



El magnesio en los rumiantes: fuentes y solubilidad

En las siguientes páginas nos detenemos en la solubilidad al pH ruminal de este nutriente en base a sus fuentes y origen (terrestre o marino), lo que marcará el grado de biodisponibilidad en el animal y, en consecuencia, una mayor o menor calidad en la producción de la leche.

Bea Abad¹, Alexandre Udina²
Ingeniera agrónoma en Adial Nutrición SL¹
Veterinario en Adial Nutrición SL²
bea@adial.es, alexudina@adial.es

El magnesio (Mg) se utiliza en la alimentación de vacas lecheras, por un lado, para mantener su nivel correcto en la sangre y, por otro, para garantizar un pH ruminal óptimo (entre 6,2 y 6,5) que permita un correcto fun-

cionamiento de los mecanismos de digestión ruminal (Goff, 2014).

Es un catión intracelular importante, vital para la función nerviosa y muscular, así como para la formación de huesos. La mayor parte de este nutriente se encuentra en los huesos, por lo que no es una fuente fácilmente disponible; además, la resorción ósea está controlada por el calcio, en lugar de por la homeostasis del magnesio. La concentración plasmática refleja la adecuada

suplementación a través de la alimentación y los niveles en la orina reflejan el exceso.

Sus necesidades se han corregido y aumentado en la última actualización del NRC de 2021 respecto a los valores que se usaban anteriormente del NRC 2001.

NRC 2001

Pérdidas fecales: 3mg/kg de peso vivo

Pérdidas de orina: principal vía de excreción, pequeñas pérdidas endógenas

Crecimiento: 0,45g/kg ganancia

Feto: 0,33 g/día

Leche: 0,15 g/kg

Por lo tanto, una vaca de 30 kg de leche de producción solo necesitaba 5g/día de Mg absorbido para “rendir”, pero la biodisponibilidad es muy variable en las distintas fuentes de magnesio y la media es solo de aproximadamente un 25 % de absorción

► REALIZANDO EL CÁLCULO CON UN 16 % DE BIODISPONIBILIDAD Y CALCULANDO LA EQUIVALENCIA DE QUE ESE PORCENTAJE SERÍA LA ABSORCIÓN, LOS 5 G/VACA/DÍA SE TRANSFORMAN EN MÁS DE 30 G MG/VACA/DÍA (PARA 30 L DE PRODUCCIÓN)

en materias primas, con una media del 16 % en los ingredientes usados en las formulaciones de rumiantes. Además, niveles altos de potasio, nitrógeno y humedad pueden reducir la biodisponibilidad, por lo que la hierba de la ración puede afectar negativamente. Realizando el cálculo con un 16 % de biodisponibilidad y calculando la equivalencia de que ese porcentaje sería la absorción, los 5 g/vaca/día se transforman en más de 30 g Mg/vaca/día (para 30 l de producción).

En los nuevos valores del Dairy Nasem (NRC 2021), los principales cambios en minerales son para el magnesio, cobre y manganeso. En el caso del primero, estos son los nuevos cálculos, con un aumento de 4,1 g Mg/vaca/día en las necesidades:

NRC 2021

Mantenimiento según NASEM para vacas de leche en lactación

(680 kg PV): 7,9 (2021) vs. 2,0 (2001)

Leche según NASEM para producción de 45 kg de leche: 5,0 vs. 6,8

CAPACIDAD NEUTRALIZANTE DE ÁCIDO DEL MAGNESIO RESPECTO A OTROS BUFFERS RUMINALES

Uno de los efectos del magnesio es su efecto alcalinizante en rumen; por tanto, se puede hacer una valoración teórica de la capacidad neutralizante de ácido (en meq/g) de distintas sustancias que se pueden usar como tampones. Para ese cálculo se tiene en cuenta la masa molecular dividida por la masa equivalente de ácidos neutralizados.

Tabla 1. Valores teóricos sobre la capacidad relativa de neutralización de ácido

	Bicarbonato sódico	Carbonato cálcico	Óxido de magnesio
Masa molecular	83,97	100,08	40,30
Masa equivalente de unión de ácido	83,97	50,04	20,15
*Capacidad neutralizadora de ácido (M.Eq/g)	11,90	19,98	49,62
Capacidad relativa de neutralización de ácido	1	1,7	4,1

*El bicarbonato sódico tiene un peso molecular de 83.97 → 1 g de bicarb. puede neutralizar $(1/83,97) \times 1.000$ o 11.9 miliequivalentes

Tabla 2. Neutralización de ácido *in vitro* a pH 5,8

Solubilidad <i>in vitro</i> pH 5,8	pH inicial en agua (0,25 g en 100 ml)	MI de ácido neutralizado en 2 h	MI de ácido neutralizado en 8 h
Óxido de magnesio de mina	8,96	3,7	8,9
Marine MgO (soluble)	11,09	110,8	110,8
Carbonato de calcio [limestone] (grado de alimentación)	6,64	7,9	11,0
Bicarbonato sódico (soluble)	8,06	28,0	29,0
Acid Buf (soluble)	10,42	31,3	53,3



Lithothamnium Calcareum, alga caliza utilizada como fuente de calcio y magnesio




Excelencia en el rendimiento

Minerales marinos biodisponibles para mejorar la eficiencia ruminal




www.adial.es
adial@adial.es

Si se hace una comparativa de la capacidad relativa de neutralizar ácido, el óxido de magnesio como ejemplo de fuente de magnesio tiene 4 veces más capacidad teórica de neutralizar ácido que el bicarbonato sódico y más del doble que el carbonato cálcico. A estos valores hay que aplicar luego la corrección según el pH y, si se usan pH ruminales (valores de 5,8 a 6,2), se obtienen solubilidades que no siempre se corresponden a los valores teóricos de capacidad neutralizante de una sustancia.

En esta corrección de la capacidad tampón según el pH, la solubilidad de una sustancia al pH medido será la que nos indicará el resultado que se puede esperar *in vivo* a ese pH, por lo que las valoraciones en pH de 5,8 a 6,2 indicarán los resultados esperados en rumen.

En las valoraciones *in vitro* con una titración a pH de 5,8, el volumen de ácido neutralizado por cada sustancia nos indica el poder real a ese pH de neutralizar ácido. En estos estudios se observan ya diferencias muy significativas entre óxidos de magnesio terrestres respecto a óxidos de magnesio marinos, como Marine MgO, así como diferencias entre carbonato de calcio (*limestone*) respecto a algas marinas calizas (carbonato de calcio marino) como Acid Buf.

HIPOMAGNESEMIA E

HIPERMAGNESEMIA EN VACAS DE LECHE

Síntomas por deficiencia: temblores, espasmos musculares, hiperexcitabilidad, tetania, convulsiones... La presencia en el líquido cefalorraquídeo y el papel en la actividad nerviosa podrían ser una razón para el aumento del interés en una mejor biodisponibilidad del magnesio en todas las especies.

Síntomas por exceso: daños en el revestimiento de la pared intestinal, problemas de palatabilidad, especialmente en forma de sulfato y cloruro o letargo; es poco probable que sea fatal, pero hay que tenerlo en cuenta.

En el rumiante adulto el magnesio se absorbe en el rumen y en el retículo y la absorción depende de la cantidad de Mg soluble en el fluido ruminal.

En los rumiantes adultos como las vacas lecheras, el magnesio se absorbe en el rumen por transporte activo y dependiente de la relación sodio/potasio y con gasto de energía. El exceso de potasio disminuye su entrada al organismo y el sodio aumenta su absor-

ción. El exceso de proteína aumenta el pH y baja la solubilidad del magnesio y también disminuye su absorción. En definitiva, las fuentes de magnesio tienen que ser solubles al pH fisiológico ruminal para que puedan estar disponibles para el animal.



Estudios recientes (Schonewille *et al.* J. Dairy Sci. 2008 91:271-278) indican que la absorción media de magnesio (porcentaje de la ingesta) en vacas lecheras es de un 26,2 % y oscila entre el 9,9 y el 73,7 %, dependiendo de la fuente de magnesio.

FUENTES DE MAGNESIO EN ALIMENTACIÓN ANIMAL

No es fácil evaluar la calidad de las fuentes de Mg, pero en general, aparte de la solubilidad en rumen, el menor tamaño de las partículas (las groseras se tienden a depositar en el fondo del rumen) y la aplicación de altas temperaturas mejoran la disponibilidad.

Existen diferentes fuentes de magnesio para la alimentación animal como pueden ser óxido de magnesio (MgO), carbonato de magnesio, cloruro de magnesio y sulfato de magnesio, pero se puede decir que la principal fuente utilizada en vacas lecheras es el MgO, el cual puede ser de origen terrestre (magnesitas terrestres) u origen marino como el Marine Mgo.

El óxido de magnesio de origen terrestre se obtiene mediante un proceso de calcinación de la magnesita, roca formada por carbonato de magnesio con contaminación variable de dolomita (sulfato de Ca y Mg), sílice (SiO₂) y cal (CaO). El procesado incluye el enriquecimiento de la materia prima original, mediante la separación de los distintos componentes en base a su densidad relativa, seguido de calcinación (900 a 1.100 °C durante unas 8 horas). La riqueza en Mg del producto final de-

► EN EL RUMIANTE ADULTO EL MAGNESIO SE ABSORBE EN EL RUMEN Y EN EL RETÍCULO Y LA ABSORCIÓN DEPENDE DE LA CANTIDAD DE MG SOLUBLE EN EL FLUIDO RUMINAL

pende de la pureza del material inicial mientras que su disponibilidad depende en gran medida de las condiciones del proceso de calcinación.

La riqueza en MgO del producto comercial de origen terrestre está en torno al 85 % y, dado que el MgO contiene un 60 % de Mg, el contenido final en este mineral está en torno al 50-52 %. La riqueza en Mg del producto final depende de la pureza del material inicial, mientras que su disponibilidad depende en gran medida de las condiciones del proceso de calcinación.

Si hablamos del MgO de origen marino o Marine Mgo, este se obtiene mediante el siguiente proceso:

1. Calcinación del carbonato cálcico a altas temperaturas (1.600 °C) para obtener óxido de calcio.
2. Mezcla del óxido de calcio con agua para tener hidróxido de calcio.
3. Mezcla de agua de mar con hidróxido de calcio para precipitar el hidróxido de magnesio formándose cristales.
4. Los cristales de hidróxido de magnesio se precipitan, limpian y concentran.
5. El hidróxido de magnesio es térmicamente tratado (1000 °C para formar óxido de magnesio).

El agua de mar también contiene un 3,5 % de sales disueltas, de las cuales un 0,5 % son cloruro de magnesio y sulfato de magnesio. Se necesitan 500 toneladas de agua de mar para producir una tonelada de Marine MgO. El Marine Mgo es un 92 % óxido de magnesio con una concentración del 56 % de magnesio.



GOLPE MORTAL



CONTRA PARÁSITOS EXTERNOS EN BOVINO Y OVINO

Spotinor®



LISTADO COMO INSECTICIDA CONTRA MOSQUITOS PARA USO EN ANIMALES PARA PREVENIR LA LENGUA AZUL
(Manual Práctico de Operaciones Contra la Lengua Azul (LA) del Ministerios de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Rev: Septiembre 2014)

Spotinor® 10 mg/ml solución spot-on para bovino y ovino **Composición:** Cada ml contiene Deltametrina 10 mg. **Especies de destino:** Bovino y ovino. **Indicaciones de uso, especificando las especies de destino:** Para el tratamiento y prevención de infestaciones de piojos y moscas en bovino, garrapatas, piojos, meléfagos e infestaciones cutáneas por larvas de moscas en ovino y piojos y garrapatas en corderos. **En bovino:** para el tratamiento y prevención de infestaciones de piojos mordedores y chupadores, incluyendo *Bovicola bovis*, *Solenopotes capillatus*, *Linognathus vituli* y *Haematopinus eurysternus* en bovino de carne y vacas lecheras. También como ayuda en el tratamiento y prevención de infestaciones por moscas picadoras y chupadoras incluyendo *Haematobia irritans*, *Stomoxys calcitrans*, especies de *Musca* y *Hydrotaea irritans*. **En ovino:** para el tratamiento y prevención de infestaciones por garrapatas *Ixodes ricinus* y por piojos (*Linognathus ovis*, *Bovicola ovis*), meléfagos (*Melophagus ovinus*) e infestaciones cutáneas por larvas de moscas (normalmente *Lucilia spp.*). En corderos: para el tratamiento y prevención de infestaciones por garrapatas *Ixodes ricinus* y por piojos *Bovicola ovis*. **Posología y vía de administración:** Para uso externo. **Dosis: Bovino:** 100 mg de deltametrina por animal correspondiente a 10 ml de medicamento veterinario. **Ovino:** 50 mg de deltametrina por animal correspondiente a 5 ml de medicamento veterinario. **Corderos (de menos de 10 kg de peso vivo o 1 mes de edad):** 25 mg de deltametrina por animal correspondiente a 2,5 ml de medicamento veterinario. **Administración:** aplicar una dosis única con el pack dispensador especial "Squeeze 'n' Pour" o el Aplicador Spot-On en un punto sobre la línea media de la espalda a nivel de los hombros. **Tiempo(s) de espera:** Bovino: Carne: 17 días, Leche: cero horas. Ovino: Carne: 35 días, Leche: Su uso no está autorizado en ovejas cuya leche se utiliza para consumo humano. **Titular de la Autorización de Comercialización:** Norbrook Laboratories Ltd, Station Works, Newry, BT35 6JP, Co. Down, Irlanda del Norte. **Reg. Núm.:** 3081 ESP

► LAS FUENTES DE MAGNESIO TIENEN QUE SER SOLUBLES AL PH FISIOLÓGICO RUMINAL PARA QUE PUEDAN ESTAR DISPONIBLES PARA EL ANIMAL

SOLUBILIDAD DE LAS FUENTES DE MAGNESIO

Ahora toca escoger entre las fuentes MgO de origen marino y/o terrestre para cubrir las necesidades de Magnesio de los animales. Para ello, como se ha comentado en apartados anteriores, nos fijaremos en la solubilidad del producto a pH ruminal.

Una manera de evaluar la solubilidad del MgO (*in vitro*) es ver cuánto ácido neutraliza en 2 horas a pH 5.5 0.25 g de diferentes fuentes de óxido de Magnesio (tabla 3)

Si analizamos este estudio se puede ver que la fuente capaz de neutralizar más ácido a pH 5,5 es el MgO de origen marino o Marine MgO, o dicho de otra manera, el MgO de origen marino resultó ser la fuente de magnesio más soluble.

También se puede hacer una simulación ruminal *in vivo* para evaluar la solubilidad del MgO (gráfico 1).

En este estudio se midió la solubilidad a las 4 y a las 9 horas, en el cual se puede ver que las fuentes más solubles son el Acid Buf y el Marine MgO (Mg de origen marino), que están entre un 95 y casi 100 % de solubilidad.

El Acid Buf es una alga marina caliza *Lithothamnium Calcareum* utilizada como fuente de calcio (35 %) y Mg (5-10 % según el tipo de Acid Buf) en forma de carbonato de calcio y magnesio altamente solubles a pH ruminal.

En otra investigación realizada en vacas lecheras por el Dr. Christian Cruywagen en la Universidad Stellenbosch (Sudáfrica), comparó en sangre y en leche respuestas al magnesio de Marine MgO respecto otra fuente comercial. En resumen, declaró que “el magnesio de origen marino a 18 g/día es capaz de mantener los niveles de magnesio en sangre y leche en la misma medida que el MgO tradicional suplementado con 36 g Mg/día. La dosis suplementaria óptima de MgO marino puede estar entre el 25 % y el 50 % de la del MgO convencional”.

El Dr. Cruywagen también señaló que “el magnesio en el MgO marino es hasta 4 veces más biodisponible que el magnesio de la fuente de óxido de magnesio convencional utilizada en este ensayo”.

CONCLUSIONES

- Las fuentes de magnesio tienen que ser solubles al pH fisiológico ruminal para que puedan estar disponibles para el animal.
- Diferentes estudios demuestran que las fuentes de magnesio más solubles y a la vez más disponibles para el animal son las de origen marino, como el Marine Mgo y Acid Buf, moviéndose en solubilidades próximas al 100 %.



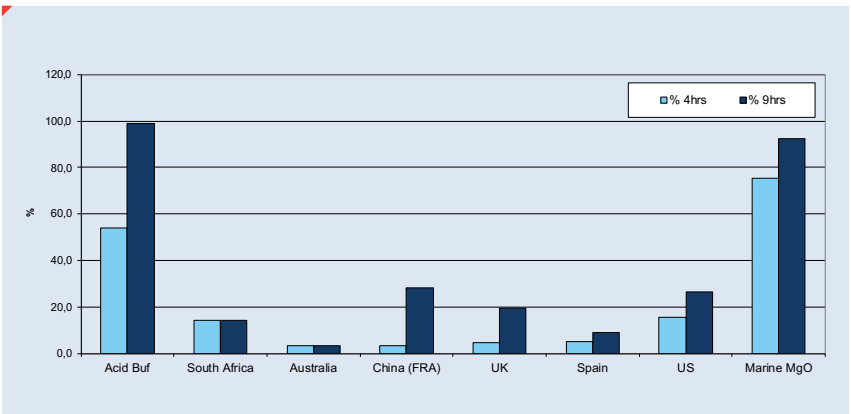
El agua de mar contiene un 3,5 % de sales disueltas, de las cuales un 0,5 % son cloruro de magnesio y sulfato de magnesio

Tabla 3. 0,25 g de muestra de óxido de magnesio-ácido neutralizado en 2 horas a pH 5,5 *in vitro*

Fuente	pH inicial	Vol. combinado final (Mls)	% Mg
Marine MgO	11,09	110,77	56 %
EE. UU.	8,63	86,81	60 %
España	11,34	16,74	36 %
Sudáfrica	9,11	16,48	36 %
UK	8,9	9,04	54 %
China	9,59	8,83	58 %
Australia	8,86	3,7	55 %

Fuente: Celtic Sea Mineral, 2013

Gráfico 1. Simulación ruminal *in vivo* para evaluar la solubilidad del MgO



Alimetrics. Fuente: Celtic Sea Minerals, 2013