

LA PRESENCIA DEL PROFESOR DR. FERNANDO GARCIA
A LAS XXIII JORNADAS URUGUAYAS DE BUIATRIA
FUE POSIBLE GRACIAS A LA COLABORACION DEL UNIVERSAL LAB

**ELEMENTOS INORGANICOS
EN LA NUTRICION
DE ANIMALES RUMIANTES**

Fernando García Gómez¹

RESUMEN

Información general referente al metabolismo en rumiantes con referencia especial a las interrelaciones de magnesio y sodio. Se discute un medio para estudiar los requerimientos minerales.

INTRODUCCION

Los tejidos animales contienen minerales o elementos inorgánicos en cantidades y proporciones variables. Ellos están comprendidos en las cenizas obtenidas después de la calcinación de las respectivas muestras (Underwood, E.J. "The mineral Nutrition of Livestock Commonwealth Agricultura Bureaux, England. 1981").

Se puede clasificar en:

- a) Elementos esenciales, que son aquellos cuya carencia en la dieta producen síntomas de deficiencias (enfermedad carencial), produciéndose la imposibilidad para que el animal exprese su potencialidad productiva cuando falta en la dieta.
- b) Elementos probablemente esenciales, que serían aquellos que se encuentran presentes en los alimentos y en los tejidos animales y cuya función no ha sido descrita todavía.
- c) Elementos no esenciales que correspondería a aquellos no requeridos por el animal.

¹ Ing. Agr., U.C., M.S., PhD del Departamento de Zootecnia. P.
Universidad Católica de Chile.

Entre los esenciales y los no esenciales se pueden, además distinguir aquellos elementos que son tóxicos.

Hasta el momento, se piensa que 22 elementos inorgánicos son esenciales para animales superiores. Entre éstos se distinguen 7 elementos mayores o macro elementos: Calcio, Fósforo, Potasio, Sodio, Cloro, Magnesio y Azufre; y 15 micro elementos o elementos trazas: Hierro, Yodo, Zinc, Cobre, Manganeso, Cobalto, Molibdeno, Selenio, Cromo, Estaño, Vanadio, Fluor, Silicio, Níquel y Arsénico. La esencialidad de los 6 últimos, según Underwood (1981), está basada casi exclusivamente en efecto en el crecimiento de animales en condiciones altamente especializadas.

Las raciones alimenticias que se calculan en condiciones prácticas, para rumiantes, en general consideran satisfacer los requerimientos para los macro nutrientes, Proteína Cruda, Energía Metabolizable y Fibra Cruda, agregando eventualmente requerimientos para Calcio y Fósforo y para algún otro elemento inorgánico. Sin embargo, teniendo en cuenta que para animales de alta producción, o en condiciones especiales en que se esté trabajando en zonas donde existe algún tipo de deficiencia en el suelo y por consiguiente en el forraje, se hace necesario incluir requerimientos para otros elementos. Por otra parte, al ir variando la composición de la dieta para lograr la satisfacción de requerimientos de los macro nutrientes, se establece una alteración en la proporción de algunos nutrientes, los que a su vez influirán en los requerimientos de algunos elementos inorgánicos. Este hecho hace necesario identificar las interrelaciones entre los diversos macro y micro nutrientes que compondrán las dietas de los animales.

Entre las funciones generales que cumplen los elementos inorgánicos, básicamente se distinguen las siguientes:

- a) Son componentes estructurales de órganos y tejidos corporales. En este sentido está clara la participación del Calcio, Fósforo, Magnesio, Fluor y Silicio como componentes esenciales de huesos y dientes, como también la participación del Fósforo y del Azufre en los tejidos blandos.
- b) Están presentes en los fluidos corporales y tejidos donde cumplen funciones tales como, mantención de la presión osmótica, del equilibrio ácido: base, de la permeabilidad de las membranas y de la irritabilidad tisular. En este sentido está clara la participación del Sodio y del Potasio en el transporte activo a través de la membrana celular, la participación del Calcio y del Magnesio en las transmisiones nerviosas, la participación del Cloro en las secreciones gástricas, etc.
- c) Son catalizadores enzimáticos, formando parte de metalo-enzimas o componentes o activadores específicos de hormonas. Ejemplos relacionados a esta función general son muchos: Hierro y Cobre juegan un papel fundamental a nivel de citocromos para el transporte de electrones; Zinc participa activamente en la formación del CO₂ y en el metabolismo del alcohol etílico al ser componente de los sistemas enzimáticos que involucran a las enzimas Anhidrasa Carbónica y Deshidrogenasa Alcohólica respectivamente; Manganeso es un activador de la enzima Carboxilasa Pirúvica; Magnesio actúa como activador en varias decenas de reacciones relacionadas con el metabolismo carbohidratos; Cobalto es un componente de la Vitamina B12, la que funciona como co-enzima; Yodo es un componente de la Hormona Tiroxina.

FUENTES DE MINERALES

Por lo general, los animales rumiantes obtienen los minerales a través de la dieta, la que está compuesta en su mayoría por forrajes y eventualmente por concentrados. Por consiguiente el suministro de elementos inorgánicos dependerá de la presencia y de la disponibilidad de ellos, en el alimento que consumen.

La presencia y disponibilidad de minerales en los forrajes y granos que consumen los rumiantes es variable y depende de la riqueza del suelo y de la fertilización, de la especie de la planta, de su estado vegetativo y de las condiciones ambientales al momento de la cosecha.

El efecto del suelo en el contenido mineral de la planta es extraordinario. Esta reacciona ya sea limitando su crecimiento o desarrollando su potencial genético al máximo cuando encuentra los nutrientes en forma limitada o en cantidades adecuadas, respectivamente. Cuando se enmiendan, y se fertilizan los suelos con cantidades adecuadas de elementos inorgánicos y cuando existen las condiciones climáticas requeridas, la planta responde con un mayor crecimiento, pudiendo además aumentar la concentración en el o los elementos aplicados.

Desde el punto de vista de la nutrición del animal, el estado vegetativo de las plantas que está consumiendo el ganado es determinante en el consumo de elementos inorgánicos disponibles. Estos varían según el estado vegetativo de la planta, y muchos de ellos disminuyen conforme la planta madura. En este sentido, es conocido el hecho que el Fósforo y el Potasio disminuyen significativamente cuando la planta alcanza la madurez. Otros elementos tales como el Magnesio, Manganeseo, Cobalto, Hierro, Cobre y otros disminuyen, pero lo hacen en un menor grado. Existen ejemplos, como son el caso del Calcio y del Silicio, que pueden aumentar con la madurez de la planta. Estos hechos hacen que, con cambios de estación y, por consiguiente, con cambios en el estado vegetativo de las plantas, se produzcan alteraciones en la nutrición mineral de los animales y eventualmente se consiga una menor producción animal e incluso síntomas de deficiencias. En zonas templadas, es conocido el problema causado por la hipomagnesemia o "tetania de los pastos", la que ocurre preferentemente en vacas lecheras adultas y de alta producción a salidas de invierno o comienzos de la primavera, cuando están consumiendo forrajes tiernos y suculentos que han sido fertilizados fuertemente con Nitrógeno y con Potasio previo a la estación de máximo crecimiento de los forrajes. Este último ejemplo demuestra la interacción entre diversos nutrientes y la atención que hay que prestar cuando se alimentan rumiantes para una alta producción.

Por otra parte, al profundizar los estudios de la nutrición mineral en rumiantes, se tiene que considerar la disponibilidad de los diversos elementos inorgánicos. De esta manera, a medida que los animales alcanzan la madurez fisiológica la capacidad para absorber los elementos disminuye, o éstos se hacen menos disponibles para ser absorbidos. Se ha dado el caso que la disponibilidad del Magnesio puede disminuir de un 70% en terneros lactantes a un 40% en novillos. Además, existe diferencia entre la disponibilidad de un elemento cuando éste se encuentra en el forraje o en el grano.

El determinar la disponibilidad mineral en los alimentos para el ganado es difícil, dado los factores que intervienen. La investigación con minerales requiere ser hecha durante períodos bastantes largos o con controles a diversos niveles. Los ensayos cuantitativos de digestibilidad presentan ciertos resultados que no pueden generalizarse con mucha facilidad. Esto es debido a que las heces fecales constituyen una importante, pero variable, vía de

excreción de minerales. Los elementos que se encuentran en ella representan aquellos que no fueron absorbidos y aquellos que fueron absorbidos y metabolizados previamente.

DETECCION DE DEFICIENCIAS MINERALES

Una deficiencia mineral produce ciertos síntomas que se pueden identificar. Estos se refieren a síntomas clínicos, cuya característica está dada por anomalías producidas donde el elemento cumple funciones primordiales. Por lo general, los síntomas clínicos se vienen a detectar cuando la deficiencia ha sido severa o prologada, a diferencia de los síntomas subclínicos que son más difíciles o imposibles de detectar a simple vista y usualmente requieren de otro tipo de análisis que se usan complementariamente a la observación de la menor producción que se puede obtener.

En la actualidad, en aquellos rebaños manejados de acuerdo a estándares de sistemas productivos es difícil que se presenten síntomas clínicos. Sin embargo, con la mayor productividad animal, es posible que se produzcan deficiencias sub-clínicas. En estos casos, si las condiciones económicas lo permitieran, el productor debería no tan sólo basarse en el rendimiento animal para detectar deficiencia sub-clínicas sino que podría hacer uso de análisis fecales, urinares y sanguíneos.

Debido a la homeostasis de un gran número de elementos se hace difícil basarse solamente en los análisis sanguíneos, aunque éstos son de gran ayuda para interpretar resultados experimentales, especialmente cuando entre los parámetros analizados se incluyen los propios elementos inorgánicos, además de metabolitos sanguíneos y enzimas.

El uso de análisis de orina presenta ciertas ventajas para algunos elementos inorgánicos, especialmente para el caso del Fósforo, que tiende a no ser excretado por la crina cuando el animal esté consumiendo dietas deficientes en este elemento.

A continuación, en el Cuadro 1, se presentan algunos valores normales de ciertos metabolitos en sangre y en orina de rumiantes (bovinos y ovinos). Estos datos se han obtenido de trabajos realizados en el Departamento de Zootecnia (Proyecto FOMECYT 0213-88), siendo complementados con información obtenida de Kaneko (Kaneko, J.J. - Clinical Biochemistry of Domestic Animals. 4th ed., Academic Press, Inc. San Diego, Cal., 1989).

Valores menores a los señalados en el Cuadro indicarán una nutrición deficiente en el elemento inorgánico respectivo u otro problema patológico digno de estudiar para mantener en una buena situación el sistema productivo.

CUADRO 1.-

CUADRO 1. VALORES NORMALES DE METABOLITOS SANGUINEOS Y URINARIOS EN RUMIANTES			
METABOLITO EN SANGRE	UNIDAD	BOVINOS	OVINOS
Aspartato Aminotransferasa (GOT)	mU/l	78-132	93-245
Calcio	mg/100ml	9.7-132	11.5-12.8
Colesterol total	mg/100ml	80-120	52-76
Fosfatasa alcalina	U/l	0-488	68-387
Fósforo inorgánico	mg/100ml	5.6-6.5	5.0-7.3
Glucosa	mg/100ml	45-75	50-80
LDH	U/l	692-1445	238-440
Magnesio	mEq/l	1.8-2.3	2.2-2.8
N-ureico	mg/100ml	20.30	8-20
Potasio	mEq/l	3.9-5.8	3.9-5.4
Proteína total	g/l	87.4-74.8	60-79
METABOLITO EN ORINA			
Calcio	mg/Kg/d	0.1-1.4	2.0
Fósforo	mg/Kg/d	----	0-0.2
Magnesio	mg/Kg/d	3.7	4-7
N-ureico	mg/Kg/d	23-28	98
N-total	mg/Kg/d	40-460	120-350
Potasio	mg/Kg/d	3-6	21-119
Sodio	mg/Kg/d	4.6-23.0	3-91

Fuentes: Kaneko, 1989; Proyecto FONDECYT 0213-88

DETERMINACION DE REQUERIMIENTO MINERAL EN RUMIANTES

Posiblemente los métodos que mejor resultados han dado, para estimar los requerimientos de minerales en rumiantes, son aquellos que incluyen balances minerales. Es decir, la diferencia entre el mineral consumido y la excreción total de éste, en heces fecales y en orina.

Para estimular los requerimientos para mantención se ha extrapolado, a 0 consumo del nutriente, los resultados obtenidos al alimentar los animales con dietas con diversos contenidos del elemento. El uso de esta técnica sin determinar el punto donde se producen balances negativos induce a errores y sub estima el requerimiento. Por lo tanto lo correcto será designar como requerimiento de mantención a aquel valor que produzca un balance igual a 0.

Al requerimiento de mantención se le agregará lo que se necesite para crecimiento y producción. La cantidad neta del elemento que se deposite en la ganancia del peso (tejidos duros y blandos) o en el producto (leche, lana) determinará la cantidad del elemento requerida para crecimiento y producción.

Al expresar la cantidad total del elemento inorgánico que debiera tener la dieta se deberá corregir por la disponibilidad de cada elemento para así tener un aporte adecuado.

REQUERIMIENTO DE CALCIO

Alrededor del 99% del Calcio se encuentra en el esqueleto y dientes y el resto se distribuye en los fluidos y tejidos blando del organismo donde cumple diversas funciones esenciales.

El Calcio está presente como ión libre, ligado a proteínas séricas y formando parte de ácidos orgánicos e inorgánicos. El Calcio iónico cumple funciones fisiológicas, tales como conducción nerviosa y mantención de la contracción y relajación muscular. Actúa además, como un co-factor enzimático y juega un papel en la coagulación sanguínea.

Este es uno de los elementos críticos en la dieta de rumiantes, especialmente en el ganado lechero. Por una parte, al adoptar sistemas de crianza artificial de terneras de reemplazo donde usualmente se restringe la dieta en base de leche o de sustituto, el preocuparse de este nutriente es fundamental. Por otra parte, cuando se trabaja con vacas lecheras de alta producción, donde existe una diaria excreción de Calcio en la leche en cantidades apreciables, la nutrición de los animales con Calcio es vital dado los problemas que acarrea una alimentación deficitaria en este elemento. Por lo tanto, existirán dos etapas críticas, una de ellas durante el período de crianza y la otra durante la fase de mayor productividad de la lactancia en la que el aporte de nutrientes de la dieta es menor a los requerimientos del animal.

Para determinar las necesidades de los animales existen diversas "Tablas de Requerimientos", las que se han basado en resultados de una larga serie de ensayos nutricionales, los que han empleado diversas técnicas experimentales. La mayoría de ellas indican la relación que existe en la nutrición del Calcio con la del Fósforo y la Vitamina D.

De acuerdo a Underwood (The Mineral Nutrition of Livestock, CAB, 2nd. Edition, 1981. England, 176p) el calcio no es un problema regional, como lo es el Fósforo en animales a pastoreo. Esto se debe a que por lo general, la mayoría de los pastos y forrajes contienen más Calcio que Fósforo, dado que suelos pobres en Calcio son menos comunes que suelos pobres en Fósforo y a que cuando la planta avanza hacia la madurez, los niveles de Calcio no disminuyen tan dramáticamente como lo hace el Fósforo. Sin embargo, puede ocurrir una deficiencia de Calcio en animales altamente productivos, cuando pastorean praderas en regiones húmedas, sobre suelos arenosos y cuando el forraje contiene cantidades inferiores a 0.2% de Calcio en base a materia seca.

Síntomas aparentes de cantidades insuficientes de Calcio en la dieta de animales incluyen un menor crecimiento o productividad (carne o leche). Por otra parte, un manejo inadecuado de la dieta con respecto al Calcio puede producir Fiebre de Leche o Hipocalcemia en vacas al inicio de su lactancia. Deficiencias prolongadas de este nutriente afectarán el crecimiento normal del tejido óseo. Algunos de estos síntomas no son característicos de una deficiencia de Calcio por lo

recurrirse al análisis de cambios que se producen en otros tejidos (sangre) y excreciones (orina).

ENSAYO CON OVINOS

En su ensayo con corderos (Proyecto FONDECYT 0213-88) de aproximadamente 1 año de edad, mantenidos en jaulas metabólicas se alimentaron, durante diversos períodos, corderos con diferentes cantidades de Calcio, las que variaron entre 7 a 60 mg/Kg de peso vivo. Al determinar los respectivos balances de Calcio se observó que éstos fueron negativos cuando el suministro del nutriente fue de 52 mg/kg de peso vivo. De acuerdo a estos resultados, ese sería el requerimiento de mantención para Calcio en la dieta.

Church (Digestivo Physiology and Nutrition of Ruminants, Vol.2.p426. Oregon State Univ., 1971) indica que, de fuente obtenida de las Tablas del NRC, el requerimiento de Calcio para ovejas y vacas a mantención se sitúa alrededor de 0,2% de la materia seca. Considerando un consumo de materia seca para mantención equivalente a 2.5% a 2.8% del peso vivo, se concluye que la recomendación de a Calcio está alrededor de los 50mg/Kg. de peso vivo para ambas especies. Sin embargo, en la publicación del NRC de 1978 para vacas lecheras nutrient requirements of Dairy Cattle. NCR, NAS, Wash.D.C., 1978), la recomendación para vacas a mantención varía entre 34 a 40 mg/Kg de peso vivo y entre 59 a 66 mg/Kg de peso vivo para el período seco. Variaciones entre estas recomendaciones son explicables dado los métodos usados y las explicaciones del NRC son claras al afirmar que los valores para el caso de los minerales son solo guías y no debieran ser usadas como "una base legal o regulatoria".

Para el caso de querer establecer requerimientos de minerales dentro del contexto del presente trabajo relacionado con Sistemas de Producción, parece adecuado considerar los resultados de nuestro trabajo (Proyecto FONDECYT 0213-88), el que establece en 52 mg/Kg de peso vivo el requerimiento de Calcio para mantención. A esta cantidad habrá que agregarse los requerimientos para crecimiento, reproducción y/o lactancia, cuando corresponda.

REQUERIMIENTO DE FOSFORO

Alrededor del 80% del Fósforo está presente en huesos y dientes, mientras que el 20% restante se distribuye en el resto de los tejidos del organismo animal.

El papel del Fósforo es vital, no tan solo por ser un componente de huesos y dientes, sino que por ser un componente de ácidos nucleicos, por ayudar en la síntesis de aminoácidos y proteínas, por ser primordial en la mantención de la presión osmótica, del equilibrio ácido:base, por ser un componente de los fosfolípidos y por ser vital para la utilización y transferencia de la energía (formación de ATP y de compuestos ricos en energía). Por consiguiente, una deficiencia de Fósforo en la dieta de los animales causa una serie de trastornos, incluyendo una disminución del apetito, del crecimiento de los microorganismos ruminales, del aprovechamiento de la dieta y de la productividad animal.

En forma similar que para el caso del Calcio, se realizó una serie de pruebas con ovinos (Proyecto FONDECYT 0213-88) en la que se determinó que el requerimiento mínimo de Fósforo para mantención era de 28.5 mg/kg de peso vivo. Información para vacas lecheras (NRC, 1978) indican requerimientos de Fósforo para mantención variables entre 26.2 a 32.5 mg/kg de peso vivo. De acuerdo a lo anterior, aparentemente se puede extrapolar para vacas lecheras resultados

obtenidos para el caso de ovinos, dado que el promedio de las sugerencias del NRC es de 29.5 mg/kg de peso vivo.

Por lo tanto, al igual que lo explicado anteriormente, al desear establecer requerimientos para Fósforo en cualquier estado fisiológico del animal, al requerimiento mínimo establecido para mantención se le deberá agregar el correspondiente para aquella función que corresponda.

REQUERIMIENTO DE MAGNESIO

El magnesio es un macroelemento inorgánico esencial en la nutrición animal. Se encuentra en una proporción de aproximadamente 0,05 % del cuerpo del animal, del cual entre el 60 al 70 % está en el esqueleto y solamente un 1 % en el fluido extracelular; el resto se encuentra en los tejidos blandos (García, F., R. Campos y J. Grijalva - Efecto del consumo de Potasio sobre la digestibilidad de la dieta y metabolismo del Magnesio en corderos. Cienc, Inv. Agr., 17(3): 97-106, 1990). Participa en aproximadamente 30 reacciones enzimáticas, siendo particularmente importante en el metabolismo de carbohidratos y lípidos.

Son muchos los factores que afectan los requerimientos de Magnesio. Aparentemente, altos niveles de Potasio en la dieta de rumiantes afectan el metabolismo del Magnesio, produciendo síntomas de deficiencia de este nutriente. Además se han descrito condiciones de hipomagnesemia en animales de alta productividad consumiendo forrajes tiernos al inicio de la primavera. Otros nutrientes tales como Sodio, Nitrógeno, Calcio, Fósforo, Aluminio y carbohidratos solubles también estarían interactuando con el metabolismo del Magnesio (Chicco, C.G., C.B. Ammerman, J.P. Feaster y B.C. Dunavant-Nutritional interrelationship of dietary Calcium, Phosphorus and Magnesium in sheep. - J. Animal Sci., 36:988-993, 1973; Fontenot, J.P., M.B. Wiss y K.E. Webb- Interrelationship of Potassium, Nitrogen and Magnesium in ruminants. - Federation Proc., 32:1925-1928, 1973; Giduk, S.A. J.P. Fontenot- Influence or readily available carbohydrate on Magnesium excretion in man, J. Appl. Physiol., 22:136-143, 1984). Es interesante el hecho que un exceso de Potasio pueda causar tetania nutricional, particularmente cuando el contenido de Potasio es alto en comparación con el contenido de Magnesio. La dieta de rumiantes generalmente contiene cantidades suficientes de esos nutrientes para cubrir sus requerimientos, por lo que el problema parecería radicar, más bien, la relación entre estos dos nutrientes en la materia seca consumida. De acuerdo a Wise (Wise, M.B., A.L. Ordoveza y E.R. Barrick-Influence of variation in dietary Calcium: Phosphorus ratio of performance and blood constituents of calves. J. Nutrition, 79: 79-85, 1993) y a Chicco y colaboradores (Ibid. 1973), el consumo de Fósforo tiene sólo un pequeño efecto sobre el metabolismo del Magnesio. Este efecto se observaría en dietas con bajos niveles de Calcio y altos niveles Fósforo, donde disminuiría el Magnesio sérico.

De acuerdo a NRC (1978) consumos de 12 a 16 mg de Magnesio por Kg de peso vivo serían suficientes para mantener niveles normales de Magnesio sérico en terneros lactantes y el requerimiento para mantención de vacas lecheras lo sitúan en alrededor de 4 mg. de Magnesio disponible por Kg. de peso vivo. La disponibilidad de Magnesio para vacas lecheras lo sitúan cercano al 20%, lo que representaría alrededor de 20mg/kg de peso vivo de Magnesio total. En terneros lactantes la disponibilidad del Magnesio de la dieta es de aproximadamente 40%.

En los ensayos del Proyecto FONDECYT 0213-88, realizados con corderos, se obtuvo un requerimiento para mantención de 28 mg/kg de peso vivo como Magnesio total.

REQUERIMIENTO DE POTASIO

El Potasio es uno de los elementos relacionados con la irritabilidad nerviosa y junto con el Sodio está directamente relacionado con el transporte activo a través de las membranas.

Se sabe de varias enzimas relacionadas con el metabolismo de carbohidratos que son Potasio dependientes.

Con respecto a requerimientos por Potasio en rumiantes a mantención, no hay disponibilidad de datos exactos aunque existen trabajos en los que se han estimado los requerimientos para mantención, habiendo alimentado animales rumiantes con cantidades variables en la dieta. En el libro de Church (1971) aparecen valores de 50 a 64 mg/kg de peso vivo para ovinos y de 80 a 133 mg/kg de peso vivo para bovinos. En los ensayos del Proyecto FONDECYT 0213-88 se encontró que balances negativos se produjeron cuando los corderos comieron menos de 80 mg/kg de peso vivo.

RELACION ENTRE MAGNESIO, POTASIO, SODIO y UREA

Según lo informado recientemente (García, F. y M. Mendel- Diagnóstico de la Nutrición Mineral y estimación de requerimientos en rumiantes.- Cienc. Inv. Agr., 20:1 81.1993), se alimentaron corderos mantenidos en jaulas de metabolismo con una dieta base similar a las descritas por otros ensayos (García, F., R. Campos y J. Grijalva- Efectos de la adición de NaCl, urea y ambos a dietas deficientes en Calcio, Fósforo y Nitrogeno sobre el aprovechamiento de la dieta y metabolismo del magnesio.- Cienc. Inv. Agr., 17:55-64.1990 y García, F., R. Campos y J. Grijalva- Efecto del consumo de Potasio digestibilidad de la dieta y metabolismo del magnesio de corderos. Cienc. Inv. Agr., 17:97-106.1990). Se usaron dos niveles de magnesio: 20 y 50 mg/kg de peso vivo y niveles variables de potasio, desde 50 mg/kg a 450 mg/kg de peso vivo. Se observó que se produjeron balances negativos de Magnesio al suministrar 50mg/kg de peso vivo de Potasio y niveles de 20 mg/kg de peso vivo de Magnesio. Este resultado se esperaba dado que se suministró una cantidad menor a los 28 mg de Magnesio requeridos para mantención. Sin embargo, al adicionar Urea a la dieta con 20 mg/kg de peso vivo de Magnesio o Urea más MaCl, balances negativos de Magnesio se obtuvieron con 240 y con 350 mg/kg de peso vivo de Potasio, respectivamente. Por otra parte, al aumentar el nivel de Magnesio a 50 mg/kg de peso vivo, se produjo un balance negativo de Magnesio con 175 mg/kg de Potasio y al adicionar además, Urea más NaCl, el balance negativo de Magnesio se produjo con 400mg/kg de Potasio.

Lo anterior sugiere una interrelación entre esos nutrientes que harán variar los requerimientos minerales para mantención y probablemente, también los de producción. Por consiguiente, al establecer dietas para los sistemas productivos que se deseen desarrollar, se deberá tener en cuenta estas interrelaciones, además de otras que puedan existir.

Cuando se establecieron los requerimientos para Magnesio y Potasio en corderos a mantención, se obtuvo 28 mg/kg para el primero y 80 mg/kg para el segundo, lo que determinó una relación Magnesio:Potasio de 1 a 2.9. Al aumentar el suministro de Magnesio a 50 mg/kg de peso la relación fue de 1 a 3.5. Al agregar 0,5% de Urea a la ración con 20 mg de Magnesio, la relación Mg a K fue de 1 a 12, lo que sugiere un mejor aprovechamiento del Magnesio, cuando se incrementa el contenido de Proteína cruda de la dieta de 4.7 a 7.2% aproximadamente. Esto, posiblemente debido al mayor uso de Magnesio por el aumento en el crecimiento microbiano ruminal producido al aumentar la cantidad de Nitrógeno total de la dieta.

D.10. Elementos inorgánicos en la nutrición...

Con la adición de urea más NaCl a dietas que contenían 20 mg de Magnesio, la relación Mg a K fue de 1 a 17.5. Y cuando se adicionó Urea más NaCl a dietas con 50 mg de Magnesio, la relación fue de 1 a 8.

De lo anterior se desprende que con niveles normales de Proteína Cruda en la dieta y a bajos consumos de Magnesio (cerca de los 28 Mg/Kg de peso), la cantidad máxima de Potasio de la dieta no debe ser superior a 12 veces el contenido de Magnesio. Por otra parte, a cantidades mayores de Magnesio (alrededor de 50 mg/Kg) en la dieta, la cantidad de Potasio no debe ser superior a 8 veces la cantidad de Magnesio. Para efectos prácticos, se puede sugerir mantener una relación no superior de 1 a 10. En casos que la cantidad de Potasio sea mayor, por el tipo de alimentos que se deba utilizar, se sugiere la adición de sales de Magnesio, y/o de NaCl y de proteínas degradable a nivel ruminal, para que el efecto del Potasio sobre el metabolismo del Magnesio se atenúe.

EJEMPLOS PARA ESTIMAR REQUERIMIENTOS DE MINERALES

A continuación, se darán algunos ejemplos de estimación de requerimientos, siguiendo una secuencia lógica para conformar un algoritmo que puede incluirse en un modelo general.

Para esto se necesita saber el estado fisiológico del animal, en este caso una vaca lechera. Esto significa, que se necesita saber la edad del animal, su producción diaria de leche y su estado reproductivo. Con la edad, se determinará el crecimiento que le corresponde en ese momento y el contenido mineral en los tejidos corporales que determinan el crecimiento, lo que nos da la cantidad del mineral retenido para el crecimiento. Con la producción diaria de leche, se determina la cantidad del nutriente que se secreta diariamente y con el estado de gestación sabremos la cantidad del mineral retenido en el feto. Todo lo anterior nos da la cantidad neta del elemento inorgánico requerido por el animal para sus funciones productivas, por sobre las necesidades de mantención. Ahora bien, para estimar la cantidad del nutriente a aportar en la dieta, se deberá corregir por la disponibilidad del nutriente en el alimento.

Se sabe que la disponibilidad de los elementos inorgánicos, en términos generales, es menor en los forrajes que en los concentrados y que la disponibilidad también se ve afectada por la edad del animal, disminuyendo conforme el animal avanza hacia su madurez fisiológica. Estos antecedentes deberán ser tomados en cuenta para la estimación total de requerimiento.

El ejemplo se hará tomando el caso de una vaca de la raza Holandés Americano, que en este momento tiene 31 meses de edad, cuyo parto se produjo a los 24 meses de edad y que quedó preñada a los 90 días post parto y cuya potencialidad a la primera lactancia es de 6.800 lts. con 3.5% de materia grasa.

1. Cálculo de la productividad de leche promedio diaria.

Para este cálculo, se puede tomar en cuenta que dicha vaca producirá el 45% del total de leche durante el primer tercio de la lactancia, el 32% durante el segundo tercio y el 23% durante el tercer tercio de la lactancia. Esto significa que el promedio diario durante cada tercio es el siguiente:

Primer tercio	-	30,60 litros
Segundo tercio	-	21.76 litros
Tercer tercio	-	15.64 litros

Por otra parte, se sabe que el promedio de disminución mensual de leche es alrededor del 10% de la producción del mes anterior, medidos después de la máxima productividad diaria. Por lo tanto al séptimo mes de lactancia, la producción promedio diaria será aproximadamente de 17.25 litros diarios.

Lo anterior también puede calcularse usando la curva de lactancia de la vaca.

2. Cálculo del peso corporal de la vaca.

Haciendo uso de los datos disponibles sobre el crecimiento promedio de hembras de la raza Hostein Friesien en Chile (García., F. Requerimiento de proteína en ganado lechero, en Cap. 2, "Simulación de temas pecuarios" IICA-RISPAL, San José, Costa Rica, 1992) se ha estimado que la tasa de crecimiento entre 24 y 36 meses es de 164.38 g/día, por lo que a los 31 meses de edad la vaca pesará alrededor de 475 Kg., manteniendo la misma ganancia diaria.

La composición mineral promedio de la ganancia de peso es aproximadamente la siguiente (NRG, 1978-Nutrient Requirements of Dairy Cattle):

	%
Calcio	2.88
Fósforo	1.51
Potasio	0.39
Magnesio	0.34

3. Cálculo del peso y retención mineral del feto.

Tomando en cuenta la composición mineral del feto a término, el que contiene 1.75% de Calcio, 0,97% de Fósforo, 0,25% de Potasio y 0,05% de Magnesio, se estimó la retención de esos minerales durante la segunda mitad de la gestación.

4. Composición promedio de la leche de vaca.

Se pueden usar los siguientes datos para tomar en cuenta los diversos componentes de la leche en el eventual cálculo de requerimientos de los animales:

	%
Agua	87.50
Materia seca	12.50
Lactosa	8.00
Materia grasa	3.50
Proteína	3.20
Minerales	0.80
Calcio (mg)	125.00
Fósforo (mg)	100.00
Potasio (mg)	138.00
Magnesio (mg)	12.00

De los antecedentes anteriores se puede proceder a estimar los requerimientos totales para la vaca del ejemplo. Para ello puede asumirse una disponibilidad para el Calcio y Fósforo del 30% y para Magnesio y Potasio del orden del 50%. En este sentido todavía se

D.12. Elementos inorgánicos en la nutrición.

necesitan mayores antecedentes de la disponibilidad mineral para cada uno de estos casos, dado a que existen muchos factores que afectarán la disponibilidad de los elementos inorgánicos, tales como edad de los animales, especie y estado vegetativo de las plantas, relación forraje-concentrado en la dieta, tipo de suplemento mineral (orgánico o inorgánico), relación entre los diversos elementos, etc.

5. Composición de la ganancia de peso.

De acuerdo a antecedentes de la literatura, la composición mineral promedio de la ganancia de peso es aproximadamente la siguiente:

Calcio	2.88
Fósforo	1.81
Potasio	0.38
Magnesio	0.34

CÁLCULO DE REQUERIMIENTO DE LA VACA DEL EJEMPLO

EJEMPLO A

1.		CONSUMO DE ALIMENTO	
Req. Ca=	0.052 (g/Kg de p.v.)	* 475 (Kg)	/ 0.3 = 82.3 g/d
Req. P =	0.0285 (g/Kg de p.v.)	* 475 (Kg)	/ 0.3 = 45.1 g/d
Req. K =	0.08 (g/Kg de p.v.)	* 475 (Kg)	/ 0.5 = 76.0 g/d
Req. Mg=	0.028 (g/Kg de p.v.)	* 475 (Kg)	/ 0.5 = 25.6 g/d
2.		PRODUCCIÓN DE LECHE	
Req. Ca=	0.125 (g/l)	* 17.25 (l)	/ 0.3 = 7.19 g/d
Req. P =	0.100 (g/l)	* 17.25 (l)	/ 0.3 = 5.75 g/d
Req. K =	0.138 (g/l)	* 17.25 (l)	/ 0.3 = 4.76 g/d
Req. Mg=	0.012 (g/l)	* 17.25 (l)	/ 0.5 = 0.41 g/d
3.		EFECUAMENTO	
Req. Ca=	0.0288	* 164.4 (g/d)	/ 0.3 = 15.8 g/d
Req. P =	0.0151	* 164.4 (g/d)	/ 0.3 = 8.3 g/d
Req. K =	0.0039	* 164.4 (g/d)	/ 0.5 = 1.3 g/d
Req. Mg=	0.0034	* 164.4 (g/d)	/ 0.5 = 1.1 g/d
REQUERIMIENTOS TOTALES:			
Calcio	=	105.3 g/d	
Fósforo	=	59.1 g/d	
Potasio	=	82.1 g/d	
Magnesio	=	28.1 g/d	

EJEMPLO B

Si utilizamos la misma vaca del ejemplo pero ahora con 5,5 meses de gestación o sea 32,5 meses de edad los requerimientos son los siguientes:

1. MANTENCION	
Req. Ca= 0.052 (g/Kg de p.v.)	* 482 (Kg)/0.3 = 83.5 g/d
Req. P = 0.0285 (g/Kg de p.v.)	* 482 (Kg)/0.3 = 45.8 g/d
Req. K = 0.08 (g/Kg de p.v.)	* 482 (Kg)/0.5 = 77.1 g/d
Req. Mg= 0.028 (g/Kg de p.v.)	* 482 (Kg)/0.5 = 27.0 g/d
2. PRODUCCION DE LECHE	
Req. Ca= 0.125 (g/l)	* 15.64 (l)/0.3 = 6.51 g/d
Req. P = 0.100 (g/l)	* 15.64 (l)/0.3 = 5.21 g/d
Req. K = 0.138 (g/l)	* 15.64 (l)/0.5 = 4.32 g/d
Req. Mg= 0.012 (g/l)	* 15.64 (l)/0.5 = 0.37 g/d
3. CRECIMIENTO	
Req. Ca= 0.0288	* 164.4 (g/d) / 0.3 = 15.8 g/d
Req. P = 0.0151	* 164.4 (g/d) / 0.3 = 8.3 g/d
Req. K = 0.0039	* 164.4 (g/d) / 0.5 = 1.3 g/d
Req. Mg= 0.0034	* 164.4 (g/d) / 0.5 = 1.1 g/d
4. REPRODUCCION	
Req. Ca= 1.7 (g/d)	/0.3 = 5.7 g/d
Req. P = 0.9 (g/d)	/0.3 = 3.0 g/d
Req. K = 0.2 (g/d)	/0.5 = 0.4 g/d
Req. Mg= 0.05 (g/d)	/0.5 = 0.1 g/d
REQUERIMIENTO TOTAL	
Calcio	= 111.5 g/d
Fósforo	= 62.3 g/d
Potasio	= 83.1 g/d
Magnesio	= 28.6 g/d

SUMMARY

General information regarding mineral metabolism in ruminant animals with special reference to calcium, phosphorus, magnesium and sodium interrelations is presented. A mean to estimate mineral requirements is discussed.

BIBLIOGRAFIA

- CHICCO, C.G., C.B. ALGERMAN, J.P. FEASTER Y B.C. DUNAVANT - Nutritional interrelationship of dietary Calcium, Phosphorus and Magnesium in sheep. - J. Animal Sci., 36:986-993. 1973.
- CHUR, D.C. Digestive Physiology and Nutrition of Ruminants, Vol.2.p426. Oregon State Univ. Press, 1971.
- FONTENOT, J.P. - Influence of readily available carbohydrates on Magnesium excretion in man. - J.APPL.PHYSIOL., 22:136-143.1984.
- FONTENOT, J.P., M.B. WISS y K.E.WEBB - Interrelationship of Potassium, Nitrogen and Magnesium in ruminants. - Federation Proc., 32:1925-1973; GIDUK, S.A.
- GARCIA, F. - Requerimientos de proteína en ganado lechero, en Cap.2, "Simulación de Sistemas Pecuarios" - I.I.C.A-RISPAL, San José, Costa Rica, 1992.
- GARCIA, F., R. CAMPOS y J. GRISALVA - Efectos de la adición de NaCl, urea y ambos a dietas deficientes en Calcio, Fósforo y Nitrógeno sobre el aprovechamiento de la dieta y metabolismo del Magnesio. - Cienc. Inv. Agr., 17:55-G4.1990.
- GARCIA, F., R. CAMPOS y J. GRISALVA - Efecto del consumo de Potasio sobre la digestibilidad de la dieta y metabolismo del Magnesio en corderos. Cienc. Inv. Agr., 17(3):97-106.1990.
- GARCIA, F. y M. MENDEL - Diagnóstico de la nutrición mineral y estimación de requerimientos en rumiantes. Cienc. Inv. Agr., 20:161-181, 1993.
- KANEKO, J.J. - Clinical Biochemistry of Domestic Animals. 4th ed., Academic Press, Inc. San Diego, Cal., 1989.
- NRC de 1978 para vacas lecheras (Nutrient requirements of Dairy Cattle. NRC, NAS. Wash. D.C., 1978.
- Proyecto FONDECYT 0213-80 - Factores nutricionales y ambientales que condicionan la hipomagnesemia en rumiantes. Metabolismo del magnesio y su relación con nivel energético, sodio, potasio y fósforo de la dieta. Informes de avance 1989, 1990 y 1991.
- UNDERWOOD, E.J. - The Mineral Nutrition of Livestock. Commonwealth Agricultural Bureaux, England, 2nd. edition. 176p. 1981.
- WISE, M.B.A. ORDOVEZA y E. R. BARRICK - Influence of variations in dietary Calcium, Phosphorus ratio on performance and blood constituents of calves. J. Nutrition, 72:79-85.1963