficiencia de absorción del Zn es del 15%. Por cada kg de aumento de peso se retienen 24 mg de Zn. Durante la gestación, el feto y el útero retienen 12 mg/d y este valor se duplica al final de la gestación (NRC, 2001).

Los depósitos de Zn en el organismo son bajos. La utilización de formas orgánicas como Zn metionina mejoran la ganancia de peso en bovinos en pastoreo. Este compuesto también se utiliza para tratar problemas podales en bovinos. La deficiencia de Zn produce retardo en el crecimiento, lesiones podales y en la piel, aumento de distocias, alteración del estro y de la respuesta inmune, y en machos, retardo en la pubertad y disminución del tamaño testicular y la libido.

Una concentración elevada de Ca y Fe en la dieta afecta la absorción de Zn y aumenta sus requerimientos; además, el Cu y el Zn son antagonistas entre

si. En los prerrumiantes, los fitatos disminuyen su absorción. En los forrajes, los niveles de Zn son relativamente bajos (20 ppm), mientras que en los granos de cereales tienen en promedio 35 ppm. Los bovinos en pastoreo y bajo condiciones de estrés se deben suplementar con Zn.

SUPLEMENTACIÓN CON MINERALES

Para evitar excesos o deficiencias en la suplementación con minerales, primero se debe balancear la ración, teniendo en cuenta que en la suplementación con minerales debe mejorar la producción y reproducción del hato y a su vez reducir los costos de producción.

Para balancear una ración con minerales se deben seguir los siguientes pasos:

Primero, se deben conocer los requerimientos de minerales para el tipo de ganado en la explotación. Para las condiciones tropicales no se dispone de una tabla de requerimientos de minerales, por lo tanto, utilizamos como referencia las tablas de requerimientos de nutrientes para ganado de carne del National Research Council [NRC, 2000].

A pesar de que estas tablas han sido desarrolladas bajo otras condiciones, son una buena fuente de información para los propósitos de conocer y ajustar los requerimientos de minerales a las condiciones de las ganaderías tropicales.

Para el Ca y P se encuentra mayor información sobre los requerimientos que para otros minerales. En la Tabla 4.1 se presentan los requerimientos de Ca y P para bovinos en levante y ceba. En esta tabla se toman como referencia los pesos más comunes al finalizar la ceba (450, 500 y 550 kg) y el peso corporal y la ganancia diaria de peso durante estas fases. Los requerimientos de calcio y fósforo aumentan a medida que aumenta la ganancia diaria de peso, pero disminuyen a medida que el animal tiene mayor peso corporal.

Esto quiere decir que para una misma ganancia diaria de peso, los requerimientos son mayores para animales en levante que en ceba. Como es de esperar, los bovinos que se sacrifican a un mayor peso requieren mayor concentración de Ca y P en el alimento.

Tabla 4.1. Requerimientos de calcio y fósforo para levante y ceba en ganado de carne

Peso corporal al finalizar la ceba											
450 Kg				500 Kg				550 Kg			
Peso ^a (Kg)	GDP ^b (Kg.d ⁻¹)	Ca % MS ^c	P% MS	Peso (Kg)	GDP (Kg.d ⁻¹)	Ca % MS	P% MS	Peso (Kg)	GDP (Kg.d ⁻¹)	Ca % MS	P% MS
250	0,29	0,21	0,13	275	0,31	0,22	0,13	300	0,33	0,22	0,13
	0,80	0,36	0,19		0,85	0,36	0,19		0,91	0,36	0,19
	1,22	0,49	0,24		1,30	0,49	0,24		1,38	0,49	0,24
270	0,29	0,21	0,13	300	0,31	0,21	0,13	330	0,33	0,21	0,13
	0,80	0,34	0,18		0,85	0,34	0,18		0,91	0,34	0,18
	1,22	0,45	0,23		1,30	0,45	0,23		1,38	0,45	0,23
300	0,29	0,20	0,12	325	0,31	0,20	0,13	355	0,33	0,20	0,13
	0,80	0,32	0,17		0,85	0,32	0,17		0,91	0,32	0,17
	1,22	0,42	0,21		1,30	0,42	0,21		1,38	0,42	0,21
320	0,29	0,19	0,12	350	0,31	0,20	0,12	380	0,33	0,20	0,13
	0,80	0,30	0,16		0,85	0,30	0,16		0,91	0,30	0,16
	1,22	0,39	0,20		1,30	0,39	0,20		1,38	0,39	0,20
340	0,29	0,19	0,12	375	0,31	0,19	0,12	408	0,33	0,19	0,12
	0,80	0,28	0,16		0,85	0,28	0,16		0,91	0,28	0,16
	1,22	0,37	0,19		1,30	0,37	0,19		1,38	0,37	0,19
370	0,29	0,19	0,12	400	0,31	0,19	0,12	435	0,33	0,19	0,12
	0,80	0,27	0,15		0,85	0,27	0,15		0,91	0,27	0,15
	1,22	0,34	0,18		1,30	0,34	0,18		1,38	0,34	0,19

^aPeso corporal al inicio o durante el levante y la ceba

^bGanancia diaria de peso

^cMateria seca

Fuente: Modificado de NRC. Nutrients Requirements for Beef Cattle. Update, (2000).

En la Tabla 4.2 se muestran los requerimientos de Ca y P para novillas preñadas con diferentes pesos en la madurez (peso adulto). Se toma como referencia para cada peso adulto, una ganancia diaria de peso constante durante la gestación. Los requerimientos se mantienen relativamente constantes en los primeros seis meses, pero en los últimos tres meses de la gestación, aumentan 45% para el calcio y 35% para el fósforo.

Tabla 4.2. Requerimientos de calcio y fósforo para novillas preñadas

	Mes de gestación								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
450 Kg peso adulto^a									
GDP ^b , Kg. d ⁻¹	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
Peso con ayuno ^c , Kg.	280	290	300	315	325	335	345	355	365
Ca, % MS ^d	0,22	0,22	0,22	0,21	0,21	0,20	0,32	0,31	0,31
P, % MS	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,16	0,23	0,23	0,22
500 Kg Peso adulto									
GDP, Kg. d ⁻¹	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36
Peso con ayuno, Kg.	310	320	330	345	355	365	375	390	400
Ca, % MS	0,23	0,22	0,22	0,22	0,21	0,21	0,32	0,31	0,30
P, % MS	0,18	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,23	0,22	0,22
550 Kg Peso Adulto									
GDP, Kg. d ⁻¹	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
Peso con ayuno, Kg.	340	350	360	375	385	400	410	425	435
Ca, % MS	0,23	0,23	0,22	0,22	0,22	0,21	0,31	0,31	0,30
P, % MS	0,18	0,18	0,18	0,17	0,17	0,17	0,23	0,22	0,22
590 Kg Peso Adulto									
GDP, Kg. d ⁻¹	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43
Peso con ayuno, Kg.	365	380	390	405	420	430	445	460	470
Ca, % MS	0,24	0,23	0,23	0,22	0,22	0,22	0,31	0,30	0,30
P, % MS	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,17	0,23	0,22	0,22

^aPeso cuando la deposición de proteína es mínima y aumenta la de grasa corporal.

^bGanancia diaria de peso.

^cPeso corporal menos el 4% de merma por ayuno.

^dMateria seca.

Fuente: Modificado de NRC, Nutrients Requirements for Beef Cattle, Update, (2000).

En la Tabla 4.3 se observan los requerimientos de Ca y P para vacas de carne en lactancia, con diferentes pesos en la madurez (peso adulto) y producción máxima de leche (pico de producción). Los requerimientos son mayores en los primeros cuatro meses después del parto, disminuyen entre el quinto y noveno mes y aumentan entre el décimo y doceavo mes después del parto, coincidiendo con el último trimestre de la gestación. Como se espera, los requerimientos son mayores en vacas que tienen mayor peso adulto y producción de leche.

Tabla 4.3. Requerimientos de calcio y fósforo para vacas de carne en lactancia

	Mes después del parto ^a											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
455 Kg Peso Adulto, 4.5 Kg pico de producción^b												
Leche ^c , Kg.d ¹	3,8	4,5	4,0	3,3	2,5	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ca, % MS ^d	0,24	0,25	0,23	0,22	0,20	0,19	0,15	0,15	0,15	0,24	0,24	0,24
P, % MS	0,17	0,17	0,16	0,15	0,14	0,14	0,11	0,11	0,11	0,15	0,15	0,15
455 Kg Peso Adulto, 9,0 Kg pico de producción												
Leche, Kg.d ¹	7,6	9,0	8,2	6,5	4,9	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ca, % MS	0,30	0,32	0,30	0,27	0,24	0,22	0,15	0,15	0,15	0,24	0,24	0,24
P, % MS	0,20	0,21	0,19	0,18	0,17	0,15	0,11	0,11	0,11	0,15	0,15	0,15
550 Kg Peso Adulto, 4,5 Kg pico de producción												
Leche, Kg.d ¹	3,8	4,5	4,0	3,3	2,5	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ca, % MS	0,24	0,25	0,23	0,21	0,20	0,19	0,15	0,15	0,15	0,26	0,25	0,25
P, % MS	0,17	0,17	0,16	0,15	0,14	0,14	0,12	0,12	0,12	0,16	0,16	0,16
550 Kg Peso Adulto, 9,0 Kg pico de producción												
Leche, Kg.d ¹	7,6	9,0	8,2	6,5	4,9	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ca, % MS	0,29	0,31	0,29	0,26	0,24	0,22	0,15	0,15	0,15	0,26	0,25	0,25
P, % MS	0,19	0,21	0,19	0,18	0,17	0,15	0,12	0,12	0,12	0,16	0,16	0,16
635 Kg Peso Adulto, 4,5 Kg pico de producción												
Leche, Kg.d ¹	3,8	4,5	4,0	3,3	2,5	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ca, % MS	0,23	0,25	0,23	0,21	0,20	0,19	0,16	0,16	0,16	0,27	0,26	0,26
P, % MS	0,17	0,17	0,16	0,15	0,15	0,14	0,12	0,12	0,12	0,17	0,17	0,16
635 Kg Peso Adulto, 9,0 Kg pico de producción												
Leche, Kg.d ¹	7,6	9,0	8,2	6,5	4,9	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ca, % MS	0,28	0,30	0,28	0,26	0,24	0,22	0,16	0,16	0,16	0,27	0,26	0,26
P, % MS	0,19	0,20	0,19	0,18	0,17	0,16	0,12	0,12	0,12	0,17	0,17	0,16

^aIncluye la lactancia y la gestación a partir del tercer mes después del parto.

^bPeso cuando la deposición de proteína es mínima y aumenta la de grasa corporal y producción máxima de leche al segundo mes después del parto.

^cPromedio de producción de leche por mes. A partir del mes séptimo la producción diaria se considera cero.

^dMateria seca.

Fuente: Modificado de NRC. Nutrients Requirements for Beef Cattle. Update, (2000).

En la Tabla 4.4 se presentan los requerimientos de los otros macro y micro-minerales, los máximos niveles tolerables para bovinos en crecimiento y ceba, y vacas en gestación y lactancia. Es de anotar que estos valores cambian con respecto al sexo, edad, raza, estado fisiológico y nivel de producción.

Para minerales como el cromo y el níquel se han encontrado respuestas positivas en la respuesta inmune y en la producción de carne y leche; sin embargo, no se incluyen en la siguiente tabla, debido a que no se han determinado los requerimientos. Las concentraciones máximas tolerables para estos dos elementos son de 1000 ppm y 50 ppm, respectivamente.

Tabla 4.4. Requerimientos de minerales para ganado de carne

Mineral	Crecimiento y Ceba	Vacas		Máximo Límite Tolerable	Impacto
		Gestación	Inicio Lactancia		
Sodio %	0,07	0,07	0,10	4,0	Prod. leche ^a
Cloro %	-----	-----	-----	4,0	Prod. leche
Magnesio %	0,10	0,12	0,20	0,40	Crecimiento
Potasio %	0,60	0,60	0,70	3,0	Reproducción
Azufre %	0,15	0,15	0,15	0,40	Crecimiento
Cobalto ppm	0,10	0,10	0,10	10,0	Crecimiento
Cobre ppm	10	10	10	100	Crecimiento
Hierro ppm	50	50	50	1000	Crecimiento
Molibdeno ppm	-----	-----	-----	6	Crecimiento
Manganeso ppm	20	40	40	1000	Reproducción
Selenio ppm	0,10	0,10	0,10	2,0	Inmunidad
Yodo ppm	0,50	0,50	0,50	50,0	Prod. leche
Zinc ppm	30	30	30	500	Inmunidad

^a Producción de Leche.

Fuente: Modificado de: NRC, Nutrients Requirements for Beef Cattle, Update. (2000)

Posteriormente, se debe realizar un análisis de la concentración foliar de minerales mayores y menores en los pastos y forrajes utilizados (ensilajes y heno), y de los subproductos de la agroindustria. La concentración y la biodisponibilidad de los minerales en los forrajes y los subproductos de la agroindustria varía ampliamente. Los niveles de minerales en un mismo tipo de forraje cambia dependiendo del estado de madurez, la fertilización, el tipo de suelo, la especie evaluada y la capacidad de extracción de la planta. La concentración en los subproductos de la agroindustria también es variable y se encuentra afectada por los métodos de procesamiento.

Debido a esto, es indispensable el análisis de los minerales contenidos en todos los alimentos, con el fin de formular un suplemento mineral que resuelva los requerimientos al menor costo posible. Para esto se debe acudir a un laboratorio de reconocida trayectoria. Para algunos minerales como el Cl, no existen técnicas de evaluación confiables.

En la Tabla 4.5 se presenta la concentración de minerales de los pastos del género *Brachiaria*, de pastos de corte, de leguminosas forrajeras y de corte, de ensilajes y de gallinaza y concentrado que se utilizan en explotaciones ganaderas del departamento del Meta.

Comparando la concentración de minerales en los forrajes de los Llanos Orientales con los requerimientos para diferentes estados de producción, se observa que bajo estas condiciones, el Ca y el P son deficientes para el ganado de carne, en la mayoría de los casos.

Así mismo, la concentración de S de los pastos y forrajes no alcanza a llenar los requerimientos en crecimiento, ceba, gestación y producción de leche; sin embargo, es importante destacar la buena concentración de Ca, Mg y K en leguminosas como el maní forrajero, Kudzú, *Desmodium ovalifolium*, *Cratylia argentea* y el "botón de oro". Estas leguminosas, en algunos casos, no suplen las demandas de P para la producción de leche, ni de S, cobre y zinc para crecimiento, producción de leche y reproducción.

Por otra parte, los pastos pueden aportar niveles adecuados de Mg y K, para el crecimiento, producción de leche y reproducción, aunque estos elementos son deficientes en el suelo, principalmente el K, hecho que puede estar relacionado con la capacidad de extracción de estos nutrientes por la planta y por la capacidad de restitución de K, especialmente, que tienen estos suelos, gracias a la presencia de arcillas tipo 2:1 vermiculita (Dávila et al., 1998).

Como se puede apreciar en los resultados de calidad foliar de la Tabla 4.5, hay una alta variación de la concentración de minerales aun dentro de un mismo forraje, demostrando el efecto que tiene la concentración de minerales en el suelo sobre la concentración de minerales en el forraje, lo cual está directamente relacionado con la localidad o sitio donde se establece la pastura o cultivo forrajero.

Entre los microminerales analizados, el Cu y Zn son deficientes en el tejido foliar; pero el Fe y Mn, se encuentran en alta concentración, especialmente este último. Trabajos realizados por Salinas (1989) con fertilización de los microminerales Cu y Zn, en gramíneas y leguminosas forrajeras en condiciones de los Llanos colombianos, demostraron que aunque la producción de forraje no se afectaba con su aplicación al suelo, sí se mejoraba su concentración foliar, lo que permitía llenar los requerimientos de los bovinos.

Tabla 4.5. Concentración de minerales de algunos pastos del género *Brachiaria*, de pastos de corte, de ensilajes, de leguminosas y de gallinaza y concentrado que se utilizan en explotaciones ganaderas del departamento del Meta

Pasto/sitio	Ca	P	Mg %	K	S	Fe	Cu	Mn	Zn
	ppm								
B. decumbens									
Cumarál	0,32	0,21	0,29	1,24	0,27	118	4	205	21
El Dorado	0,28	0,17	0,21	1,02	0,13	217	4	212	21
Restrepo	0,24	0,24	0,25	1,31	0,13	170	5	364	24
Villavicencio	0,45	0,23	0,24	1,20	0,10	78	4	250	25
B. humidicola									
Cumarál	0,19	0,17	0,21	1,10	0,11	136	3	240	19
Puerto López	0,14	0,13	0,17	1,70	0,18	76	7	101	20
B. Dictioneura									
Puerto López	0,14	0,12	0,20	0,90	0,13	41	3	91	18
Villavicencio	0,25	0,20	0,21	1,30	0,12	60	4	247	28
Toledo									
Cumarál	0,35	0,18	0,26	1,25	0,16	93	6	184	23
Villavicencio	0,48	0,22	0,24	1,20	0,10	70	5	250	24
Gramina nativa									
Homolepis afurensis									
Villavicencio	0,50	0,20	0,20	1,50	0,20	105	5	168	42
Imperial									
Piedemonte	0,35	0,19	0,28	1,02	0,15	59	4	382	47
P. Phaseolides cv. Kudzú									
Villavicencio	0,91	0,17	0,21	1,20	0,10	275	31	700	37
D. ovalifolium. cv. Maquenque									
Villavicencio	1,13	0,18	0,19	1,0	0,09	412	26	437	29
King Grass									
Puerto López	0,29	0,22	0,16	4,46	0,20	105	4	83	21
Maralfalfa cogollo									
Piedemonte	0,20	0,30	0,20	1,71	0,12	126	6	111	20
Maralfalfa integral									
Cumarál	0,22	0,25	0,19	1,92	0,12	121	5	76	24
Cratylia argentea									
Guamá	0,59	0,39	0,40	1,38	0,25	62	7	255	76
Puerto López	0,67	0,18	0,28	1,27	0,13	32	4	44	13
Ensilaje cratylia-caña									
Puerto López	0,46	0,24	0,31	1,03	0,14	111	4	208	33
Mani forajero									
Villavicencio	1,05	0,22	0,65	0,80	0,14	125	10	114	30
Botón de oro									
Villavicencio	1,08	0,68	0,58	3,55	0,27	158	7	205	64
Ensilaje de Maíz									
Cumarál	0,12	0,19	0,14	1,21	0,05	95	5	91	17
Puerto López	0,28	0,10	0,18	0,57	0,16	109	12	209	14
Ensilaje maíz+soya forajera									
Puerto López	0,31	0,18	0,20	1,19	0,16	410	10	55	15
Gallinaza	2,72	1,94	0,78	1,70	0,57	860	51	435	345
Concentrado	1,08	1,16	0,38	1,11	0,46	500	14	126	28

Fuente: Rincón, (2006); Parra, (2004); Laredo y Cuesta, (1988); Gómez et al., (1994).

INSTITUTO VETEROINTEGRAL DE COLOMBIA

Con los resultados de la concentración mineral de los forrajes y suplementos se pueden identificar las principales deficiencias, pero también se debe considerar la disponibilidad del mineral en dicha fuente. Así un resultado de laboratorio indique que un mineral en particular no presenta deficiencias, esto no asegura que el 100% del mineral esté disponible o que existan interacciones que afecten su absorción. Algunos factores que afectan la disponibilidad del mineral son: la edad del animal, el estado previo del consumo de minerales y la fuente del mineral a suplementar. Como regla general para la interpretación de los resultados, la concentración del mineral en el forraje se debe descontar en un 50%, con el fin de tener en cuenta una baja biodisponibilidad del elemento.

Adicionalmente, es necesario analizar la concentración mineral del agua de bebida de los animales, ya que puede presentar alta concentración de sal (cloruro de Na), Fe y S que afectan la absorción de Cu y Se. En la Tabla 4.6 se presentan los niveles máximos recomendados de minerales en el agua.

Tabla 4.6. Niveles máximos recomendados de minerales en el agua de bebida para bovinos

Mineral	Máximo nivel recomendado (mg/L)
Aluminio	5,0
Arsénico	0,05
Bario	1,0
Boro	5,0
Cadmio	0,01
Calcio	1000
Cloro	1000
Cromo	0,05
Cobalto	1,0
Cianuro	0,2
Dureza (CaCO ₃)	2000
Flúor	1,2
Hierro	0,4
Plomo	0,05
Magnesio	1000
Manganeso	0,05
Nitratos	40
Sulfatos (SO ₄)	500
Yodo	1,0

Fuente: Lalman y McMurphy, OSU.

Finalmente, se debe estimar el consumo de alimento. Para bovinos en pastoreo, una forma práctica de estimar el consumo es considerar que para forrajes de baja calidad equivale a 1,5% del peso corporal; para pastos de mediana calidad, de 2,0%, y para praderas de buena calidad, del 2,5%.

RECOMENDACIONES PARA EL SUMINISTRO DE MINERALES

El nivel de sal blanca o cloruro de sodio (NaCl) en la mezcla de minerales afecta considerablemente el consumo, que se utiliza para controlar la ingesta de la sal mineralizada. Cuando se presenta bajo consumo de minerales se puede aumentar el consumo con el uso de la melaza. El consumo diario de sal mineralizada depende de la edad y peso del animal, del estado fisiológico, de la calidad de la pradera y de la época del año.

Para conocer el consumo diario de sal, es necesario mantener un registro por potrero que incluya el número de animales y la cantidad y frecuencia de suministro de sal. En cuanto al número de saladeros, debe haber al menos un saladero por cada 30 a 50 animales, con tapa para protegerlo de la lluvia y el sol, y de fácil acceso para los animales. Se deben ubicar cercanos a las fuentes de agua, donde haya abundante pasto, sombra o en las áreas de descanso y evitar áreas encharcadas o con escaso pasto.

Los saladeros se deben revisar al menos dos veces por semana y mantenerlos limpios, secos y frescos, y que tengan sal permanentemente. Un buen saladero debe mantener la sal seca, ser portátil y resistente a la actividad de los animales y a la corrosión. Lo recomendable es que sean hechos de madera, fibra de vidrio o plástico. Los saladeros en concreto funcionan bien, pero no se pueden trasladar.

El aporte de minerales es mayor cuando existe buena disponibilidad de forraje tierno en la pradera, pero disminuye en la época seca. Así mismo, el consumo, la concentración de minerales y la digestibilidad disminuyen cuando aumenta la madurez del pasto. En el caso de un suplemento proteico energético, se recomienda incluir los minerales en la mezcla. Como punto importante, se debe evitar la mezcla de minerales traza en la finca, debido al riesgo potencial de toxicidad o a errores en la mezcla.

Tabla 4.8. Fuentes minerales recomendadas para ganado de carne

Mineral	Fuente inorgánica	Fuente orgánica
S	Flor de Azufre	-----
Ca	Carbonato de Ca	-----
Co	Carbonato de Co Sulfato de Co	Glucoheptonato de Co
Cu	Sulfato de Cu Cloruro de Cu tribásico	Complejo Cu - AA Cobre polisacárido Proteinato de Cu
P	Fosfato dicálcico Fosfato monocalcico	-----
Fe	Sulfato ferroso heptahidratado	Complejo Fe - AA Fe Polisacárido
Mg	Sulfato de Mg Óxido de Mg	Mg Polisacárido
Mn	Sulfato de Mn	Complejo Mn - AA Mn metionina Mn polisacárido Mn proteinato
K	Cloruro de K Bicarbonato de K	-----
Se	Selenito de Na	Selenometionina Levadura alta en Se
I	Yodato de K	EDDI (etilendiaminodihidroyo- do)
Zn	Sulfato de Zn Óxido de Zn	Complejo Zn - AA Zn metionina Zn polisacárido Zn proteinato

Fuente: Wright, (2008).

Actualmente se utilizan sales mineralizadas proteinadas, las cuales contienen una fuente de nitrógeno (torta de algodón o urea), con el fin de mejorar el aporte de nitrógeno para bovinos que pastorean praderas con baja calidad nutricional y que contienen niveles de proteína por debajo del 7%, situación común en la época seca. Con el uso de estas sales, se observa un aumento en el consumo de forraje y un mejoramiento de la ganancia diaria de peso; sin embargo, para que haya una buena respuesta, es necesario que la disponibilidad de forraje en la pradera no sea limitante, caso que generalmente no se presenta en la época seca, cuando la disponibilidad y calidad de la pradera disminuyen.

Finalmente, se debe estimar el consumo de alimento. Para bovinos en pastoreo, una forma práctica de estimar el consumo es considerar que para forrajes de baja calidad equivale a 1,5% del peso corporal; para pastos de mediana calidad, de 2,0%, y para praderas de buena calidad, del 2,5%.

RECOMENDACIONES PARA EL SUMINISTRO DE MINERALES

El nivel de sal blanca o cloruro de sodio (NaCl) en la mezcla de minerales afecta considerablemente el consumo, que se utiliza para controlar la ingesta de la sal mineralizada. Cuando se presenta bajo consumo de minerales se puede aumentar el consumo con el uso de la melaza. El consumo diario de sal mineralizada depende de la edad y peso del animal, del estado fisiológico, de la calidad de la pradera y de la época del año.

Para conocer el consumo diario de sal, es necesario mantener un registro por potrero que incluya el número de animales y la cantidad y frecuencia de suministro de sal. En cuanto al número de saladeros, debe haber al menos un saladero por cada 30 a 50 animales, con tapa para protegerlo de la lluvia y el sol, y de fácil acceso para los animales. Se deben ubicar cercanos a las fuentes de agua, donde haya abundante pasto, sombra o en las áreas de descanso y evitar áreas encharcadas o con escaso pasto.

Los saladeros se deben revisar al menos dos veces por semana y mantenerlos limpios, secos y frescos, y que tengan sal permanentemente. Un buen saladero debe mantener la sal seca, ser portátil y resistente a la actividad de los animales y a la corrosión. Lo recomendable es que sean hechos de madera, fibra de vidrio o plástico. Los saladeros en concreto funcionan bien, pero no se pueden trasladar.

El aporte de minerales es mayor cuando existe buena disponibilidad de forraje tierno en la pradera, pero disminuye en la época seca. Así mismo, el consumo, la concentración de minerales y la digestibilidad disminuyen cuando aumenta la madurez del pasto. En el caso de un suplemento proteico energético, se recomienda incluir los minerales en la mezcla. Como punto importante, se debe evitar la mezcla de minerales traza en la finca, debido al riesgo potencial de toxicidad o a errores en la mezcla.

Minerales orgánicos vs. inorgánicos

El tipo de minerales en la dieta puede afectar la eficiencia de producción y la relación costo beneficio de la suplementación. Cuando se compra una sal mineralizada es importante tener en cuenta la concentración de los minerales y su biodisponibilidad (Tabla 4.7).

Las fuentes inorgánicas se encuentran comúnmente en la naturaleza o se sintetizan de fuentes naturales, no se encuentran unidas a una molécula portadora y se suministran como una premezcla mineral. La biodisponibilidad de las fuentes de minerales como sulfatos y cloruros es mayor que la de los óxidos. Una excepción es el óxido de Mg, que tiene buena absorción (55%), pero que en los óxidos de Cu y Fe es baja (15%).

Por el contrario, las fuentes de minerales orgánicos se caracterizan por la presencia de un aminoácido o carbohidrato portador del mineral traza que se quiere suministrar. En un proceso llamado quelación, la molécula orgánica portadora se une químicamente al mineral traza de interés. Los minerales que se suplementan en forma orgánica son: Cu, Co, Zn, Mn, Fe, Mg, I y Se.

Las fuentes orgánicas tiene mayor biodisponibilidad que las fuentes inorgánicas, pero el costo de los minerales orgánicos es mayor. Cuando se van a utilizar los minerales orgánicos, se deben evaluar cuidadosamente los beneficios que se obtienen en producción (mayor ganancia de peso o producción de leche y mejor reproducción), con respecto a los costos invertidos en la suplementación. La respuesta en producción con estos minerales es variable y su uso se recomienda en casos de estrés (parto, destete o transporte), en novillas con bajo estrés nutricional, en bovinos con alto valor genético o cuando son donantes de embriones o semen. Por ejemplo, el suministro constante de Zn metionina ayuda al control de la laminitis en vacas lecheras.

Tabla 4.7. Biodisponibilidad relativa^a de minerales traza inorgánicos y orgánicos

Mineral	Sulfato	Óxido	Carbonato	Cloruro	Orgánico
Cu	100	0	-	105	130
Mg	100	58	28	-	176
Zn	100	-	60	40	159 - 206

Fuente: Stewart, (2010).

¿Cómo se identifica una deficiencia de minerales?

En los bovinos es difícil estimar una deficiencia de minerales. La mayoría de las deficiencias se relacionan con Ca, P y S, pero también con Cu, Zn y Se. Las deficiencias pueden ser primarias y secundarias.

Las primeras se producen cuando los animales se encuentran pastoreando en praderas de baja calidad nutricional y no se suplementan adecuadamente con sal mineralizada. La deficiencia secundaria se produce cuando el bovino consume minerales en exceso que son antagonistas de otros minerales. Por ejemplo, en las deficiencias de Cu, el suministro en la dieta puede ser el correcto, pero antagonistas como el hierro en exceso disminuyen su absorción.

Pasos para detectar una deficiencia de minerales

Primero se deben descartar otras causas como enfermedades, plantas tóxicas o la deficiencia de energía y proteína. En un hato, los primeros signos de deficiencia de energía y proteína son la pérdida de condición corporal y la disminución de la eficiencia reproductiva.

Después, se debe evaluar el consumo de sal mineralizada en el potrero. Para esto es recomendable llevar un registro simple de la cantidad que se suministra en cada potrero, la frecuencia de suministro y el número de animales por potrero. Con esta información se calcula el consumo diario aproximado de sal mineralizada por animal. Posteriormente, se evalúan las fuentes de minerales y la concentración de minerales traza. En la Tabla 4.8 se presentan las principales fuentes de suplementación mineral para bovinos:

Tabla 4.8. Fuentes minerales recomendadas para ganado de carne

Mineral	Fuente inorgánica	Fuente orgánica
S	Flor de Azufre	-----
Ca	Carbonato de Ca	-----
Co	Carbonato de Co	Glucoheptonato de Co
	Sulfato de Co	-----
Cu	Sulfato de Cu	Complejo Cu - AA
	Cloruro de Cu tribásico	Cobre polisacárido
		Proteinato de Cu
P	Fosfato dicálcico	-----
	Fosfato monocálcico	-----
Fe	Sulfato ferroso heptahidratado	Complejo Fe - AA
		Fe Polisacárido
Mg	Sulfato de Mg	Mg Polisacárido
	Óxido de Mg	-----
Mn	Sulfato de Mn	Complejo Mn - AA
		Mn metionina
		Mn polisacárido
		Mn proteinato
K	Cloruro de K	-----
	Bicarbonato de K	-----
Se	Selenito de Na	Selenometionina
		Levadura alta en Se
I	Yodato de K	EDDI (etilenaaminodihidroyo- do)
Zn	Sulfato de Zn Óxido de Zn	Complejo Zn - AA
		Zn metionina
		Zn polisacárido
		Zn proteinato

Fuente: Wright, (2008).

Actualmente se utilizan sales mineralizadas proteinadas, las cuales contienen una fuente de nitrógeno (torta de algodón o urea), con el fin de mejorar el aporte de nitrógeno para bovinos que pastorean praderas con baja calidad nutricional y que contienen niveles de proteína por debajo del 7%, situación común en la época seca. Con el uso de estas sales, se observa un aumento en el consumo de forraje y un mejoramiento de la ganancia diaria de peso; sin embargo, para que haya una buena respuesta, es necesario que la disponibilidad de forraje en la pradera no sea limitante, caso que generalmente no se presenta en la época seca, cuando la disponibilidad y calidad de la pradera disminuyen.

En algunos casos se utilizan los bloques de urea, melaza y minerales como estrategia de suplementación para bovinos. Estos contienen una fuente de nitrógeno no proteico (urea), de carbohidratos altamente fermentables y de minerales de rápida disponibilidad para la síntesis de proteína microbiana en el rumen. Debido a la capacidad de síntesis de proteína microbiana a partir de la urea, este tipo de estrategia de suplementación es benéfica cuando los animales pastorean praderas de baja calidad nutricional o cuando se suplementan con residuos de cosecha. Con este tipo de bloques se debe verificar el consumo de minerales, ya que en algunos casos no aportan los niveles requeridos.

En los casos de sospecha de una deficiencia secundaria, es necesario realizar análisis de laboratorio, incluyendo los niveles de minerales en el agua. Se pueden tomar muestras de sangre o biopsias de hígado, pero estos análisis son costosos y se debe considerar si vale la pena realizarlos. Por último, se recomienda que se solicite ayuda a los técnicos y especialistas en nutrición animal.

Una serie de minerales que no se requieren (o se necesitan en muy pequeñas cantidades) pueden causar toxicidad en ganado de carne. En Tabla 4.9 se describen los minerales tóxicos para bovinos y los niveles máximos tolerables:

Tabla 4.9. Concentraciones máximas tolerables de minerales tóxicos para bovinos

Elemento	Concentración máxima (ppm)
Aluminio	1000
Arsénico	50 (100 para formas orgánicas)
Bromo	200
Cadmio	0.5
Flúor	40 - 100
Plomo	30
Mercurio	2
Estroncio	2000

Fuente: NRC, (1980).

CONCLUSIONES

Los bovinos en pastoreo requieren una serie de macro y microminerales para obtener niveles adecuados de producción. En los forrajes del trópico colombiano existen varios elementos limitantes como Ca, P, S, Cu y Zn, los cuales,

cuando son deficientes, afectan el crecimiento, la producción de leche, la reproducción y la salud de los animales. Existen numerosas interacciones entre minerales que afectan su disponibilidad. Los signos de deficiencia y toxicidad se describen, pero muchos de ellos no se presentan hasta que haya una deficiencia severa. Los bovinos se deben suplementar con sal mineralizada, de acuerdo con la calidad del forraje, y teniendo en cuenta edad, sexo, raza, estado fisiológico y nivel de producción.

La concentración de minerales en los forrajes varía considerablemente y depende de factores como la especie de pasto, la concentración de minerales en el suelo, el nivel de fertilización de la pradera, las condiciones climáticas y la época del año.

Generalmente, las sales mineralizadas comerciales suplen las necesidades de minerales de los bovinos, ya que existen sales regionalizadas, de acuerdo con las particularidades de suelo y forraje de cada zona ganadera del país. La efectividad de cada uno de estos productos se debe determinar por el análisis de la concentración mineral del forraje, por los suplementos que se suministran en la explotación y por el tipo de suelo de las praderas. En un programa de suplementación mineral siempre se deben evaluar la relación costo - beneficio de la utilización de estos suplementos.

BIBLIOGRAFÍA

- Agricultural Research Council. 1980. The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock. Slough, England: Commonwealth Agricultural Bureaux.
- CSIRO. 2007. Nutrient Requirements of Domesticated Ruminants. 295 p.
- Dávila, G.; Guerrero, R. & Rojas, E. 1998. Disponibilidad de K en algunos suelos palmeros de los Llanos Orientales de Colombia. Suelos Ecuatoriales. Vol. 28. Pp.71-80.
- Gómez, S.J.; Velásquez, P. G. & Cárdenas G.D. 1994. Importancia de la nutrición mineral en bovinos de la Orinoquia colombiana. Boletín técnico No. 233. Bogotá, D.C.: Corpoica. ICA. 19 p.
- Laredo C., M.A. & Cuesta, P.A. 1988. Tabla de contenido nutricional en pastos y forrajes de Colombia. Instituto Colombiano Agropecuario. Colanta.
- Lalman, D. & McMurphy, C. Vitamin and Mineral Nutrition of Grazing Cattle. Department of Animal Science. Oklahoma Cooperative Extension Service. Division of Agricultural Resources and Natural Resources. Oklahoma State University. 16 p. [en línea]. Disponible en: <http://pods.dasnr.okstate.edu/docushare/dsweb/Get/Document-2032/E-861web.pdf> [Consultada: el 21 de octubre de 2010].
- McDowell, L.R. 1985. Nutrition of Grazing Ruminants in Warm Climates. Orlando, Academic Press. 443 p.
- National Research Council. 1980. Mineral Tolerance of Domestic Animals. Washington, D.C.: National Academy of Sciences. 577 p.
- National Research Council. 2000. Nutrients Requeriments for Beef Cattle. Update. 248 p. [en línea]. Disponible en: http://books.nap.edu/openbook.php?record_id=9791&page=54 [Consultada: 20 de octubre de 2010].
- National Research Council. 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle: Seventh Revised Edition. National Academy of Sciences. [en línea]. Disponible en: <http://www.nap.edu/catalog/9825.html> [Consultada: 18 de noviembre de 2008].
- Parra, J.L. 2004. Características tecnológicas productivas y aspectos de salud del ternero en el sistema bovino doble propósito, Piedemonte llanero. Boletín de investigación N°5. Villavicencio, Meta: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Programa Nacional de Transferencia de Tecnología Agropecuaria, PRONATTA. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, CORPOICA. 52 p.
- Rincón, A. 2006. Factores de degradación y tecnología de recuperación de praderas. Llanos Orientales de Colombia. Boletín Técnico. Villavicencio, Meta: CORPOICA. Gobernación del Meta. 78 p.
- Salinas, J.G. 1989. Fertilización de pastos en suelos ácidos de los trópicos. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT. 215 p.
- Stewart, L. 2010. Mineral Supplements for Beef Cattle Cooperative Extension, University of Georgia. 16 p.
- Vanness, S.J.; Griffin, W.A.; Brenner, V.R.; Erickson, G.E. & Klopfenstein, T.J. 2010. Relating Hydrogen Sulfide Levels to Polioencephalomalacia. Beef Cattle Report, University of Nebraska, Lincoln. Extension. [en línea]. Disponible en: <http://beef.unl.edu/beefreports/201028.shtml> [Consultada: 20 de septiembre de 2011].

- Villar, C.C; Gómez, S.J. & Pérez, B.R. 1992. Efecto del consumo de diferentes niveles de flor de azufre sobre los niveles de infestación por la garrapata *Boophilus microplus* y la ganancia de peso en animales criollos. Ibagué: XVIII Congreso nacional de Medicina Veterinaria y de Zootecnia.
- Villar, C.C. 2006. Importancia del azufre en la producción de carne vacuna y en el control de garrapatas en ganado en pastoreo en los Llanos Orientales de Colombia. [en línea]. Disponible en: <http://www.engormix.com/MA-ganaderia-carne/nutricion/articulos/importancia-azufre-produccion-carne-1973/141-p0.htm>. [Consultado: 29 de diciembre de 2010].
- Ward, M. & Lardy, G. 2005. Beef Cattle Mineral Nutrition. [en línea]. Disponible en: <http://www.ag.ndsu.edu/pubs/ansci/beef/as1287w.htm>. [Consultado: el 18 de agosto de 2010].
- Wright, C. 2008. Formulating Mineral Supplements for Beef Cows. South Dakota Extension Cooperative Service. 5 p.
- Zanton, G. & Heinrichs, J. Opportunities and Challenges of Feeding Distillers Grains to Dairy Cows. Department of Dairy and Animal Science. The Pennsylvania State University. 8 p. [en línea]. Disponible en: <http://www.das.psu.edu/research-extension/dairy/nutrition/pdf/feeding-distillers-grains-09-146.pdf> [Consultada: 20 de diciembre de 2010].