

MODELOS DE PREDICCIÓN DE EXIGENCIAS MINERALES PARA RUMIANTES**MINERAL REQUIREMENTS MODELS FOR RUMINANTS**

PATIÑO, P. RENE^{1*} Dr.; DA SILVA FILHO, C. JOSÉ² Dr; PEREZ, P. JORGE.³
Zootecnia.

¹Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Sucre, Sincelejo, Colombia.

²Programa de Zootecnia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, Brasil

³Estudiante, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Sucre,
Sincelejo, Colombia

*Correspondencia: re_patino@yahoo.com

Recibido: 29-08-2011; Aceptado: 14-09-2011

Resumen

El objetivo de esta revisión es presentar algunos fundamentos sobre la nutrición mineral en rumiantes haciendo énfasis en la recopilación de los modelos actuales para la estimación de las exigencias dietéticas minerales. El objetivo se plantea debido a la importancia que tienen los minerales a nivel orgánico y su enorme influencia sobre el desempeño productivo en rumiantes. Bajo condiciones tropicales es común que el pastoreo sea la principal estrategia de manejo animal, y bajo estas condiciones se torna aún más crítica la nutrición mineral, porque no se conoce, normalmente ni la ingestión de minerales ni la composición mineral de los forrajes. Recientemente, Comités como el NRC y el CSIRO han publicado textos sobre exigencias minerales en rumiantes, sin embargo, es difícil encontrar relacionados la mayor parte de modelos para predecir la exigencia mineral en un solo texto, que es lo que se trató de realizar en este trabajo. Debido a la problemática ambiental, especialmente con el caso del P y su relación con los procesos de eutroficación de las aguas, se han redefinido las exigencias de este mineral, buscando reducir su excreción. Los modelos presentados deben ser manejados con criterios bien claros para evitar errores en su aplicación. La aplicabilidad de estos modelos permitirá formulaciones de mezclas minerales con los criterios más recientes de la literatura mundial en el campo de la nutrición mineral.

Palabras clave: exigencias nutricionales, modelos, rumiantes.

Abstract

The aim of this review is to present the fundamental aspects of mineral nutrition in ruminants with emphasis in models of prediction of mineral requirements. The objective is due to the importance of minerals and their enormous influence on the productive performance in ruminants. Under tropical conditions, grazing is the main animal management strategy, and under these conditions becomes even more critical mineral nutrition, because it is known, often and mineral intake and mineral composition of forages. Recently, any committees, as NRC and CSIRO have published text on mineral requirements of ruminants, however, is difficult to find related most models to predict the mineral requirement in a single text, which is what

we tried to do in this work. Due to environmental concerns, especially with the case of P and its relationship with the processes of water eutrophication, have redefined the requirements of this mineral, for to reduce its excretion. The models presented should be handled with very clear criteria to avoid errors in your application. The applicability of these models will allow mineral mix formulations with the most recent criteria of world literature in the field of mineral nutrition.

Key words: models, nutritional requirements, ruminants.

Introducción

La nutrición mineral debe ser una prioridad para todas aquellas personas que manejan o administran los procesos de alimentación en todo sistema de producción animal. Por sus diversas funciones orgánicas, los minerales no pueden ser desconsiderados cuando se definen las estrategias de alimentación en una empresa ganadera. Deficiencias en minerales se manifiestan de variadas maneras, pero en general afectan la salud y el desempeño productivo animal. Cuando se manejan animales en pastoreo, o sea cuando los forrajes disponibles son el principal recurso nutricional, la nutrición mineral se torna crítica, porque será dependiente de la composición mineral de los pastos y demás forrajes consumidos. No es usual que los técnicos o personas que administran el proceso de producción en las empresas ganaderas de nuestra región posean datos de composición mineral de los forrajes disponibles. De esta manera, lo que se ha convertido en práctica común es utilizar mezclas minerales comerciales ya elaboradas. Estos suplementos minerales poseen diversas características en relación a su composición y se ofrecen con diversos contenidos de fósforo (P), que es el mineral de referencia cuando se adquiere el suplemento.

La nutrición mineral es un campo de la zootecnia que presenta grandes avances. Comités de renombre mundial como NRC, ARC, AFRC, INRA, CSIRO, etc., se han dado a la tarea de definir y producir publicaciones en donde se especifican las necesidades minerales para rumiantes. En otros países, varios grupos de investigación hacen grandes esfuerzos para comparar las exigencia propuestas por esos comités con resultados producidos en ese país, con animales manejados en condiciones tropicales, que según, quienes lideran estos proyectos, podrían no ser las mismas de animales manejados en otras latitudes no tropicales.

Definir las exigencias minerales para los animales no ha sido una tarea fácil, ya que son muchos los aspectos que deben ser considerados. Las diferencias entre especies, fases fisiológicas, niveles de producción, etc., hacen que las necesidades estén siendo replanteadas permanentemente. El método factorial ha sido el más utilizado para definir las necesidades minerales. También se destaca el uso de isótopos radioactivos y la técnica de la dilución isotópica que ha permitido calcular con bastante precisión las pérdidas endógenas fecales, medida fundamental para definir las exigencias de mantenimiento. De esta manera, la suma de los resultados

obtenidos usando estas dos metodologías ha permitido precisar bastante en relación a las exigencias minerales.

Estudios más recientes, han enfocado la nutrición mineral a la parte ambiental. Esto, porque, en varias zonas del mundo, principalmente en países industrializados, se presentan problemas con los minerales perdidos en las excretas animales. Estos minerales, como por ejemplo P, pueden ir a las fuentes de agua y ocasionar el proceso de eutroficación, por tanto, junto al nitrógeno (N) y a los gases como el metano, son productos generados por los sistemas de producción que pueden ocasionar un impacto negativo sobre el ambiente.

La modelación matemática ha sido una de las metodologías que más han aportado para la mejor comprensión de los aspectos relacionados al metabolismo mineral. A partir de estos modelos se pueden predecir diferentes variables, como los flujos biológicos, biodisponibilidad, etc. A pesar de que la modelación matemática de diferentes aspectos biológicos no es una metodología nueva, permanentemente está siendo usada en la nutrición animal. Tanto así, que la mayoría de software que predicen aspectos de la nutrición animal se fundamentan en la aplicación de modelos. Existen varios tipos de modelos. En minerales se destacan los modelos compartimentales. Estos modelos recrean o simulan sistemas biológicos, identificando los flujos entre los diferentes componentes del sistema.

El objetivo de esta revisión es presentar algunos fundamentos sobre la nutrición mineral en rumiantes haciendo énfasis en la recopilación de los modelos actuales para la estimación de las exigencias dietéticas minerales.

Los minerales como nutrientes esenciales

Las funciones de los minerales en un organismo son variadas. Estos elementos participan directa o indirectamente en la mayoría de procesos fisiológicos y metabólicos (Tabla 1). Algunos son componentes estructurales fundamentales del tejido óseo. Las funciones de los minerales se pueden agrupar en cuatro: estructurales, fisiológicas, catalíticas y reguladoras (UNDERWOOD y SUTTLE, 2003).

Se entiende como función estructural la participación de los minerales en los componentes estructurales de órganos y tejidos, como sucede con el Ca, P, Mg, F y Si en huesos y dientes. Minerales como Zn y P forman parte de las moléculas y membranas contribuyendo a su estabilidad estructural. Fisiológicamente, los minerales se presentan como electrolitos en tejidos y fluidos corporales, participando en el mantenimiento de la presión osmótica, del equilibrio ácido-base, de la permeabilidad de membrana y de la irritabilidad tisular (UNDERWOOD Y SUTTLE, 2003).

Tabla 1. Resumen de las funciones, sitios de absorción, excreción, almacenamiento, toxicidad e interrelaciones de los minerales

Mineral	Función principal	Absorción	Excreción	Reservas	Fuentes	Interrelación
Calcio (Ca)	Formación de huesos y dientes. Contracción muscular. Coagulación y permeabilidad celular. Esencial para la producción de leche.	El principal sitio de absorción es el duodeno por absorción pasiva (difusión) y activa. La vitamina D participa del proceso, y lo estimula.	La principal vía de excreción son las heces, las pérdidas en orina son mínimas.	98-99% en huesos y dientes.	Concha, carbonato de calcio, fosfato bicalcico, fosfato defluorinado, leguminosas forrajeras, leche y harina de hueso.	La vitamina D participa del proceso de absorción. Excesos de P y Mg disminuyen la absorción. La relación P:Ca no debe ser menor de 1:1 ni mayor de 7:1.
Cloro (Cl)	Es el principal anión relacionado con la presión osmótica y el balance ácido-base. Participa en la formación del HCl a nivel gástrico.	A través del tracto digestivo, incluido el rumen.	Principalmente a través de la orina, como sales. También por la heces, transpiración y leche.	En los fluidos corporales y en elevadas concentraciones en el jugo gástrico.	Sal (NaCl), adicionado en la dieta en niveles de 0.25 a 0.50%.	Excesos no son comunes.
Magnesio (Mg)	Desarrollo esquelético, constituyentes de huesos; activador enzimático, principalmente en el sistema glucolítico.	Tracto digestivo, principalmente retículo-rumen.	Orina, heces, y leche, siendo orina la vía principal.	60-70% en huesos.	Óxido de magnesio, Sulfato de magnesio, carbonato de magnesio.	Excesos afectan el metabolismo de Ca e P. Su toxicidad no es característica.
Fósforo (P)	Formación de huesos y dientes, fosforilación; ATP, principal radical anión fosfato del fluido intracelular. Constituyente de la saliva como fosfatos que participan en la	Ocurre en el duodeno por absorción pasiva y activa, se requiere vitamina D, importante la relación Ca:P.	Heces son la principal vía de excreción. En orina las pérdidas son mínimas y aumentan en dietas con alta	80-85% en huesos y dientes.	Fosfato monosodico, fosfato diamónico, fosfato dicálcico, fosfato defluorinado, granos de cereales y sus subproductos.	Al igual que el Ca, la vit. D participa del proceso de absorción. Excesos de Ca y Mg pueden afectar su absorción. La relación Ca:P

	regulación del pH ruminal.		inclusión de concentrados.			debe no ser menor de 1:1 ni mayor de 7:1.
Potasio (K)	Mayor catión del fluido intracelular, donde participa en la regulación de la presión osmótica y el equilibrio ácido-básico. Actividad muscular y permeabilidad celular. Requerido en la reacciones enzimáticas donde participa la creatinina. Influencia el metabolismo de los carbohidratos.	A través del tracto digestivo, incluyendo rumen y omaso, intestino delgado terminal e intestino grueso.	Principalmente, orina, cerca de 13% son pérdidas fecales y 12% en la leche.	En músculo, pero no es fácilmente almacenado.	Cloruro de potasio, sulfato de potasio, y los forrajes normalmente poseen cantidades adecuadas.	Niveles excesivos de K intervienen en la absorción de Mg; deficiencia en Mg reduce la retención de K, llevando a posibles deficiencias.
Sodio (Na)	Mayor catión del fluido extracelular, donde participa en la regulación de la presión osmótica y el equilibrio ácido base. Participa en el mantenimiento del tono muscular y en la permeabilidad celular.	Principal/ en intestino delgado y rumen.	La principal vía de excreción es la orina, en forma de sales, también en las heces y la leche.	En la mayoría de fluidos tejidos y huesos.	Como sal (NaCl), a niveles de 0,25 y 0,50% de la dieta.	Toxicidad por sal, que se acentúa cuando se presenta restricción de agua.
Azufre (S)	Algunos aminoácidos poseen azufre en su composición. Vital para el ambiente ruminal. Participación importante del grupo SH en reacciones metabólicas, como la respiración en los tejidos; componente de la biotina, tiamina,	Incorporado principal/ a la proteína microbiana y absorbido en el intestino delgado.	Orina y heces.	Como S en los aminoácidos.	En rumiantes y equinos, la proteína del alimento es la fuente más importante.	Relacionado con el metabolismo del Cu y Mo, y antagonico con el Se. Normalmente, no hay problemas por toxicidad.

	coenzima A, e insulina.					
Cobalto (Co)	Componente de la vit.B12. Las bacterias del rumen lo usan para sintetizar vit.B12. Por tanto es necesario para crecimiento microbiano.	Como parte de la vit.B12 es absorbido en la porción baja del intestino delgado.	Principal/ por las heces. En orina el 1% y en la leche 12%.	Hígado, músculo y hueso, principalmente como vit.B12.	Carbonato de cobalto, sulfato de cobalto; cloruro de cobalto. Como pellets de óxido de cobalto o inyecciones de vit.B12.	Relacionado con la vit.B12, su toxicidad no es común.
Cobre (Cu)	Cofactor en varios sistemas enzimáticos de oxidación. Síntesis de hemoglobina; formación de hueso; mantenimiento de la mielina en los nervios y pigmentación del pelo.	Principalmente en el intestino delgado, en rumiantes solamente 1 a 3% de Cu es absorbido. Absorción muy variable, afectada por la presencia de antagonistas (Mo, S, Fe, Cd, Zn).	Heces son la principal ruta.	Hígado, el principal órgano de almacenamiento.	Formas cúpricas del sulfato, carbonato, cloruro, óxido y nitrato.	Un exceso de Mo en la presencia de sulfuro causa una condición que puede ser tratada administrando Cu. Interactúa metabólicamente con Mo, Zn, Cd, esteroides y según respuesta inmune. El estatus de Cu es un enigma debido a estas interacciones.
Fluor (F)	Trazas protegen contra decaimiento.	Tracto gastrointestinal. Incluyendo rumen.	Orina	Hueso	No se necesita suplementar.	Calcio y todas las sales protegen contra la toxicidad. El F se acumula como tóxico, por lo que toxicidad puede manifestarse tiempo después.
Yodo (I)	Componente de las hormonas tiroideas (tiroxina y	Tracto gastrointestinal. Pulmones y piel.	Principalmente orina, cantidades	Concentrado en la glándula tiroideas (70-80%).	Sales estabilizadas contienen 0.01% de yoduro de potasio	A largo plazo elevada ingestión reduce la

	triiodotironina).		pequeñas en intestino. Altos niveles dietéticos incrementan su proporción en leche.		(0.0076%). Ioduro de calcio Etilendiamindihidroiodo (EDDI).	captación de I.
Hierro (Fe)	Respiración celular (hemoglobina, citocromos, mioglobina)	A través del tracto gastrointestinal(duodeno y yeyuno).	Heces, con pequeñas cantidades en la orina.	Hígado, músculo, sangre, bazo, riñón y hueso.	Sulfato ferroso; carbonato ferroso; hojas de plantas, semillas leguminosas; y granos cereales.	El Cu se requiere para el normal metabolismo de Fe. Exceso de Fe puede interferir con P, Cu, y Se.
Manganeso (Mn)	Esencial para la formación ósea. Activador y constituyente de sistemas enzimáticos (superóxido dismutasa). Importante para el metabolismo de purinas y transporte de electrones.	Intestino delgado.	Heces, y pequeñas cantidades en la orina.	En todo el cuerpo, principalmente, hueso, hígado, riñón y páncreas.	Sulfato de manganeso. Óxido de manganeso.	Excesos de calcio y fósforo disminuyen su absorción. Normalmente, Mn no es tóxico, o se presentan excesos moderados.
Molibdeno (Mo)	Componentes de muchas enzimas (ej. xantina oxidasa). Importante en el metabolismo de las purinas y transporte de electrones.	Intestino delgado.	Principalmente en orina, y pocas cantidades en heces y leche.	No se almacena en alta cantidad. Principalmente a nivel de hueso e hígado.	Normalmente no se suplementa.	Niveles tóxicos de Mo intervienen con el metabolismo de Cu, aumentando así sus exigencias.
Selenio (Se)	Relacionado con la Vit.E; ambos nutrientes protegen el organismo del daño oxidativo. Hace parte de la enzima	Intestino delgado y ciego.	Orina y heces.	Hígado, riñón y otros tejidos glandulares.	Selenito de sodio; selenato de sodio; selenato de bario y selenio orgánico ("yeast").	Animales que consumen forrajes o granos producen en suelos seleníferos pueden producir

	glutathionaperoxidasa.					alcalosis.
Zinc (Zn)	Cofactor de varios sistemas enzimáticos. Necesario en la formación ósea, síntesis de proteína y metabolismo en general.	Rumen e intestino delgado.	Heces y pequeñas cantidades en orina.	Ampliamente distribuido. Elevadas cantidades en hígado, páncreas y riñón.	Zinc como carbonato, cloruro, sulfato u óxido.	Elevadas cantidades de Zn en la dieta acentúan la deficiencia de Fe y Cu.

Fuente: McDowell (1997)

La acción reguladora de los minerales se refiere a su participación en los procesos de replicación y diferenciación celular; Ca por ejemplo, participa en las señales de transducción y el Zn influye en la transcripción.

Existen 14 elementos minerales considerados como esenciales y que, en condiciones prácticas, deben hacer parte de la dieta. Esos minerales pueden ser divididos en dos grupos: macrominerales y microminerales, o minerales traza, según las cantidades requeridas por el animal. Los macrominerales incluyen calcio (Ca), fósforo (P), sodio (Na), cloro (Cl), potasio (K), magnesio (Mg) y azufre (S). Los microminerales son el cobalto (Co), cobre (Cu), yodo (I), hierro (Fe), manganeso (Mn), selenio (Se) y zinc (Zn). Trece elementos son considerados esenciales para ciertos tipos de animales y en determinadas circunstancias: aluminio, arsénico, boro, cromo, flúor, litio, molibdeno, níquel, rubidio, y vanadio (UNDERWOOD y SUTTLE, 2003).

De acuerdo con Van SOEST (1994) el tema de minerales en los rumiantes debe, también, ser abordado a partir de las exigencias minerales de los microorganismos ruminales y de las interacciones entre ellos. Según OSPINA *et al.* (1999) los minerales actúan como catalizadores en los procesos de multiplicación celular de los microorganismos del rumen, siendo importantes para la síntesis de proteína microbiana. Los minerales también afectan la presión osmótica, la capacidad de tamponamiento y la tasa de dilución. Se consideran como minerales importantes, en este sentido, Co, Fe, Mo y Zn, los cuales participan en varios procesos y reacciones enzimáticas, y otros minerales como P, Mg y S que influyen en la actividad fibrolítica y la digestibilidad de la materia orgánica. Un aspecto a tener en cuenta es que varios minerales interactúan entre sí y pueden formar, en ocasiones, complejos no asimilables, afectando la biodisponibilidad mineral, como observado por PATIÑO *et al.* (datos no publicados) cuando la absorción de P fue afectada en ovinos recibiendo fosfato diamónico y carbonato de calcio.

Aspectos generales sobre nutrición mineral de rumiantes en pastoreo

La principal fuente de minerales en las dietas para animales la constituyen los alimentos ingeridos, sin embargo, bajo ciertas condiciones, el agua puede hacer aportes (I, Mn, Fe, S, Na, Cl, y Mg) significativos. En condiciones tropicales, en donde predominan los sistemas pastoriles, las deficiencias en minerales estarán correlacionadas con las características de los forrajes, los cuales constituyen la principal fuente de alimento, especialmente en aquellos países en donde hay escasa presencia de manejo en confinamiento. A pesar de que las condiciones de los suelos cambian, es relevante señalar algunos de los resultados obtenidos por McDOWELL (1997). Esos resultados, correspondientes a varios países latinoamericanos, notaron que la mayor posibilidad de déficit era: Co, 43%; Cu, 47%; Mg, 35%; P, 73%; Na,

60%, y Zn, 75%. Los minerales K, Fe e Mn fueron menos deficientes. Datos presentados por estos autores, indicaron que en el caso de Colombia, Ca, P, Na, Zn, Cu, y Se fueron minerales críticos, en los que se debía centrar la atención. Mg, K, y Co, presentaron menor incidencia. Cuando la madurez del forraje aumentó, se observó disminución en la concentración de proteína y de minerales.

A pesar de la antigüedad de los resultados anteriores, la situación podría no haber sufrido cambios drásticos. Sin embargo, cabe anotar que la introducción de nuevas especies de gramíneas y leguminosas, con las subsecuentes labores de establecimiento, puede haber cambiado el panorama en este sentido.

En el caso de Colombia, estudios recientes han comprobado la diferencia en relación a la composición de las pasturas, entre especies, entre zonas o regiones, como concluido por RIVAS (2011) en estudios realizados por CORPOICA en los Llanos Orientales del país. Para citar solo algunos ejemplos de lo observado se encontraron rangos entre 0.13 y 0.23% para P, 0.21 y 0.95% para Ca, 0.1 y 0.47 para Mg y 0.65 y 1.90 para K, lo que indica la gran variabilidad entre zonas y manejos, ya que en este caso los resultados corresponden solo a *B. decumbens*.

La concentración de minerales en el suelo depende de su pH y de la fertilidad, de las especies presentes y su estado de madurez, de la estación o época, del clima, de la precipitación o irrigación, y de las entradas atmosféricas. En suelos ácidos (pH<6.0) puede verse limitada la absorción de P, K, S, Ca, Mg y Se, por parte de la planta. Sin embargo, puede verse incrementada la absorción de Fe, Mn, Bo, Cu y Zn. En suelos alcalinos pueden observarse excesos de Mo y Se, y deficiencias de Fe, Cu, Zn, Mn, I, y Co (NRC, 2007).

Interacciones entre algunos minerales pueden modificar su biodisponibilidad y causar problemas de deficiencias o excesos de minerales. Estas interacciones entre minerales pueden ocurrir durante los procesos de absorción, transporte, captación celular, función intracelular, y en los sitios de almacenamiento o excreción (NRC, 2007). Por ejemplo, la nutrición de Cu es afectada por Mo, S y Fe; la absorción de Mg por K, Na y amoníaco ruminal; y las exigencias de I y S son afectadas respectivamente por la presencia de sustancias goitrogénicas o cianogénicas en la sangre (CSIRO, 2007). Excesos de Ca o Fe, puede afectar la absorción de Cu, Zn y Mn, y excesos de K la de Mg (INRA, 1990). La forma como interactúan los diferentes minerales puede ser observada en la Fig. 1.

La reducción en el consumo de alimento es una de las primeras manifestaciones de la deficiencia de P. Deficiencias por tiempos prolongados afectan la tasa de crecimiento, pero según CSIRO (2007) no existen evidencias claras sobre sus efectos directos sobre la reproducción o lactación. Sin embargo, al afectar la ingestión de materia seca, se deberían esperar reducciones en los demás aspectos productivos, por disponibilidad de nutrientes, en especial, energía y proteína. Ovinos

y caprinos, por su mayor capacidad para seleccionar los forrajes consumidos, podrían ser menos afectados por deficiencias minerales cuando se comparan con los bovinos (CSIRO, 2007).

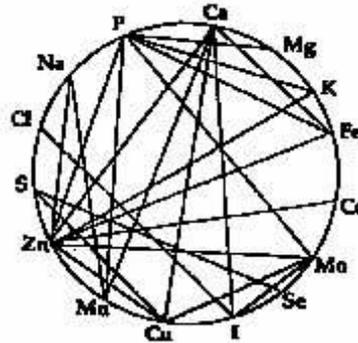


Figura 1. Interrelación entre los diferentes minerales (GEORGIEVSKII, 1982).

Manifestaciones de deficiencia en algunos minerales

En P ha sido considerado como un mineral crítico en varias zonas del país, y en general debe ser suplementado, sin embargo, debe confirmarse si existe o no posibilidad de deficiencia. Para poder notar, claramente, los síntomas de una deficiencia de P, deben pasar, aproximadamente, 60 días de deficiencia (TERNOUTH y SEVILLA, 1990). Cuando las deficiencias minerales, especialmente Ca o P, se presentan, se observan, muchas veces, cambios en el comportamiento ingestivo de los animales. La llamada pica es una de esas alteraciones del comportamiento. El consumo de tierra, hueso, o madera puede aparecer en animales deficientes en minerales, principalmente en deficiencias crónicas que pueden llevar a la osteoporosis u osteomalacia (McDOWELL, 1997).

Los síntomas clínicos de deficiencias minerales en animales en pastoreo (Tabla 2) no son fáciles de determinar. Esto, porque en muchas ocasiones se presentan sintomatologías subclínicas. Además, los síntomas clínicos son difíciles de corroborar, porque, normalmente, se usa como análisis de comprobación los niveles de P en plasma. A pesar de que los resultados de varios estudios han demostrado la correlación entre ingestión de materia seca y niveles plasmáticos de P, los niveles de P en plasma podrían no aparecer en límites críticos de deficiencia, esto debido a la forma como se realiza la homeostasis de P en el organismo. Por lo tanto, la práctica más recomendable en estos caso serian las biopsias de hueso y la determinación de Ca o P en el ese tejido (CSIRO, 2007; UNDERWOOD y SUTTLE, 2003; TERNOUTH y SEVILLA, 1990). A pesar de la eficacia de esta técnica, no es muy acogida, debido a la dificultad para tomar las muestras.

El análisis de P en muestras de pastos o forrajes, heces y orina ha sido considerado. La orina no es una vía de excreción importante en rumiantes, pero puede aumentarse la excreción urinaria cuando los niveles plasmáticos superan 45-60 mg/l. Pero debido a la variación en las cantidades excretadas de orina, no es un análisis simple en la práctica. En las heces no se encuentran esas desventajas.

Tabla 2. Tejidos usados para el diagnóstico de deficiencias minerales y los niveles considerados como críticos en rumiantes

Deficiencia Mineral	Tejido	Niveles críticos
Calcio (%)	Hueso (desengrasado.). Ceniza ósea. Plasma	24,5%, 37,6% 8mg/100ml
Magnesio (%)	Suero. Orina. Fluido cerebro espinal	1-2mg/100ml 2-10mg/100ml 1,6mg/100ml
Fósforo (%)	Hueso (desengrasado). Ceniza ósea. Volumen óseo. Plasma	11,5%, 17,6% 120mg P/cm ³ 4,5 mg/100ml
Potasio (%)	Plasma	9-28meq/l
Sodio (%)	Saliva. Heces. Orina. Relación Na/K (saliva)	100-200mg/ml, 1000ppm, 1meq/L < 10
Cobalto (ppm)	Hígado Vit.B12	0,05-0,07ppm, 96mg/ml
Cobre (ppm)	Hígado. Suero	25-75ppm ,0,65mg/ml
Iodo (ppm)	Leche T4	300mg/día, 4,2mg/dl
Hierro (ppm)	Hemoglobina .Transferrina.	10g/100ml, 13-15% saturación
Manganeso (ppm)	Hígado	6ppm
Selenio (ppm)	Hígado Suero. Pelo o lana	0,25ppm, 0,03mg/ml, 0,25ppm
Zinc (ppm)	Suero	0,6 - 0,8mg/ml
Toxicidad		
Cobre (ppm)	Hígado. Suero	700ppm - 1,2ppm
Flúor (ppm)	Huesos	4500 - 5500ppm
Manganeso (ppm)	Pelos	70ppm
Molibdeno (ppm)	Hígado	4ppm
Selenio (ppm)	Hígado. Pelos.	5 - 15ppm 10ppm

Fuente: NRC (1996); McDOWELL (1997), GONZÁLEZ (2000).

Resultados de varias investigaciones indican la relación que existe entre la concentración de P del alimento y la concentración en heces (VITTI *et al.*, 2000; PATIÑO *et al.*, 2008). Por lo tanto, esta determinación podría ser de valor al analizar el estado nutricional mineral del animal, en el caso del P. Concentraciones de P inferiores a 2 g P/kg de MS fecal podrían indicar dietas con concentraciones deficientes en P. TERNOUTH *et al.* (1996) propuso relacionar aspectos del metabolismo nitrogenado (ej. N ureico en plasma) con las concentraciones plasmáticas de P.

Exigencias minerales en rumiantes

Las exigencias o necesidades minerales en animales pueden ser divididas en dos grandes grupos; por una parte las exigencias para mantenimiento y de otro lado las de producción o trabajo. Las primeras se refieren a las cantidades mínimas que deben ser ingeridas para mantener estables y en balance las funciones metabólicas basales, es decir, aquel grupo de procesos metabólicos que ocurren en el animal para preservar la vida. Las exigencias de producción o trabajo, se refieren a las necesidades adicionales a las anteriores, que en un animal pueden referirse a los cambios en su composición corporal, a exigencias de lactancia (producción de leche), de preñez (exigencias fetales), de producción de lana (en ovinos) y trabajo. Las exigencias totales son sumatorias y corresponden a la suma de los dos grupos de exigencias mencionadas en el texto anterior.

A diferencia de los elementos orgánicos, los minerales, en realidad, no son reconvertidos. Se dan en el organismo algunos procesos de reciclaje, pero siempre con pérdidas, que se dan a través de la transpiración, leche, excretas, o en el caso de animales gestantes, la cantidad de minerales que serán captados por los tejidos fetales y los demás productos de la gestación.

De esta manera, para definir las exigencias totales, se deberán definir, inicialmente, las exigencias de mantenimiento. En este caso, el parámetro que ha sido considerado para definir estas exigencias ha sido la pérdida fecal endógena. En este caso, se asume que las pérdidas minerales vía fecal representan las pérdidas inevitables de minerales. En la práctica estas determinaciones son realizadas experimentalmente (GEORGIEVSKII *et al.*, 1982). La metodología consiste en ofrecer a un determinado grupo animal cantidades crecientes del mineral, para poder, posteriormente, determinar o definir la cantidad excretada cuando la ingestión del mineral fue cero. Lo usual es usar el punto de intercepción en el punto de ingestión cero, debido a que en la práctica es complicado ofrecer dietas totalmente libres del mineral en estudio (UNDERWOOD Y SUTTLE, 2003).

Usando estas determinaciones, en 1965 el ARC estableció que las necesidades de P para rumiantes eran de 40 mg/kg PV. Posteriormente, el mismo comité, en 1980 reevaluó esta exigencia y pasó a 12 mg/kg PV (ARC, 1980).

Un aspecto que complica la determinación de la pérdida fecal endógena es poder precisar que fracción fecal del alimento es realmente de origen endógeno. Se entiende por mineral endógeno fecal, aquella fracción del mineral excretado, que no es de origen dietético. Es decir que esta fracción corresponde a mineral reciclado vía saliva, como ocurre con el P, a las pérdidas celulares (ej. células de descamación), fracciones microbianas, enzimas y otros fluidos, etc. Por esta razón, la metodología utilizada debe diferenciar el mineral endógeno del mineral de origen dietético (GERGIEVSKII *et al.*, 1982). Usar curvas para determinar la ingestión cero del

mineral puede no ser la forma más correcta de determinar la pérdida endógena fecal, debido a la forma como en el organismo se realiza la homeostasis del mineral. Por ejemplo, en el caso del Ca, cuando las cantidades dietéticas son deficitarias, existen procesos fisiológicos reguladores de la homeostasis, como son el aumento en la eficiencia de absorción y la movilización ósea, que funciona como reserva. Por tal motivo, el punto cero, podría, en realidad, no ser una medida confiable.

La metodología más utilizada para definir, con mayor precisión (BRAVO *et al.*, 2003) la fracción fecal endógena es la dilución isotópica. Esta metodología permite diferenciar las dos fracciones (endógena y dietética) minerales en las heces. El fundamento de esta metodología, que no es nueva, radica en el uso de isótopos de cualquier mineral, como por ejemplo, ^{32}P o ^{45}Ca , que son radioactivos, que son introducidos al animal vía endovenosa o por ingestión. Se asume, entonces, que este mineral se va a comportar de manera idéntica en el organismo al mineral estable (no radioactivo). El mineral en sus dos formas químicas se mezcla en los diferentes compartimentos (DIAS *et al.*, 2007).

El porcentaje del mineral de origen endógeno en la heces se calcula usando la metodología propuesta por LOFGREEN y KLEIBER (1952) que considera la actividad específica en las heces (AEF) y en plasma (AEP). La actividad específica es una medida de radioactividad de una muestra. La fórmula propuesta es:

$$\text{Mineral fecal endógeno (\%)} = (\text{AEF/AEP}) \times 100.$$

Las necesidades de mantenimiento se expresan en base al peso corporal, pero en la actualidad, existe evidencia, como ocurre en Ca e P, de que el valor de las exigencias de mantenimiento, depende de la ingestión de alimento (AFRC, 1991). Esta afirmación se basa en el hecho de que mayores ingestiones de alimento pueden ocasionar mayores pérdidas del mineral en la forma endógena.

En 1965 el ARC, estableció una de las metodologías, que hasta hoy, sigue siendo ampliamente utilizada para definir las necesidades minerales animales. La metodología es la estimación o método factorial. Se base en la utilización de modelos factoriales, que suman los componentes de la necesidad neta y dividen el total por el coeficiente de absorción, para contabilizar la ineficiencia con la que se utiliza el suministro mineral de la ración. La principal ventaja de este método es que las exigencias son generalizables.

De esta manera, a través de la composición de los diferentes constituyentes (composición corporal y cambio de peso, lactación, fetos, y lana, principalmente) se puede llegar a conocer la cantidad de mineral retenido por cada uno, y de esa forma

poder definir las necesidades para animales en diferentes estados o fases productivas y con pesos diferentes.

En la Tabla 3 se presentan algunos modelos actuales utilizados para la estimación dietética de los diferentes minerales en bovinos, caprinos y ovinos.

Tabla 3. Modelos de predicción utilizados para definir la exigencia nutricional de minerales en rumiantes

Mineral	Especie	Exigencia de:	Modelo o ecuación	
Calcio	Bovinos lactantes ¹ no	Mantenimiento	Ca absorbido (g/d) = 0,0154 g/kg PV	
	Bovinos lactancia ¹ en	Mantenimiento	Ca absorbido (g/d) = 0,031 g/kg PV	
	Bovinos ¹	Crecimiento	Ca (g/d) = (9,83 × (PM ^{0.22}) × (PV ^{-0.22})) × GP	
		Gestación	Ca (g/d) = 0.02456 e ^{(0.05581 - 0.00007 t)t} - 0.02456 e ^{(0.05581 - 0.00007(t-1))(t-1)} Donde t = día de gestación	
		Lactancia	Ca absorbido (g/kg leche) = 1.22 para Holstein; 1.45 para Jersey; 1.37 para otras razas. Ca absorbido (g/kg de calostro) = 2.1	
	Ovinos ²	Mantenimiento	Ca dieta (g/d) = (0.623 × IMS + 0.228)/0.40	
		Crecimiento	Ca dieta (g/d) = ((0.623 × IMS + 0.228) + (GDP × 6.75 × PM ^{0.28} × PV ^{0.28}))/0.68	
		Lactancia	Ca dieta (g/d) = ((0.623 × IMS + 0.228) + (1.6 × PL))/0.50	
		Gestación (105 a 133 días)	Ca dieta (g/d) = ((0.623 × IMS + 0.228) + (0.214 × PVN))/0.50	
		Gestación (133 a 147 días)	Ca dieta (g/d) = ((0.623 × IMS + 0.228) + (0.329 × PVN))/0.50	
	Cabras ²	Mantenimiento	Ca dieta (g/d) = (0.623 × IMS + 0.228)/0.40	
		Crecimiento	Ca dieta (g/kg PV aumentado) = 9.4/0.45	
		Gestación	Ca dieta (g/kg de peso fetal) = 11.5/0.45	
		Lactancia	Ca dieta (g/kg leche) = 1.4/0.45	
	Fósforo	Bovinos	Mantenimiento	P dieta (g/d) = (1.6 × (0.693 × IMS - 0-06))/0.6
		Bovinos ³	Crecimiento	P dieta (g/d) = (1.2 + (4.635 × PM ^{0.22})(PV ^{-0.22})) × PV
Gestación			P absorbido (g/d) = 0.02743e ^{(0.05527 - 0.00075t)t} - 0.02743e ^{(0.05527 - 0.00075(t-1))(t-1)}	
Bovinos		Lactancia	P absorbido (g/d) = PL × 0.090	
Ovinos		Mantenimiento	P dieta (g/d) = (1.6 × (0.693 × IMS - 0-06))/0.6	

		Crecimiento	$P \text{ dieta (g/d)} = ((0.693 \times \text{IMS} - 0.06) + \text{GDP} (1.2 + 3.188 \times \text{PM}^{0.28} \times \text{PV}^{-0.28}) / 0.72$	
		Lactancia	$P \text{ dieta (g/d)} = (1.6 \times (0.693 \times \text{IMS} - 0.06)) + (1.3 \times \text{PL}) / 0.60$	
		Gestación (105 a 133 días)	$P \text{ dieta (g/d)} = (1.6 \times (0.693 \text{IMS} - 0.06)) + (0.111 \times \text{PVN}) / 0.60$	
		Gestación (133 a 147 días)	$P \text{ dieta (g/d)} = (1.6 \times (0.693 \text{IMS} - 0.06)) + (0.138 \times \text{PVN}) / 0.60$	
	Cabras	Mantenimiento	$P \text{ absorbido (g/d)} = 0.081 + 0.88\text{IMS}$	
		Crecimiento	$P \text{ dieta (g/kg PV aumentado)} = 6.5/0.65$	
		Gestación	$P \text{ dieta (g/kg de peso fetal)} = 6.6/0.65$	
		Lactancia	$P \text{ dieta (g/kg de leche)} = 0.97/0.65$	
Sodio	Bovinos ⁴	Crecimiento y no lactantes (mantenimiento)	$\text{Na absorbido (g/kg PV)} = 0.015$	
		Lactancia (mantenimiento)	$\text{Na absorbido (g/kg PV)} = 0.038$	
		Crecimiento	$\text{Na absorbido (g/kg GDP)} = 1.40$	
		Gestación, 190 – 270 días	$\text{Na absorbido (g/d)} = 1.39$, por retención fetal.	
		Lactancia	$\text{Na absorbido (g/d)} = 0.63 \text{ g} \times \text{PL}$	
	Ovinos	Mantenimiento	$\text{Na dieta (g/d)} = (0.0108 \times \text{PV}) / 0.91$	
		Crecimiento	$\text{Na dieta (g/d)} = (1.1 \times \text{GDP}) / 0.91$	
		Gestación (105 a 133 días)	$\text{Na dieta (g/d)} = (0.021 \times \text{PVN}) / 0.91$	
		Gestación (105 a 133 días)	$\text{Na dieta (g/d)} = (0.013 \times \text{PVN}) / 0.91$	
		Lactación	$\text{Na dieta (g/d)} = (0.4 \times \text{PL}) / 0.91$	
	Cabras	Mantenimiento	$\text{Na dieta (g/d)} = (0.015 \times \text{PV}) / 0.80$	
		Crecimiento	$\text{Na dieta (g/d)} = (1.6 \times \text{GDP}) / 0.80$	
		Gestación	$\text{Na dieta (g/d)} = (0.034 \times \text{PVN}) / 0.80$	
		Lactación	$\text{Na dieta (g/d)} = (0.4 \times \text{PL}) / 0.80$	
	Cloro	Bovinos	Mantenimiento	$\text{Cl absorbido (g/100 kg PV)} = 2.25$
			Crecimiento	$\text{Cl absorbido (g/kg GPV)} = 1$
Gestación (190 días a parto)			$\text{Cl absorbido (g/kg GPV)} = 1$	
Lactancia			$\text{Cl absorbido (g/kg Leche)} = 1.15$	
Ovinos		Mantenimiento	$\text{Cl dieta (g/d)} = (0.0079 \times \text{PV}) / 0.85$	
		Crecimiento	$\text{Cl dieta (g/d)} = (1.8 \times \text{GDP}) / 0.85$	
		Gestación (105 a 133 días)	$\text{Cl dieta (g/d)} = (0.015 \times \text{PVN}) / 0.85$	
		Gestación (105 a 133 días)	$\text{Cl dieta (g/d)} = (0.009 \times \text{PVN}) / 0.85$	
		Lactación	$\text{Cl dieta (g/d)} = (1.1 \times \text{PL}) / 0.85$	
Cabras		Mantenimiento	$\text{Cl dieta (g/d)} = (0.022 \times \text{PV}) / 0.80$	
		Crecimiento	$\text{Cl dieta (g/d)} = (1.0 \times \text{GDP}) / 0.80$	
		Gestación	$\text{Cl dieta (g/d)} = (0.024 \times \text{PVN}) / 0.80$	
	Lactación	$\text{Cl dieta (g/d)} = (1.1 \times \text{PL}) / 0.80$		
Potasio	Bovinos	Mantenimiento	$\text{K absorbido (g/d)} = (0.038 \times \text{PV} + 2.6 \times \text{IMS}) / 0.90$	
		Crecimiento	$\text{K absorbido (g/kg GPV)} = 1.6/0.90$	

		Gestación (190 días a parto)	$K \text{ absorbido (g/kg GPV)} = 1.027/0.90$
		Lactancia	$K \text{ absorbido (g/kg Leche)} = 1.5/0.90$
	Ovinos	Mantenimiento	$K \text{ dieta (g/d)} = 2.6 \times \text{IMS} + 0.038 \times \text{PV}/0.90$
		Crecimiento	$K \text{ dieta (g/d)} = 1.8 \times \text{GDP}/0.90$
		Gestación (105 – 133 días)	$K \text{ dieta (g/d)} = (0.029 \times \text{PVN})/0.90$
		Gestación (133 – 147 días)	$K \text{ dieta (g/d)} = (0.023 \times \text{PVN})/0.90$
		Lactancia	$K \text{ dieta (g/d)} = (1.4 \times \text{PL})/0.90$
	Cabras	Mantenimiento	$K \text{ dieta (g/d)} = 2.6 \times \text{IMS} + 0.05 \times \text{PV}/0.90$
		Crecimiento	$K \text{ dieta (g/d)} = 2.4 \times \text{GDP}/0.90$
		Gestación (105 – 133 días)	$K \text{ dieta (g/d)} = (0.042 \times \text{PVN})/0.90$
Lactancia		$K \text{ dieta (g/d)} = (2.0 \times \text{PL})/0.90$	
Magnesio	Bovinos	Mantenimiento	$\text{Mg absorbido (g/d)} = 3 \text{ mg / kg PV}/0.30$
		Crecimiento	$\text{Mg dieta (g/d)} = 0.45 \text{ g} \times \text{GDP}/0.30$
		Gestación	$\text{Mg dieta (g/d)} = 0.33/0.30$
		Lactancia	$\text{Mg Calostro} = 0.4\text{g/kg de calostro}$ $\text{Mg Leche} = 0.12 - 0.15\text{g/kg leche}$
	Ovinos	Mantenimiento	$\text{Mg dieta (g/d)} = (0.003 \times \text{PV})/0.17$
		Crecimiento	$\text{Mg dieta} = (0.41 \times \text{GDP})/0.17$
		Gestación (105-133 días)	$\text{Mg dieta (g/d)} = (0.009 \times \text{PVN})/0.17$
		Gestación (133-147 días)	$\text{Mg dieta (g/d)} = (0.17 \times \text{PVN})/0.17$
		Lactancia	$\text{Mg dieta (g/d)} = (0.17 \times \text{PL})/0.20$
	Cabras	Mantenimiento	$\text{Mg dieta (g/d)} = (0.0035 \times \text{PV})/0.20$
		Crecimiento	$\text{Mg dieta} = (0.40 \times \text{GDP})/0.20$
		Gestación	$\text{Mg dieta (g/d)} = (0.006 \times \text{PVN})/0.20$
Lactancia		$\text{Mg dieta (g/d)} = (0.14 \times \text{PL})/0.20$	
Azufre	Bovinos	General	$\text{S dieta (g/d)} = (0.20/100) \times \text{IMS}$
	Ovinos ⁵	General	$\text{S dieta (g/d)} = (0.47/100) \times \text{IMS}$
	Cabras	Mantenimiento	$\text{S dieta (g/d)} = (0.22/100) \times \text{IMS}$
		Gestación	$\text{S dieta (g/d)} = (0.22/100) \times \text{IMS}$
		Crecimiento	$\text{S dieta (g/d)} = (0.22/100) \times \text{IMS}$
		Lactancia	$\text{S dieta (g/d)} = (0.26/100) \times \text{IMS}$
Cobalto ⁶	Bovinos	General	$\text{Co absorbido (mg/kg MS)} = 0.11$
	Ovinos	General	$\text{Co absorbido (mg/kg MS)} = 0.10 - 0.20$
	Cabras	General	$\text{Co absorbido (mg/kg MS)} = 0.11$
Cobre	Bovinos	Mantenimiento	
		Crecimiento	$\text{Cu absorbido (mg/kg PV)} = 1.15$
		Gestación <100d	$\text{Cu feto (mg/día)} = 0.5$
		Gestación 100-125 días	$\text{Cu feto (mg/día)} = 1.5 - 2$
		Gestación >125 días	$\text{Cu feto (mg/día)} = 2$
Lactancia	$\text{Cu calostro (mg/kg)} = 0.6$		
		$\text{Cu leche (mg/kg)} = 0.15$	

	Ovinos ⁷	Crecimiento	$Cu \text{ dieta (mg/día) = (0.004 \times PV + 0.0137 \times PLa + 0.00106 \times GDP) / CA}$
		Gestación	$Cu \text{ dieta (mg/día) = (0.004 \times PV + 0.0137 \times PLa + 0.0016 \times GDP + 0.05 \times PVN) / 0.06}$
		Lactancia	$Cu \text{ dieta (mg/día) = (0.004 \times PV + 0.0137 \times PLa + 0.0016 \times GDP + 0.2 \times PL) / 0.045}$
	Cabras	Crecimiento	$Cu \text{ dieta (mg/kg MS) = 25 / 0.045}$
		Lactancia	$Cu \text{ dieta (mg/kg MS) = 15 / 0.045}$
Iodo	Bovinos	Mantenimiento	$I \text{ dieta (mg/100 kg PV) = 0.6}$
		Lactancia	$I \text{ dieta (mg/kg MS) = 0.45}$
	Ovinos	Crecimiento y adultos no lactantes	$I \text{ dieta (mg/kg MS) = 0.5}$
		Lactancia	$I \text{ dieta (mg/kg MS) = 0.8}$
	Cabras	Crecimiento y adultos no lactantes	$I \text{ dieta (mg/kg MS) = 0.5}$
		Lactancia	$I \text{ dieta (mg/kg MS) = 0.8}$
Hierro	Bovinos	Lactancia	$Fe \text{ Leche (mg/kg) = 1}$
		Gestación	$Fe \text{ movilizado feto (mg/d) = 18}$
		Crecimiento	$Fe \text{ peso vivo (mg/kg PV) = 18-34}$
	Ovinos	Mantenimiento	$Fe \text{ dieta (mg) = } 0.014 \times PV / 0.10$
		Crecimiento	$Fe \text{ dieta = } 55 \text{ mg/kg GDP / CA}$
		Gestación	$Fe \text{ dieta = } 0.5 \text{ mg /kg PVN} / 0.10$
		Lactancia	$Fe \text{ dieta = } 0.9 \text{ mg/kg PL} / 0.10$
	Cabras	Lana	$Fe \text{ dieta = } 30 \text{ mg/kg} \times FLL / (365 \times 0.10)$
		Crecimiento	$Fe \text{ dieta = } 95 \text{ mg/kg MS}$
		Gestación	$Fe \text{ dieta = } 35 \text{ mg/kg MS}$
Lactancia		$Fe \text{ dieta = } 35 \text{ mg/kg MS}$	
Mohair (pelo)	$Fe \text{ dieta = Adicionar } 5 \text{ mg/kg dieta}$		
Manganeso	Bovinos	General	$Mn \text{ dieta = } <0.002 \text{ mg/kg PV}$
		Gestación	$Mn \text{ feto = } 0.3 \text{ mg/día}$
		Lactancia	$Mn \text{ Calostro = } 0.16 \text{ mg/kg}$ $Mn \text{ Leche = } 0.03 \text{ mg/kg}$
	Ovinos	Mantenimiento	$Mn \text{ dieta = } 0.002 \text{ mg/kg PV} / 0.0075$
		Crecimiento	$Mn \text{ dieta = } 0.47 \text{ mg/kg GDP} / 0.075$
		Gestación	$Mn \text{ dieta = } 0.02 \text{ mg/kg PVN} / 0.0075$
		Lactancia	$Mn \text{ dieta = } 0.055 \text{ mg/kg PL} / 0.0075$
	Cabras	Lana	$Mn \text{ dieta = } 2.5 \text{ mg/kg FLL} / (365 \times 0.0075)$
		Mantenimiento	$Mn \text{ dieta = } 0.002 \text{ mg/kg PV} / 0.0075$
		Crecimiento	$Mn \text{ dieta = } 0.7 \text{ mg/kg GDP} / 0.075$
		Gestación	$Mn \text{ dieta = } 0.025 \text{ mg/kg PVN} / 0.0075$
		Lactancia	$Mn \text{ dieta = } 0.03 \text{ mg/kg PL} / 0.0075$
	Mohair (pelo)	$Mn \text{ dieta = } 2.5 \text{ mg/kg FLL} / (365 \times 0.0075)$	
Molibdeno	Bovinos ⁸	General	Suplementación no recomendada
	Ovinos	General	$Mo \text{ dieta = } 0.5 \text{ mg/kg MS}$
	Cabras	General	$Mo \text{ dieta = } 0.5 \text{ a } 1 \text{ mg/kg MS}$
Selenio	Bovinos	General	$Se \text{ dieta = } (0.3 \text{ mg/kg MS}) / 0.40$

	Ovinos	Lactancia	Se Leche = (0.01 a 0.025 mg/kg)/0.40	
		Mantenimiento	Se dieta = 0.00025mg/kg PV/AC	
		Crecimiento	Se dieta = 0.50 mg/kg GDP/AC	
		Gestación	Se dieta = 0.0025 mg/kg PVN/AC	
		Lactancia	Se dieta = 0.14 mg/kg PL /AC	
		Lana	Se dieta = 0.38 mg/kg FLL/AC	
	Cabras	Mantenimiento	Se dieta = 0.015mg/kg IMS + 0.083 mg/AC	
		Crecimiento	Se dieta = 0.50 mg/kg GDP/AC	
		Gestación	Se dieta = 0.0021 mg/kg PVN/AC	
		Lactancia	Se dieta = 0.10 mg/kg PL /AC	
		Mohair (pelo)	Se dieta = 0.38 mg/kg FLL/AC	
	Zinc	Bovinos	Mantenimiento	Zn dieta = (0.045 mg/kg PV)/0.15
			Gestación	Zn captado feto+útero = (12 mg/día)/0.15
			Lactancia	Zn Leche = (4 mg/kg)/0.15
Crecimiento			Zn en GDP = (24mg/kg)/0.15	
Ovinos		Mantenimiento	Zn dieta = 0.076 mg/kg PV	
		Crecimiento	Zn dieta = 0.024 mg/kg GDP/CA	
		Gestación	Zn dieta = 0.375 mg/kg PVN/CA	
		Lactancia	Zn dieta = 7.4 mg/kg PL/AC	
		Lana	Zn dieta = 115 mg/kg FLL/(365 x AC)	
Cabras		Mantenimiento	Zn dieta = 0.045 mg/kg PV/AC	
		Crecimiento	Zn dieta = 0.025mg/kg GDP/AC	
		Gestación	Zn dieta = 0.5 mg/kg PVN/AC	
		Lactancia	Zn dieta = 5.5 mg/kg PL/AC	
		Mohair (pelo)	Zn dieta = 115 mg/kg FLL/(365 x ZC)	

PV=Peso vivo; PM=Peso adulto; GDP=Ganancia diaria de peso; PL=Producción de leche; PVN=Peso esperado de la cría al nacimiento; IMS=Ingestión de materia seca; PLa=Producción de lana; CA=Coefficiente de absorción; FLL=Fibra lana limpia;

¹NRC (2001). El coeficiente de absorción será dependiente de la fase de producción y de las fuentes de Ca en la dieta. Dietas a base de forrajes pueden usar, según este comité, un valor de 0.30. Para dietas concentradas el coeficiente aumenta a 0.60. Para el carbonato de calcio se asume un porcentaje de eficiencia de absorción de 75 (coeficiente 0.75).

²NRC (2007). En este caso aparecen incluidos los coeficientes de absorción, como denominadores de la expresión matemática. Términos sin el valor del coeficiente de absorción para cabras, corresponden a cantidades en la dieta. El NRC (2007) recomienda 0.45 como valor general para cabras, sin embargo, advierte que debe ser manejado con criterios técnicos y biológicos cuidadosos.

³NRC (2001). Coeficientes de absorción para: terneros lactantes (0.90); rumiantes jóvenes entre 100-200 kg PV (0.78); Vacas lactando consumiendo ensilaje de maíz (0.80).

⁴NRC (2001). A temperaturas entre 25 y 30°C se deberá incrementar en 0.1 g/100 kg PV la oferta de Na. A temperaturas superiores a 30°C el incremento será de 0.4 g/100 kg PV.

⁵La exigencia de S en ovinos se incrementa por la producción de lana.

⁶Los tejidos de los mamíferos no requieren Co *per se* pero requieren Vit.B12 que es sintetizada por los microorganismos del rumen, que requieren Co.

⁷Los coeficientes de absorción (CA) para Cu varían entre las diferentes categorías: Corderos de 5 kg de PV = 0.90; Corderos de 10 kg = 0.53; Corderos de 20 kg = 0.20; Corderos pos destete a pasto = 0.045; Corderos pos destete "feed lot" = 0.06; Ovejas gestantes = 0.06; Ovejas en lactancia = 0.045.

⁸según NRC (2001).

Los rangos más comunes de concentración de minerales en la dieta pueden ser observados en la Tabla 4 .

Tabla 4. Rangos usuales de concentración de minerales en la dieta de ovinos y bovinos (g/kg MS)

Mineral	Ovinos	Bovinos
g/kg MS		
Calcio	1.4 – 7.0	2.0 – 11.0
Fósforo	0.9 – 3.0	1.0 – 3.8
Cloro	0.3 – 1.0	0.7 – 2.4
Magnesio	0.9 – 1.2	1.3 – 2.2
Potasio	5.0	5.0
Sodio	0.7 – 1.0	0.8 – 1.2
Azufre	2.0	1.5
mg/kg MS		
Cobalto	0.08 – 0.15	0.07 – 0.15
Cobre	4 – 14	4 – 14
Iodo	0.5	0.5
Hierro	40	40
Manganeso	20 – 25	20 – 25
Selenio	0.05	0.04
Zinc	9 – 20	9 – 20

Fuente: CSIRO (2007)

Conclusión

Los minerales son nutrientes esenciales para la vida en todas las especies de mamíferos. La biodisponibilidad mineral de las diferentes fuentes usadas en la alimentación animal es variable, y debe de ser considerada para determinar la exigencia dietética. Las exigencias netas de los diferentes minerales han sido determinadas experimentalmente y varios modelos son usados en la actualidad para poder determinar la exigencia de las diferentes especies y de individuos en diferentes estados fisiológicos. Los datos obtenidos en estos estudios deben ser usados con cautela y con un análisis previo de la situación, porque las condiciones tropicales con elevadas temperaturas pueden afectar la exigencia, normalmente, incrementándola, como sucede con algunos minerales. Las deficiencias en minerales tienen un impacto negativo sobre el desempeño animal. Existen algunas metodologías recomendadas para poder confirmar que, realmente, existe una deficiencia.

Por tanto, se recomienda siempre conocer la composición mineral de las pasturas, que constituyen la principal fuente de nutrientes, para poder realizar un manejo preciso, real y económico en la parte de nutrición mineral. Con la herramienta de los modelos, presentados en detalle, se puede precisar en este sentido.

Referencias

AFRC. 1991. A reapraisal of the calcium and phosphorus requirements of sheep and cattle. Agricultural and Food Research Council. Nutritions Abstrac Review: series B, 61:573-612 (Report, 6).

ARC. 1965. *The nutrient requirements of farm animals*. Technical Reviews and Summaries. Agricultural Research Council. London, ARC.

ARC. 1980. *The Nutrient requirements of farm livestock*. Agricultural Research Council, London, 351p.

BRAVO, D.; SAUVANT, D.; BOGAERT, C.; MESCHY, F. 2003. Quantitative aspects of phosphorus absorption in ruminants. *Reproduction Nutrition Development* 43(3):271-284. Disponible en URL: http://rnd.edpsciences.org/index.php?option=com_article&access=standard&Itemid=129&url=/articles/rnd/abs/2003/03/R3302/R3302.html

CSIRO. 2007. *Nutrient requirements of domesticated ruminants*. Collingwood, 270p.

DIAS, R. S.; ROQUE, A.P.; VITTI, D. M. S. S.; BUENO, I. C.; GODOY, P.B. 2007. Cinética do fósforo em tecidos de ovinos em crescimento alimentados com diferentes fontes de Ca. *Arquivos Brasileiros de Medicina Veterinária e Zootecnia* 145(1):203-209. Disponible em URL: <http://www.scielo.br/pdf/abmvz/v59n1/33.pdf>

GONZÁLEZ F, H. D. 2000. Uso do perfil metabólico para determinar o status nutricional em gado de corte. In: GONZÁLES, F.H.D. et al. *Perfil metabólico em ruminantes: seu uso em nutrição e doenças nutricionais*. UFRGS: Porto Alegre, p. 63-73.

GIORGIEVSKII, V. I. 1982. The physiological role of macroelements. In: GEORGIEVSKII, V. I.; ANNENKOV, B. N.; SAMOKHIN, V. I.; *Mineral nutrition of animals*. London: Butterworths, p.91-170.

INRA. 1990. *Alimentación de bovinos, ovinos y caprinos*. Madrid, Mundi-Prensa. 432p.

LOFGREEN, G. P.; KLEIBER, M. 1953. The metabolic fecal nitrogen excretion of the young calf and the true digestibility of casein. *Journal of Nutrition* 49: 183-190.

MC DOWELL, L. R.; 1997. *Minerals for grazing ruminants in tropical regions*. University of Florida. Third Edition. 81p.

NRC. 1996. *Nutrient Requirements of beef cattle*. 7th Revised Edition. National Research Council, National Academy Press 242 p.

NRC. 2001. *Nutrient requirements of dairy cattle*. 7th Revised Edition. National Research Council, National Academy Press, Washington, 408p.

NRC. 2007. *Nutrient requirement of small ruminants: Sheep, Goats, Cervids, and new world camelids*. National Research Council, National Academic Press, Washington, 362p.

OSPINA, H. P.; SILVEIRA, A. F. 1999. Exigências nutricionais e manejo da alimentação de bovinos de corte em pastejo. Em: *Ciclo de Palestras em Produção e Manejo de Bovinos de Corte*, 4., 1999, Canoas. Anais... Canoas: Editora da ULBRA, p. 7-26.

PATIÑO, R. M.; SOARES, T.; NASSER, M.; DA SILVA FILHO, J. C.; BUENO, I.; VITTI, D. M. M. S. 2008. Digestibilidad da matéria seca e absorcao aparente de fósforo em ovinos alimentados com diferentes níveis do mineral. Anais da 45ª reunião anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia. Médio magnético.

RINCÓN, A. Rehabilitación de pasturas y producción animal en *Brachiaria decumbens* en la altillanura plana de los llanos orientales de Colombia. Artículos científicos Corpoica. Acceso septiembre 12 de 2011. Disponible en URL: <http://www.corpoica.org.co/sitioweb/Archivos/oferta/REHABILITACINDEPASTURAS YPRODUCCINANIMALENBRACHIARIADECUMBENSENLAALTILLANURAPLANAD ELO.pdf>

TERNOUTH. J. H.; SEVILLA, C. C. 1990. Dietary calcium and phosphorus depletion of lambs. *Australian Journal of Agricultural Research* 41(2):413-420. Disponible en URL: <http://www.publish.csiro.au/paper/AR9900413.htm>

TERNOUTH, J. H.; BORTOLUSSI, G.; COATES, D. B.; HENDRICKSEN, R. E.; MC LEAN, R. W. 1996. The phosphorus requirements of growing cattle consuming forage diets. *Journal of Agricultural Science* 126(4):503-510. Disponible en URL: <http://journals.cambridge.org/action/displayAbstract;jsessionid=851B5E59506C91795432C667A76222D6.tomcat1?fromPage=online&aid=4802980>

UNDERWOOD, E.J.; SUTTLE, N. F. 2003. *Los minerales en la nutrición del ganado*. Zaragoza, Ed. Acribia, 637p.

VAN SOEST, P. J. 1994 *The Nutritional Ecology of the Ruminant*, 2nd edition. Cornell University Press, Ithaca, NY. 476p.

VITTI, D. M. S. S.; KEBREAD, E.; ABDALLA, A. L.; DE CARVALHO, F. F. R.; DE RESENDE, K. T.; CROMPTON, L. A.; FRANCE, J. 2000. A kinetic models of phosphorus metabolism in growing goats. *Journal of Animal Science* 78(10):2706-2716. Disponible en URL: <http://jas.fass.org/cgi/content/full/84/10/2787>