

ANÁLISIS DE LAS CONCENTRACIONES DE AZUFRE EN AGUA, ALIMENTO Y GAS SULFÚRICO RUMINAL DE REBAÑOS BOVINOS DE CARNE DE LAS REGIONES DE LA ARAUCANÍA, LOS RÍOS Y LOS LAGOS DE CHILE

M. Gómez^a, B. González^a, D. Pinochet^b, A. Gutiérrez^a y P. Aburto^a. 2011. Arch. Med. Vet., Valdivia, 43(1):35-40.

^aInstituto de Farmacología y Morfología Veterinaria, Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.

^bInstituto de Ingeniería Agraria, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.

[#] Proyecto FONDECYT N° 11070053, Proyecto DID S-2006-14. Casilla 567, Valdivia, Chile; marcelogomez@uach.cl

www.produccion-animal.com.ar

Volver a: [Minerales](#)

RESUMEN

El azufre es un macroelemento esencial en rumiantes. Niveles elevados de azufre y sulfatos consumidos por rumiantes a través de las plantas, agua y otros alimentos pueden reducir el apetito y la tasa de crecimiento en los animales, afectar la absorción de otros elementos y causar afecciones respiratorias y/o neurológicas. El propósito de este estudio fue medir los niveles de azufre en la dieta, analizando las praderas (3 muestras por predio) y el agua (1 muestra por predio) en 45 predios dedicados a la producción de carne, de las regiones de La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos de Chile durante los períodos de primavera 2008 y verano 2009. Adicionalmente, se obtuvieron muestras de gas ruminal de 5 animales por predio, muestreándose un total de 225 animales por período. Posteriormente, se analizaron las diferencias en las concentraciones de azufre en agua y pradera y H₂S en gas ruminal de los predios provenientes de las zonas de la costa, depresión intermedia y precordillera. Los resultados obtenidos indican que las concentraciones promedios de azufre en la pradera fueron de 1.482 ± 592 ppm y de $1.472,1 \pm 448$ ppm en el periodo primavera y verano respectivamente, no evidenciándose diferencias significativas. La concentración de azufre en agua fue de $1,12 \pm 0,1$ y $1,14 \pm 0,09$ ppm durante el período de primavera y de verano, respectivamente. Los resultados de los análisis por región y zona geográfica (costa, depresión intermedia y precordillera) no mostraron diferencias significativas. La concentración de H₂S en gas ruminal en los animales en estudio fueron de $273,1 \pm 187,5$ y de $245,4 \pm 180$ ppm en primavera y en verano, respectivamente. El análisis de correlación entre variables indicó una asociación positiva entre los niveles de azufre en alimento y H₂S en gas ruminal para el período de primavera y verano. El consumo promedio total de azufre estimado considerando las fuentes de pradera y agua en 45 predios durante ambos períodos fue $< 0,2\%$ de azufre en la dieta. En conclusión, los resultados indican que las concentraciones de azufre encontradas en los predios ganaderos de las regiones de La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos de Chile no representan riesgo para el consumo en bovinos.

Palabras clave: azufre, bovinos, pradera, agua.

INTRODUCCIÓN

El azufre es un macroelemento esencial en rumiantes para la formación de aminoácidos como la cistina, cisteína, metionina, taurina y ciertas vitaminas como biotina y tiamina (Whitehead 2000). Este mineral está presente en aproximadamente un 0,15% del peso corporal en bovinos (NRC 2001). La absorción del azufre por parte de los rumiantes se realiza mayoritariamente en la forma de sulfato o como ion sulfuro (NRC 1996). Estos compuestos pueden ser utilizados por los microorganismos del rumen más eficientemente que el azufre elemental para la formación de biomasa microbiana (Whitehead 2000). La flora ruminal transforma el exceso de azufre en gas, el sulfuro de hidrógeno (H₂S), que se acumula en el rumen y traspasa al torrente sanguíneo (Galyean y Rivera 2003). Niveles elevados de azufre y sulfatos, consumidos por los rumiantes a través de las plantas, agua y otros alimentos, pueden afectar a los animales de variadas formas (Gould y col 2002). Niveles altos de azufre en el agua y forraje se han asociado a una forma de polioencefalomalacia (PEM) en rumiantes (Gibson y col 1988, McAllister 1991, Gould 2000). Adicionalmente, niveles altos de sulfuros pueden intervenir en la absorción y disponibilidad de otros metales trazas importantes como el cobre y selenio (NRC 2001). Gooneratne (1989) postula que esta deficiencia en cobre interferiría indirectamente en el metabolismo de la tiamina contribuyendo a la presentación

de la PEM. Además, esta deficiencia secundaria de cobre produciría efectos negativos en la reproducción, niveles productivos del ganado y características de la canal (Suttle 1993, Loneragan y col 1998, Gould y col 2002).

Los requerimientos diarios de azufre en la dieta para bovinos de carne adultos y en crecimiento de acuerdo al NRC (1996) son de 1.500 a 2.000 partes por millón (ppm). Esto equivale a un 0,15% del alimento base materia seca (BMS). Niveles de azufre en la ración de hasta 0,4% BMS son considerados el máximo tolerable en bovinos de carne y de leche (NRC 1996, 2001). Sin embargo, la tolerancia de rumiantes para dietas azufradas varía inversamente con la proporción de concentrado en la dieta (Klasing y col 2005). Bovinos y otros rumiantes con dietas menores a un 15% de forraje poseen riesgo de PEM cuando el azufre dietario es de 0,35% BMS (Klasing y col 2005). Por otro lado, dietas con niveles de forraje sobre el 40% necesitan niveles de azufre dietario sobre 0,5% para producir riesgo de PEM (Klasing y col 2005). Sulfuros y sulfatos pueden encontrarse en altas concentraciones en el agua, forrajes de ciertas crucíferas y granos, malezas, suplementos o aditivos minerales y fertilizantes (Hill y Ebbert 1997, Gould 2000, Kul y col 2006, McKenzie y col 2009). En nuestro país no existen recomendaciones de niveles máximos tolerables de compuestos azufrados en la dieta. Los objetivos de este trabajo fueron determinar la concentración de azufre presente en el agua de bebida y praderas de predios bovinos de carne de las regiones de La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos, y evaluar si existen diferencias entre predios localizados en la zona costera, la depresión intermedia y precordillera.

MATERIAL Y MÉTODOS

MUESTREO Y SELECCIÓN DE PREDIOS

Se analizaron 45 predios productores de carne bovina con más de 50 animales por predio, pertenecientes a las regiones de La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos durante los meses de octubre 2008 (primavera) y enero (verano) del 2009. Para cada Región en estudio se seleccionaron por muestreo dirigido 5 predios correspondientes a la zona costera, 5 a la zona de depresión intermedia y los 5 restantes a la zona de precordillera. De cada predio –y para cada período (primavera y verano)– se obtuvieron 3 muestras de pradera y 3 muestras de agua. Además, de cada predio se obtuvieron muestras de gas ruminal de 5 animales seleccionados de forma aleatoria simple para análisis de ácido sulfhídrico (H_2S) ruminal, analizándose un total de 225 animales por período. Para cada predio, los muestreos de agua, alimento y gas ruminal fueron obtenidos en un mismo día.

ANÁLISIS DE AZUFRE EN EL AGUA

En cada uno de los predios seleccionados se obtuvieron 3 muestras seriadas de agua de aproximadamente 100 mL cada una, las cuales fueron recolectadas de los bebederos para animales o de las fuentes de agua disponibles en cada predio. Los muestreos se realizaron una vez por predio en ambos períodos. Posteriormente las muestras de agua fueron identificadas y refrigeradas para su posterior análisis. Estas muestras fueron analizadas en el laboratorio de Suelos del Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos de la Universidad Austral de Chile (UACH) para medición de la concentración de azufre, utilizando para ello pruebas turbidimétricas. La concentración de azufre fue expresada en partes por millón (ppm). Para el caso del agua los valores entregados por el Laboratorio son expresados en sulfato (SO_4 mg/L), lo que es equivalente a ppm ($1 \text{ mg/L} = 1 \text{ ppm}$). Dado que un tercio del contenido de sulfato es azufre, los resultados del análisis de Laboratorio fueron dividido por 3 para obtener la cantidad de azufre aportada por el agua (S mg/L).

ANÁLISIS DE AZUFRE EN EL FORRAJE

De cada predio, y en ambos períodos, se obtuvieron 3 muestras de pradera. Para estimar la concentración de azufre proveniente del forraje se determinó la concentración de sulfuro en la pradera o de los componentes individuales de la dieta de los predios muestreados. Estas muestras fueron analizadas en el laboratorio de Suelos del Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos de la UACH. Las concentraciones de azufre se obtuvieron por la técnica de calcinación y determinación por técnica de turbidimetría. Estos valores se expresaron como porcentaje de sulfuro en la materia seca, los que se convirtieron posteriormente a ppm.

CONCENTRACIÓN TOTAL DE AZUFRE EN LA DIETA

La concentración total de azufre (CTS) en la dieta se estimó mediante la suma de la concentración de azufre en el agua (% SH_2O) más la concentración de azufre en el forraje (%SF) (Gould 2000). La ingesta diaria total de forraje por animal se calculó estimando un consumo promedio de materia seca equivalente al 2,5% del peso vivo del animal (Ruiz 1996).

CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO SULFHÍDRICO EN GAS RUMINAL

De cada predio analizado, se obtuvieron 5 muestras de gas ruminal de 5 animales seleccionados aleatoriamente por muestreo simple con el objeto de medir la concentración de H_2S . La determinación de H_2S en gas ruminal se realizó mediante tubos detectores, utilizando la técnica paralumbar descrita previamente (Gould y col 1997).

Esta técnica provee una adecuada estimación en terreno de las concentraciones de sulfato ruminal y es comparable a técnicas de laboratorio como la cromatografía (Gould 2000). En esta técnica se prepara asépticamente la fosa paralumbar izquierda y bajo anestesia local se introduce una aguja espinal estéril (8,9 cm, 18G) hacia el saco dorsal del rumen. Luego el estilete de la aguja es removido y la base de ésta es unida a un circuito conectado a un tubo calibrado para detección de H₂S (Sensibilidad de 50 a 1000 ppm). Posteriormente, 100 mL de gas ruminal son extraídos hacia el tubo para realizar la medición de H₂S, utilizando para ello un sistema colector de gas a precisión (Gastec gas precision sampler and hydrogen sulfide analyzer tube, Sensidyne, Clearwater, FL, USA).

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos obtenidos fueron evaluados para establecer normalidad en su distribución. Se utilizó el test de análisis de Varianza (ANDEVA) para evaluar las diferencias entre grupos (ubicación geográfica y región), utilizando un valor de significancia de 0,05 para establecer la presencia de diferencias estadísticas entre promedios. Se realizó la prueba de T student en los casos de comparación de variables entre períodos (primavera y verano). Adicionalmente, se realizó un análisis de correlación entre las variables en estudio para ambos períodos. Para el análisis estadístico de los datos se utilizó el Software JMP8® Statistics (SAS Institute, Cary, NC, USA).

RESULTADOS

En la totalidad de los predios muestreados la principal fuente de alimentación durante el período en estudio fue la pradera. La concentración de azufre en la pradera para ambos períodos varió entre 900 a 3.000 ppm (0,09 y 0,3% de azufre BMS). Los niveles de azufre en agua tuvieron una concentración promedio, para ambos períodos, de $1,13 \pm 0,1$ ppm y los valores no superaron los 1,5 ppm considerándose baja su concentración. Los análisis por regiones no mostraron diferencias significativas ($P > 0,05$) entre las variables estudiadas (cuadro 1). Los niveles de azufre en agua y alimento no presentaron diferencias significativas ($P > 0,05$) al considerar la zona geográfica de los predios (figura 1). El análisis de 12 muestras de 4 tipos de concentrado de uso nacional (inicial, crecimiento y adulto) indicó concentraciones de azufre entre 3.000 a 6.000 ppm (0,3 a 0,6% de azufre BMS) (cuadro 2).

Cuadro 1.- Concentración de azufre en pradera y en agua de 45 predios de producción de carne bovina pertenecientes a las regiones de La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos de Chile muestreados durante la época de Primavera 2008 y Verano 2009.

Región	Concentraciones de Azufre (ppm)			
	Primavera 2008		Verano 2009	
	Pradera	Agua	Pradera	Agua
La Araucanía	1566,6 ± 519,1	1,09 ± 0,11	1456,0 ± 483,3	1,14 ± 0,08
Los Lagos	1246,6 ± 277,7	1,16 ± 0,09	1506,6 ± 475,7	1,12 ± 0,09
Los Ríos	1633,3 ± 622,9	1,12 ± 0,10	1453,3 ± 412,0	1,17 ± 0,11
Total	1482,2 ± 592,6	1,12 ± 0,10	1471,1 ± 448,0	1,14 ± 0,09

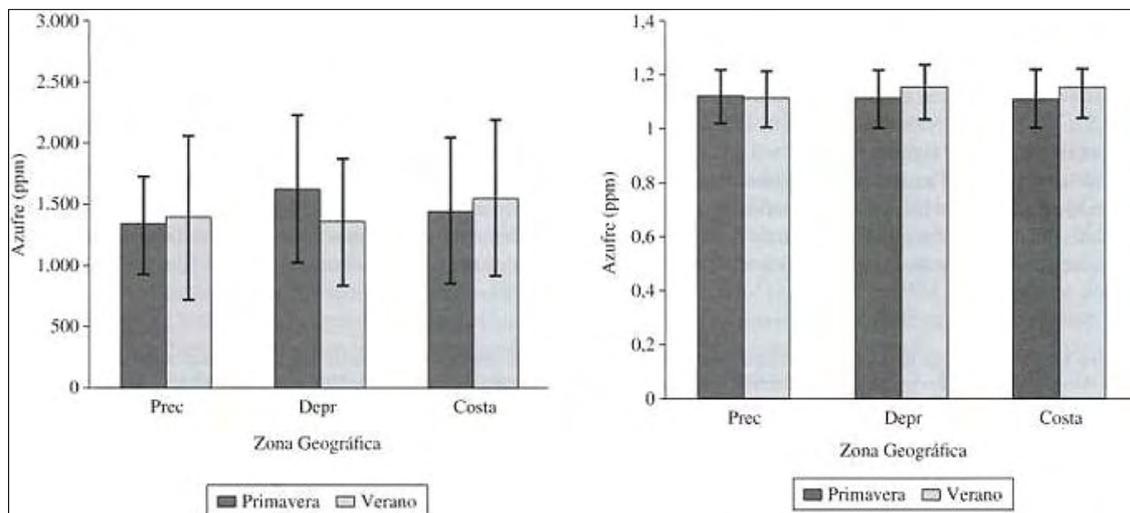


Figura 1.- Concentraciones promedio (ppm) de azufre en pradera (A) y agua (B) según zona geográfica (costa: Costa, depresión intermedia: Depr y precordillera: Prec) en 45 predios bovinos de carne en los períodos de primavera 2008 y verano 2009. Cada barra de error está construida utilizando ± 1 desviación estándar del promedio.

Cuadro 2.- Concentración de azufre (ppm) en algunos suplementos utilizados en los predios bovinos de carne del sur de Chile.

Suplemento	Concentración de Azufre (ppm)
Heno Ballica (n = 7)	2.300
Ensilaje Ballica (n = 6)	1.400
Nabo Forrajero (n = 3)	5.000
Concentrado 1 (n = 3)	3.500
Concentrado 2 (n = 4)	5.900
Concentrado 3 (n = 4)	4.000
Concentrado 4 (n = 4)	4.100

Concentrado 1: Concentrado Inicial Suralim®, Biomaster S.A., Chile.

Concentrado 2: Cosetan®, Biomaster-IANSA, Chile.

Concentrado 3: Concentrado vaca 14 Suralim®, Biomaster S.A., Chile.

Concentrado 4: Concentrado crecimiento Suralim®, Biomaster S.A., Chile.

Los niveles de H₂S ruminal obtenidos tanto en primavera como en verano variaron desde valores menores a 50 ppm hasta 800 ppm. No se observaron diferencias significativas en los resultados de H₂S ruminal al considerar la región de origen, la estación o zona geográfica de los predios de origen (figura 2). La comparación entre los promedios de las concentraciones de H₂S ruminal en primavera (273,1 ± 187,5 ppm) y verano (245,4 ± 173,1 ppm) no evidenció diferencias significativas (P > 0,05).

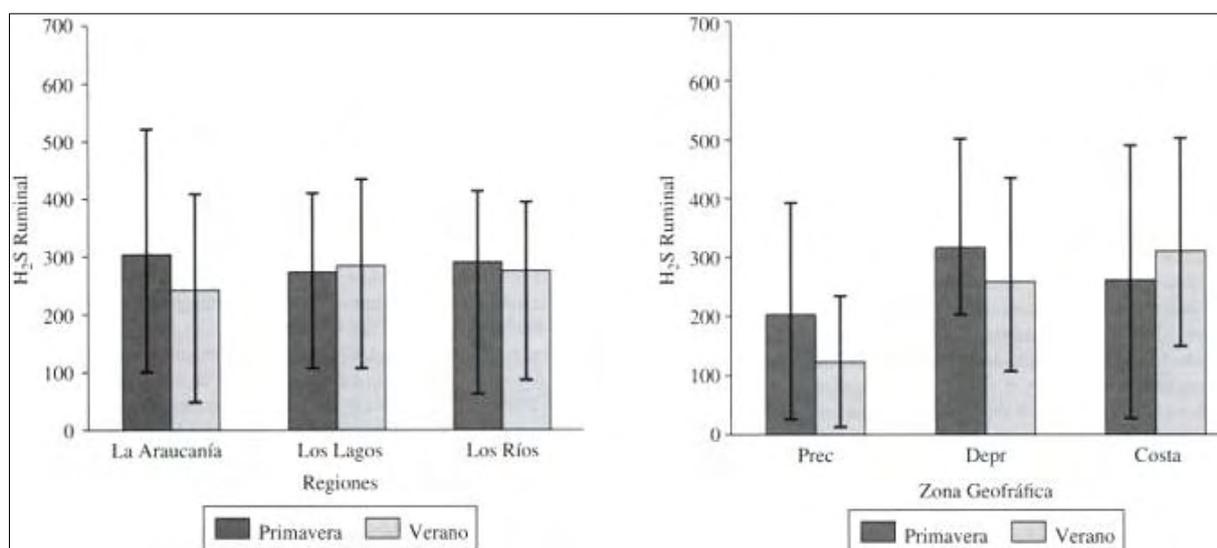


Figura 2.- Concentraciones promedio (ppm) de H₂S en gas ruminal obtenidas de 225 bovinos durante la época de primavera y verano en las regiones de La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos de Chile (A) y en tres áreas geográficas (costa: Costa, depresión intermedia: Depr, precordillera: Prec) de cada región (B). En cada región se analizaron 75 animales. Cada barra de error está construida utilizando ± 1 desviación estándar del promedio.

Los niveles de H₂S a nivel ruminal presentaron una correlación positiva y estadísticamente significativa (P < 0,05) con los niveles de azufre en alimento tanto en la época de primavera (r = 0,59) como en verano (r = 0,77).

El consumo promedio total de azufre estimado considerando las fuentes de pradera y agua en 45 predios de las regiones en ambos períodos fue de 25,8 g/día, lo que constituye un 0,21% de azufre en la dieta.

DISCUSIÓN

Los niveles de azufre en la pradera variaron entre un 0,03% a 0,2% BMS. No se observaron diferencias significativas en las concentraciones de azufre en ambos períodos ni tampoco entre las diferentes zonas geográficas analizadas. Los niveles observados en la pradera son coincidentes con los informados en otros estudios con rangos de azufre no superiores a 0,3% BMS (Gould 2000). Se considera que en general, las praderas tienden a tener niveles bajos de azufre debido a su bajo contenido proteico (NRC 2001). Sin embargo, los niveles de azufre en la pradera pueden estar aumentados si existe la presencia de malezas con alto contenido de este mineral (Loneragan y

col 1998). En la zona sur de Chile, uno de los factores importantes que afectan la disponibilidad de azufre en el suelo para las plantas es la cantidad de sulfato que se pierde en la zona radicular por lixiviación (Rhue y Kamprath 1973, Vidal 2003). Otro factor que influye en la disponibilidad de azufre en las plantas es el tipo de suelo. Análisis de suelos trumaos y rojo del sur de Chile han mostrado niveles bajos de azufre (Teuber 1996).

El NRC (1996), en dietas para bovinos de carne, recomienda niveles de azufre dietario de aproximadamente 0,15% BMS con un máximo tolerable de 0,4% BMS. Plantas de la familia *Brassicaceae* son conocidas por sus altos contenidos de azufre (Loneragan y col 2001, Mackenzie y col 2009). Suplementos como la col forrajera (*Brassica napus*) pueden tener niveles de azufre de 0,6% hasta un 1% BMS y por tanto no debieran exceder el 30% de la ración (Soto 1996). El azufre presente en las plantas forma parte de azufre elemental, sulfuro de hidrógeno, glutatión, fitoquelatinas, glucosinolatos y proteínas ricas en azufre, todos componentes esenciales ante situaciones de estrés biótico y abiótico, los cuales median resistencia a agentes fúngicos e insectos (Booth y col 1991). La capacidad de generar H₂S de los microorganismos ruminales aumenta bajo condiciones de dietas altas en azufre (Cummings y col 1995, Gould 1998). Los resultados del análisis de concentración de azufre en la pradera de predios bovinos de las regiones de La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos indican que las concentraciones de azufre en la pradera no sobrepasaron los riesgos de exposición a niveles tóxicos de azufre. Estudios previos en Nebraska (USA) indican que en predios con niveles de 0,4% BMS de azufre en la dieta presentaron una incidencia de PEM de 0,14% (Vanness y col 2009^a). Cuando los niveles de azufre en la dieta superaron los 0,56% BMS, la incidencia de PEM fue de un 6,06% BMS (Vanness y col 2009^a).

Los suplementos analizados indicaron niveles altos de azufre de 0,4% y 0,5% BMS en nabos y algunos concentrados respectivamente. Estos niveles altos de azufre en plantas crucíferas ya han sido mencionados por otros autores (Soto 1996, Kul y col 2006, McKenzie y col 2009). Sin embargo, se desconoce la proporción en la dieta en que estos suplementos alimentarios fueron utilizados en los predios en estudio.

El contenido de azufre en el agua puede representar una proporción importante del total de azufre ingerido por bovinos (Gould y col 2002). En nuestro país, los niveles máximos permitidos de sulfato en agua de bebida según la norma oficial para calidad del agua no debieran exceder las 250 ppm (Norma Chilena Oficial 1984). Los niveles de azufre en agua obtenidos en nuestro estudio no sobrepasaron las 1,2 ppm (1,12 ± 0,1 ppm en primavera y 1,14 ± 0,09 en verano). Un estudio en Estados Unidos, que incluyó el análisis de azufre en agua de 498 predios bovinos provenientes de 23 diferentes Estados indicó rangos de azufre en el agua desde < 200 ppm hasta 7.600 ppm (Gould y col 2002). Se ha indicado que concentraciones de azufre en agua sobre 583 ppm pueden disminuir la productividad en el ganado bovino y las características de la canal, incluyendo disminución del peso caliente de ésta y de la proporción de grasa a nivel de la 12^a costilla (Loneragan y col 2001). Zinn y col (1997) señalaron que ingestas moderadamente altas de azufre en la dieta de bovinos de carne (0,25% BMS) producen una disminución del peso de la canal y del área del músculo *longissimus*. Adicionalmente, se ha estimado que concentraciones de azufre en el agua sobre las 2.000 ppm, en ambientes de temperatura moderada, pueden resultar en una ingesta total de azufre en la dieta de hasta 0,53% con presentación de casos clínicos de PEM (Gould 2000). Esta concentración total de azufre ingerido puede incluso aumentar en altas temperaturas ambientales, debido al mayor consumo de agua (Gould 2000).

Los niveles de H₂S en gas ruminal de nuestro estudio indicaron valores no significativos entre los períodos de primavera (273,1 ppm) y verano (245,4 ppm). Valores similares (264 ppm) han sido informados por McAllister y col (1997) en bovinos de carne sin signos de PEM en el período de verano de USA. Niveles de H₂S en gas ruminal sobre 1.000 ppm son sugerentes de toxicosis. Los máximos niveles de encontrados en nuestro estudio no sobrepasaron las 800 ppm. Por otra parte, se encontró una alta correlación entre los niveles de H₂S en gas ruminal con la concentración de azufre en la pradera. En un estudio, que utilizó subproductos de maíz en la dieta con concentraciones de azufre en la dieta de 0,42% a 0,47% se encontraron niveles de H₂S en gas ruminal de 1.700 ppm a 7.500 ppm en bovinos de carne (Vanness y col 2009^b). Otro estudio que midió niveles de H₂S 12 horas postalimentación indicó niveles de H₂S de 1.100 ppm a concentraciones dietarias de azufre de 0,53% y niveles de 825 ppm cuando las mismas fueron de 0,34% BMS (Vanness y col 2009^a). Al parecer, los niveles de H₂S ruminal tienden a correlacionarse positivamente con los niveles dietarios de azufre al comparar dietas similares en cuanto a los alimentos utilizados. Sin embargo, esta relación no es tan clara cuando se comparan niveles de azufre provenientes de dietas de diferente composición (Vanness y col 2009^a). Factores como los cambios del pH ruminal, inducidos por el cambio de dieta, se han correlacionado negativamente con los niveles de H₂S ruminal (Gould y col 2002).

El consumo promedio total de azufre estimado por Unidad Animal (animal de 500 kg) fue de 25,8 g/día, lo que se traduce en un 0,21% en BMS. El consumo de este mineral no presenta riesgos de intoxicación para los animales, ya que de acuerdo al NRC (1996) lo recomendado como requerimiento diario para ganado de carne es de un 0,15 a 0,20% de azufre en BMS, siendo la concentración máxima tolerable de azufre en la dieta un 0,4% en BMS.

En conclusión, los resultados indican que las concentraciones de azufre encontradas en los predios ganaderos de las regiones de La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos de Chile no representan un riesgo potencial para el consumo de azufre en bovinos. Adicionalmente, no se encontraron diferencias significativas entre las concentraciones de azufre del agua y pradera provenientes de las zonas costera, intermedia y precordillerana en ambos períodos en estudio. Las concentraciones de azufre en la pradera es un factor que influye en la concentración ruminal de H₂S.

REFERENCIAS

- Booth EJ, KC Walker, DW Griffiths. 1991. A time-course study of the effect of sulphur on glucosinolates in oilseed rape (*Brassica napus*) from the vegetative stage to maturity. *J Sci Food Agric* 56, 479-493.
- Cummings BA, DH Gould, DR Caldwell. 1995. Rumen microbial alterations associated with sulfide generation in steers with dietary sulfate-induced polioencephalomalacia. *Am J Vet Res* 56, 1390-1395.
- Galyean M, JD Rivera, 2003. Nutritionally related disorder affecting feedlot cattle. Department of Animal Science and Food Technology. *Can J Anim Sci* 83,13-20.
- Gibson DM, JJ Kennelly, GW Mathison. 1988. The performance of dairy and feedlotcattle fed sulfur dioxide-treated high-moisture barley. *Can J Anim Sci* 68, 471-482.
- Gould DH, BA Cummings, DW Hamar. 1997. *In vivo* indicators of pathologic ruminal sulphide production in steers with diet-induced polioencephalomalacia. *J Vet Diagn Invest* 9, 72-76.
- Gould DH. 1998. Polioencephalomalacia. *J Anim Sci* 76, 309-314.
- Gould DH. 2000. Update on sulfur-related polioencephalomalacia. *Vet Clin North Am Food Anim Pract* 16, 481-496.
- Gould DH, DA Dargatz, FB Garry, DW Hamar, PF Ross. 2002. Potentially hazardous sulfur conditions on beef cattle ranches in the United States. *J Am Vet Med Assoc* 221, 673-677.
- Hill FI, PC Ebbert. 1997. Polioencephalomalacia in cattle in New Zealand fed chou moellier (*Brassica oleracea*). *New Zeal Vet J* 45, 37-39.
- Klasing KC, JP Goff, JL Greger 2005. *Mineral tolerance of animals*. 2nd ed. The National Academies Press, Washington DC, USA, Pp 372-385.
- Kul O, S Karahan, M Basalan, N Kabakci. 2006. Polioencephalomalacia in cattle: a consequence of prolonged feeding barley malt sprouts. *J Vet Med* A53, 123-128.
- Loneragan GH, DH Gould, RJ Callan, CJ Sigurdson, DW Hamar. 1998. Association of excess sulfur intake and an increase in hydrogen sulfide concentrations in the ruminal gas cap of recently weaned beef calves with polioencephalomalacia. *J Am Vet Med Assoc* 213, 1599-1604.
- Loneragan GH, JJ Wagner, DH Gould, FB Garry, MA Thoren. 2001. Effects of water sulfate concentration on performance, water intake, and carcass characteristics of feedlot steers. *J Anim Sci* 79, 2941-2948.
- McAllister MM. 1991. Sulfur toxicosis and polioencephalomalacia in ruminants. *Doctoral Thesis*, Department of Pathology, Colorado State University.
- McAllister MM, DH Gould, MF Raisbeck, BA Cummings, H Loneragan. 1997. Evaluation of ruminal sulfide concentrations and seasonal outbreaks of polioencephalomalacia in beef cattle in a feedlot. *J Am Vet Med Assoc* 211, 1275-1279.
- McKenzie RA, AM Carmichael, ML Schibrowski, SA Duigan, JA Gibsonand, JD Taylor. 2009. Sulfur-associated polioencephalomalacia in cattle grazing plants in the Family Brassicaceae. *Aus Vet J* 87, 27-32.
- Norma Chilena Oficial. 1984. Normas oficiales para la calidad del agua en Chile. *Norma Chilena Oficial* 409, Pp 1-11.
- NRC, National Research Council. 1996. Nutrient requirements of beef cattle. 7th ed. National Academy Press, Washington DC, USA.
- NRC, National Research Council. 2001. Nutrient Requirement of Dairy Cattle. National Academy Press, Washington DC, USA, Pp 131-132.
- Rhue R, E Kamprath. 1973. Leaching losses of sulfur during winter months when applied as gypsum, elemental S or prilled S. *Agronomy J* 65, 603-605.
- Suttle N. 1993. Overestimation of copper deficiency. *Vet Rec* 133, 123-124.
- Teuber N. 1996. La pradera en la costa de la X Región (Valdivia-Llanquihue) En: Ruiz I (ed). *Praderas para Chile*. INIA, Santiago, Chile, Pp 579-589.
- Vanness S, N Meyer, T Klopfenstein, G Erikson. 2009^a. Hydrogen sulfide gas levels post-feeding. *Nebraska Beef Cattle Report* 84-85.
- Vanness S, N Meyer, T Klopfenstein, G Erikson. 2009^b. Ruminal sulfide levels in corn byproducts diets with varying roughage levels. *Nebraska Beef Cattle Report* 86-89.
- Vidal R. 2003. Determinación de un índice de retención de S-sulfato agregado en grandes grupos de suelos agrícolas de Chile. *Memoria de titulación*, Escuela de Agronomía, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Whitehead D. 2000. Nutrient elements in grassland. Soil-Plant-Animal relationships. CAB International. Walingford, UK, Pp 369-370.
- Zinn RA, E Álvarez, M Méndez, M Montaña, E Ramírez, Y Shen. 1997. Influence of dietary sulfur level on growth performance and digestive function in feedlot cattle. *J Anim Sci* 75, 1723-1728.

Volver a: [Minerales](#)