

**UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS**  
**INSTITUTO DE FARMACOLOGÍA VETERINARIA**

**MEDICIÓN DE LA EXPOSICIÓN A SULFUROS EN LA DIETA DE REBAÑOS  
BOVINOS DE CARNE EN LA DECIMA REGIÓN DE CHILE.**

Memoria de Título presentada como parte  
de los requisitos para optar al TÍTULO DE  
MÉDICO VETERINARIO.

**ALEXIS RUPERTO GUTIÉRREZ OBERREUTER**

**VALDIVIA – CHILE**

**2008**

**PROFESOR PATROCINANTE:**

Dr. Marcelo Gómez J.

---

Nombre

Firma

**PROFESOR COPATROCINANTE:**

Ing. Agr. Dante Pinochet T.

---

Nombre

Firma

**PROFESOR CALIFICADOR:**

Dr. Enrique Paredes H.

---

Nombre

Firma

**PROFESOR CALIFICADOR:**

Dr. Bruno Twele W.

---

Nombre

Firma

**FECHA APROBACIÓN:**

4 de Enero de 2008

---

## ÍNDICE

Capítulo	Página
1. RESUMEN.....	1
2. SUMMARY.....	2
3. INTRODUCCIÓN.....	3
4. MATERIAL Y MÉTODOS.....	7
5. RESULTADOS.....	10
6. DISCUSIÓN.....	14
7. BIBLIOGRAFÍA.....	17
8. ANEXOS.....	20
9. AGRADECIMIENTOS.....	22

## 1. RESUMEN

La polioencefalomalacia es una de las alteraciones neurológicas no infecciosas más comunes en bovinos y ovinos, se caracteriza clínicamente por ceguera, nistagmo, estrabismo dorsomedial, opistotono, depresión, salivación, ataxia, rigidez de las extremidades y en casos severos la enfermedad puede progresar hacia el decúbito, convulsiones, hiperestesia, coma y finalmente la muerte. Entre las causas, esta asociada a la deficiencia de vitamina B<sub>1</sub> (tiamina) sin embargo, existe una forma de polioencefalomalacia bovina que se asocia a elevadas concentraciones de azufre en el agua y alimentos.

El propósito de este estudio fue medir los niveles de sulfuros en la dieta, analizando la pradera (3 muestras por predio) y agua (1 muestra por predio) de 15 predios ganaderos de carne, escogidos por conveniencia, durante octubre de 2005, en la Décima Región de Chile. Adicionalmente se analizaron las diferencias en las concentraciones de sulfuro en agua y pradera de los predios provenientes de la zona de la costa, depresión intermedia y precordillera. Además, se estimó la cantidad total de azufre que estarían consumiendo los animales de los diferentes predios muestreados, para poder establecer posibles áreas de riesgo de presentación de polioencefalomalacia en bovinos. También se realizó una encuesta consultando la cantidad de casos de enfermedades nerviosas o de diagnósticos realizados por el médico veterinario y/o patólogo

En las muestras obtenidas de las praderas de estos predios el valor promedio fue de  $2.058 \pm 55,8$  ppm de azufre. Para el caso de las muestras de agua el promedio fue de  $0,8 \pm 0,3$ . Al estandarizar el consumo a UA, los resultados indicaron que en promedio los animales de los predios en estudio estarían consumiendo un  $0,21 \pm 0,01$  % BMS de azufre/día, lo cual no representa riesgo de intoxicación ya que el NRC establece hasta un 0,4% BMS de consumo total diario de azufre. El análisis estadístico de las concentraciones de azufre en muestras de agua y de pradera, según zona geográfica, demostró que no existen diferencias significativas entre estas.

En conclusión, los resultados indican que las concentraciones de azufre encontradas en estos 15 predios ganaderos de la Décima Región de Chile no representan peligro para la salud de los bovinos que la consuman. Adicionalmente no se encontraron diferencias en las concentraciones de azufre del agua y pradera provenientes de las zonas costera, intermedia y precordillerana.

**Palabras clave:** Polioencefalomalacia, azufre, sulfatos, bovinos.

## 2. SUMMARY

### SULPHUR LEVELS IN DIETS OF BEEF CATTLE HERDS IN THE X REGIÓN OF CHILE

Bovine polioencephalomalacia (PEM) is one of the most common non infectious neuropathologic diseases in ruminants. It is clinically characterized by bilateral cortical blindness, nystagmus, dorsomedial strabismus, opisthotonus, depression, salivation, ataxia and severely affected cases become recumbent, seizures or coma and finally death. Thiamine deficiency has been classically described as the cause of ruminant PEM, nevertheless it has been also associated to high sulfur levels intake from water and forage.

The purpose of this study was to obtain estimations of the levels of exposition to sulfurs in pasture (3 samples by farm) and water (1 sample by farm) from 15 beef cattle farms, chosen by convenience, in the X Region of Chile. Also sulfur levels of different geographic areas in the X Region of Chile were compared, thus to establish possible areas of risk for PEM. A survey to each farm was elaborated in order to report previous cases of PEM.

Values of sulfur levels in grass samples averaged  $2058 \pm 55.8$  ppm sulfur. Water samples values had an average of  $0.8 \pm 0.3$  ppm of sulfur. The estimated total Sulphur relative to dry matter intake averaged  $0.21 \pm 0.01\%$ . This value does not represent a risk of poisoning since according to the NRC (1996) who establish up to 0.4% of total daily consumption of sulphur.

In conclusion, results indicate that concentrations of sulphur found 15 beef cattle farms in the X region of Chile do not represent a risk to the health of bovines. Additionally, found no differences in the concentrations of sulphur from water and grass in the different areas under study.

**Key words:** Polioencefalomalacia, sulfur, sulfates, cattle.

### 3. INTRODUCCIÓN

La Polioencefalomalacia (PEM) es una alteración neurológica de los rumiantes caracterizada por necrosis de la corteza cerebral (Gould 1998). Este término descriptivo se refiere a las lesiones histológicas del cerebro, en las que la materia gris del encéfalo sufre una necrosis (malacia). Por ello, también es conocida bajo el nombre de Necrosis cerebrocortical (Gould 1998). La definición de PEM ha sido utilizada en dos sentidos; como un síndrome neurológico causado por una alteración relacionada con deficiencia de tiamina o como una lesión cerebral sin etiología específica (Gould 2000). La PEM se ha encontrado en la mayor parte de los países del mundo afectando principalmente a bovinos y ovinos, aunque también se ha descrito en cabras y ciervos (Riet-Correa y col 2007).

La PEM es de aparición esporádica, afecta principalmente a rumiantes jóvenes de entre 8-12 meses de edad, en confinamiento o sometidos a cambios bruscos de alimentación (Riet-Correa y col 2007). Sin embargo, se han reportado casos de PEM en bovinos adultos en pastoreo (Nakazato y col 2000). La PEM tiende a observarse con mayor frecuencia en los periodos de verano y otoño en el hemisferio norte y primavera en el hemisferio sur (Gould 1998). Clínicamente se caracteriza por signos de ceguera, nistagmo, estrabismo dorsomedial, opistótonos, depresión, salivación, ataxia, rigidez de las extremidades y en casos severos, la enfermedad puede progresar hacia el decúbito, con convulsiones, hiperestesia, coma y finalmente la muerte (Blood y Radostits 1992).

Patológicamente en la PEM se observa edema cerebral difuso con compresión y coloración amarillenta de las circunvoluciones corticales dorsales, así como desplazamiento del cerebelo a través del foramen magno (Blood y Radostits 1992). La Necropsia de los animales en estados tempranos de la enfermedad, la lesión puede identificarse a simple vista usando luz ultravioleta de 365 nm, con la cual ciertas áreas cerebrales presentan fluorescencia, atribuible a un pigmento denominado lipofuscina cerioidea; un producto de la peroxidación lipídica (MacAallister y col 1992). Hay necrosis laminar bilateral y de las regiones cerebrales profundas (núcleos y zonas subcorticales), siendo más prominentes en la corteza dorsal occipital y parietal, aunque también se observan con frecuencia áreas de necrosis en el tálamo, cuerpos geniculados laterales, ganglios y núcleos mesencefálicos (Blood y Radostits 1992).

El término PEM se ha utilizado para referirse a un grupo de diferentes afecciones neurológicas de los rumiantes, tales como; intoxicación por plomo, intoxicación por exceso de sodio, restricción de agua y herpesvirus tipo 5 (Gould 1998, Pérez y col 2003). Pese a esto, ha

habido una tendencia a asumir que los brotes de PEM han sido causados únicamente por una alteración en los niveles de tiamina, debido a que generalmente los animales afectados han respondido favorablemente a la administración de tiamina, aun sin realizarles un test de medición de los niveles de ésta (Gould 1998). Sin embargo, estudios recientes han comprobado la asociación entre sulfuros, sulfatos y PEM (Cebra y Cebra 2004). El azufre (S) fue relacionado por primera vez en 1980 con Polioencefalomalacia (PEM), cuando investigadores determinaron que el Sulfato de Calcio, añadido a las raciones de los bovinos causaba PEM (Niles y col 2002).

Azufre y sulfatos pueden encontrarse en elevadas concentraciones en el agua de bebida, forrajes, suplementos minerales y nutricionales (Cebra y Cebra 2004). Casos en forma natural de PEM han sido reportados y comprobados, tanto en bovinos como en ovinos consumiendo agua con altos niveles de azufre (Niles y col 2002). Por otra parte, el rol de los sulfuros como causantes de PEM, también han sido verificados en estudios experimentales (Gould 1998).

Los animales necesitan el azufre principalmente como parte de compuestos orgánicos que incluyen los aminoácidos cistina, cisteína y metionina (NRC 1996), vitaminas biotina y tiamina; algunos mucopolisacáridos como condroitín sulfato y sulfato de mucoítina; heparina, insulina, coenzima A. Debido a que las proteínas se encuentran en cada célula del cuerpo y que los aminoácidos que contienen azufre son componentes prácticamente de todas las proteínas, teniendo éstas un 0,6 a 0,8% de azufre, éste constituye aproximadamente el 0,15% del peso corporal (NRC 1996).

En el caso de las plantas, es igualmente importante, ya que el azufre, es componente de proteínas ((Nguyen y Goh 1992). Las plantas absorben el azufre, principalmente en la forma de sulfato, a pesar de que en el suelo no más del 10% del azufre se encuentra en esta forma, encontrándose en mayor cantidad en forma orgánica (Alfaro y col 2006). El azufre absorbido es rápidamente incorporado a la molécula de cisteína, que con posterioridad puede ser transferida hasta formar metionina. Estos dos aminoácidos son la principal fuente de azufre en las plantas. Por cada 14 partes de nitrógeno empleadas en la formación de aminoácidos, se requiere de una parte de azufre (Nguyen y Goh 1992). La absorción de azufre y fósforo (también se encuentra íntimamente relacionada, de manera tal que la deficiencia de uno de estos elementos limita el aporte del suelo y la absorción del otro (Mora y col 2002).

Niveles elevados de azufre y los sulfatos consumidos por los rumiantes a través de las plantas, agua y otros alimentos que lo contengan, puede afectar a los animales de variadas formas (Gould y col 2002). La absorción por parte de los rumiantes del azufre se realiza mayoritariamente en la forma de sulfato o como ion sulfuro (NRC 2002). Estos compuestos pueden ser utilizados por los microorganismos del rumen más eficientemente que el azufre elemental. La flora ruminal transforma el exceso en un gas, el sulfuro de hidrógeno, que se acumula en el rumen y traspasa al torrente sanguíneo (Galyean y Rivera 2003). La reducción

de sulfatos en el rumen es realizada por bacterias asimiladoras y degradadoras (Cummings y col 1995). Bacterias asimiladoras incluyen a *Bacteroides*, *Butyvirbio* y *Lachnospira spp*, las cuales reducen los sulfatos para el metabolismo de sus propios aminoácidos que contienen azufre (Cummings y col 1995). El sulfuro de hidrógeno, presente en la capa gaseosa del rumen, difunde fácilmente al torrente sanguíneo, donde es disociado a  $H^+ + HS^-$  debido al elevado pH en la sangre. En la sangre  $HS^-$  es oxidado por el grupo hemo a  $H_2O + S$ , el cual es reconvertido a sulfatos por Sulfurooxidasa, presentes en el hígado (Gould y col 1991). La principal ruta de excreción de los sulfatos, es a través de la orina, algo de sulfato también se excreta por la saliva la cual, cuando es reingerida regresa la carga ruminal de este elemento (Niles y col 2002).

Los efectos neurotóxicos del consumo de elevados niveles de sulfuros no están del todo claros (Cebra y Cebra 2004). Algunos autores mencionan un efecto indirecto de los sulfuros mediante la interferencia en la producción de tiamina (Niles y col 2002). Adicionalmente, se menciona como efecto tóxico de los sulfuros una reducción en la producción de adenosina trifosfato (ATP), debido a la interferencia de los sulfuros con la cadena de transporte de electrones (bloqueando la enzima citocromo oxidasa) o interrupción en la glicólisis. Otro mecanismo señalado para el daño neurológico es vía la formación de radicales libres provenientes de aniones sulfurosos con capacidades destructivas de tejidos similares a la de los radicales hidroxilos (Gould 1998). Los sulfuros además inhiben las enzimas superóxido dismutasa y glutatión peroxidasa las cuales son importantes en el control del daño oxidativo de los tejidos (Niles y col 2002). Adicionalmente, niveles altos de sulfuros pueden intervenir en la absorción y disponibilidad de otros metales trazas importantes como el cobre (Gould y col 2002).

Si bien es cierto, están bien documentados los niveles de consumo recomendado y los niveles máximos (NRC 1996) de Azufre tolerados por los bovinos. En Chile no existen datos concluyentes y específicos publicados indicando exposición de bovinos a dietas o fuentes de agua con concentraciones abundantes de sulfuros o azufre. En Chile el azufre es un mineral frecuentemente deficitario en los suelos (Alfaro 1999), debido a que a no se utilizan fertilizantes portadores de azufre (ej. superfosfato normal). Por otra parte, el azufre también puede ser perdido por lixiviación, debido a la alta precipitación de la zona sur, sin embargo los suelos andisoles presentan una gran capacidad de retención de azufre o sulfatos (Vidal 2003).

En Chile la PEM es una enfermedad poco estudiada, como lo demuestran datos provenientes de una tesis realizada por Fuentealba (1999), en la cual se realizó una encuesta a ganaderos y médicos veterinarios de la zona sur, realizada entre septiembre de 1997 y enero de 1998. Dicha encuesta consultaba acerca de la presencia de enfermedades del sistema nervioso, en ganado lechero de la Décima Región, la cual fue contestada por 112 ganaderos y 60 médicos veterinarios de la práctica rural de la Décima Región del país. En esta encuesta, los resultados indicaron que los signos clínicos más comúnmente observados fueron:



decúbito, temblores musculares, ataxia y agresividad. Afectaba preferentemente a las vacas, por lo cual presumiblemente se puede descartar que sea esta enfermedad.

El objetivo de este estudio fue determinar los niveles de azufre y/o sulfuros presentes en el agua de bebida y la pradera de 15 predios bovinos de carne, de la Décima Región de Chile. Otro objetivo consistió en estimar el consumo total de azufre de los animales de los diferentes predios muestreados y determinar además, si existieron diferencias en los predios provenientes de la depresión intermedia, zona costera y zona precordillerana. Esto, con el fin de determinar potenciales áreas de riesgo de polioencefalomalacia bovina, producida por exceso de sulfuros. La hipótesis nula planteada, fue que las concentraciones de azufre en la pradera y agua de consumo de bovinos de carne provenientes de diferentes zonas de la Décima Región, esta sobre los niveles máximos recomendados.

## **4. MATERIAL Y MÉTODOS**

### **4.1 MATERIALES**

Para la colección de: muestras de pradera y de agua, y su posterior envío al laboratorio se utilizaron los siguientes materiales:

- Tijeras
- Bolsas plásticas
- Envases plásticos de 100 cc
- Cajas de poliestireno expandido

### **4.2 SELECCIÓN DE PREDIOS**

Para el estudio se realizó un muestreo dirigido a predios de 15 productores de carne bovina de la Décima Región de Los Lagos, seleccionados por conveniencia, tanto económica, como por ubicación geográfica. Se escogieron predios de las zonas geográficas costeras, depresión intermedia y de la precordillera, con más de 50 cabezas de ganado de carne. A cada productor se le realizó una pequeña encuesta básica (anexo 1), en la cual se incluyó nombre del predio, cantidad aproximada de animales, tipo de pradera (especies forrajeras, manejo) y ocurrencia de casos que tuvieran signología nerviosa.

Para cada zona en estudio se muestrearon 5 predios, encuestándose a los propietarios o encargados de cada zona geográfica en estudio, con un total de 15 predios. Los predios muestreados incluyeron sectores de Panguipulli, Los Lagos, Futrono, Lago Ranco y Puerto Octay, de la zona precordillerana, Mafil, Llanquihue, Río Bueno y Lanco, de la zona depresión intermedia y Niebla, San José, Pichoy, Mariquina y Paillaco, de la zona costera.

#### **4.2.1 MUESTREO DE AGUA Y PRADERA DE LOS PREDIOS**

Para la determinación de los niveles de azufre en la dieta de los animales bovinos de los predios en estudio, se muestreó el agua de bebida y se tomaron muestras representativas de la pradera que consumían en ese momento. Los muestreos se realizaron en el mes de octubre de 2005.

##### **4.2.1.1 Pradera.**

Se obtuvieron 3 muestras de pradera de los diferentes predios. Para la colección de muestras se utilizó el método aleatorio para toma de muestras de pradera descrito por López y col (1997). Luego las muestras se remitieron en bolsas plásticas al Laboratorio del Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Austral de Chile, para su posterior análisis.

##### **4.2.1.2. Agua.**

Se colectaron muestras de agua en envases de plástico aproximadamente 100 ml de agua. Estas muestras se obtuvieron de la fuente de consumo de agua más frecuente de los animales de cada uno de los predios en estudio. El abastecimiento de agua provenía de diferentes fuentes, como vertientes, esteros (predios 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 11, 12, 13) y pozos profundos (predios 7, 9, 10, 14, 15). Luego, estas muestras fueron trasladadas al Laboratorio del Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias, de la Universidad Austral de Chile, para su posterior análisis como servicio.

Tanto las muestras de agua como de praderas fueron rotuladas con números representativos del predio y enviadas refrigeradas en cajas de poliestireno expandido al laboratorio.

#### **4.3 ANÁLISIS DE AZUFRE EN LA PRADERA**

Para estimar la concentración de azufre y/o sulfatos provenientes de la pradera, las muestras fueron analizadas mediante la técnica de análisis turbidimétricos. Para el análisis, una fracción de la muestra de pradera, es incinerada y pesada, para luego ser mezclada con una solución de ácido acético, a la cual se le agrega Cloruro de Bario ( $\text{BaCl}_2$ ) de modo que forma cristales de Sulfato de Bario ( $\text{BaSO}_4^{-2}$ ) de tamaño uniforme. Se mide la absorbancia luminosa de la suspensión de  $\text{BaSO}_4^{-2}$  con un espectrofotómetro y se determina la concentración de

$\text{SO}_4^{-2}$  por comparación de la lectura con una curva patrón, previamente calculada con una solución estandarizada de Sulfato de Bario ( $\text{BaSO}_4^{-2}$ ). Los resultados de las concentraciones de azufre en la pradera son expresados en mg/L (ppm).

#### **4.4 ANÁLISIS DE AZUFRE EN EL AGUA**

El análisis del contenido de azufre de las muestras de agua se realizó mediante la técnica de mediciones turbidimétricas, explicada anteriormente, con la diferencia que para ello, se extrae directamente una alícuota de agua, la cual se mezcla con una solución de Cloruro de Bario ( $\text{BaCl}_2$ ), y se lee su absorbancia, la cual se interpreta con una curva patrón previamente calibrada. Los resultados de los análisis son expresados en mg/L (ppm) de Sulfatos ( $\text{SO}_4$ ). La cantidad de azufre se obtiene dividiendo la concentración de sulfatos por tres, ya que el azufre contenido en los sulfatos representa el 33,3% de estos.

#### **4.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

Los datos obtenidos de los 15 predios analizados en el presente estudio, fueron incorporados en una planilla electrónica Excel, y posteriormente analizados en base a estadística descriptiva. Se compararon las diferencias de concentración de azufre en la pradera y agua entre zonas geográficas, por ser medidas paramétricas, se realizó análisis de varianza.

Para el análisis de los riesgos de exposición a compuestos azufrados en las dietas se estimó el consumo total de azufre en la dieta. Para calcular el consumo total de azufre se suman la ingesta total diaria, a través de la pradera y del agua, para ello se considero el 2,5 % del peso vivo (PV) como consumo de materia seca de alimento, y un 10% de su PV de agua al día, a temperaturas ambientales promedio de 21 °C (Gould 2000). Las distintas categorías de animales bovinos existentes en los diferentes predios en estudio fueron estandarizadas en unidades animales (UA), definida como una vaca de 500 kg, que consume el 2,5% de su peso vivo(PV) o 4.563 kg de materia seca al año (ANASAC 2007).

## 5. RESULTADOS

### 5.1. CONCENTRACIÓN DE AZUFRE EN PRADERA Y AGUA

Los resultados de las concentraciones de azufre obtenidos en 45 muestras de pradera, y 15 muestras de agua obtenidas de los 15 predios en estudio son presentados en el Cuadro 1 (anexo 2). Las praderas muestreadas estaban compuestas mayoritariamente por praderas mixtas de Ballicas perennes (*Lolium perenne*) y Trébol blanco (*Trifolium repens*).

**Cuadro 1.** Concentraciones de azufre en muestras de pradera y agua y sulfato en agua, obtenidas de 15 predios ganaderos de la Décima Región de Chile, agrupados según zona geográfica.

Predio	Pradera*		Agua		Zona Geográfica
	S (ppm)	± DE	SO <sub>4</sub> (ppm)	S (ppm)	
1	2061	183,6	2,4	0,8	Precordillera
2	2175	50,7	2,1	0,7	
5	2070	122,1	2,0	0,7	
6	2034	165,8	4,3	1,4	
14	2108	134,6	1,6	0,5	
3	2223	16,1	2,0	0,7	Depresión Intermedia
7	2035	140,1	2,5	0,8	
8	2096	61,1	1,7	0,6	
13	1960	83,3	2,5	0,8	
15	2272	85,0	4,3	1,4	
4	2003	91,5	1,6	0,5	Costera
9	2061	94,3	2,4	0,8	
10	1727	216,6	2,9	1,0	
11	2014	62,3	1,8	0,6	
12	2036	179,4	1,8	0,6	
X ± DE	2058 ± 55,8		2,4	0,8 ± 0,3	

\*valores promedio de tres muestras obtenidas para cada predio  
X= promedio, DE= Desviación Estándar, ppm=mg/L

En promedio la concentración de azufre para las 45 muestras de pradera fue de  $2.058 \pm 55,8$  ppm, con un valor promedio máximo de  $2.272 \pm 85$  ppm, correspondiente al predio 15, de la zona depresión intermedia, y un valor promedio mínimo de  $1.727 \pm 165$  ppm en el predio 10 de la zona costera.

Con respecto a las concentraciones de azufre presentes en el agua, los predios 6 y 15, de la zona precordillerana y depresión intermedia respectivamente, presentaron los valores máximos con una concentración de 1,4 ppm. Las concentraciones mínimas se obtuvieron en las muestras de los predios 4, de la zona costera; y 14 de la zona precordillerana.

Al promediar y comparar estadísticamente las concentraciones de azufre de las muestras de pradera y agua de los 5 predios, obtenidas de cada zona geográfica, se obtuvieron los valores presentados en el siguiente cuadro:

**Cuadro 2.** Concentraciones promedio de azufre en la pradera y en el agua de 15 predios ganaderos de la Décima Región de Chile distribuidos según ubicación geográfica.

<b>Zona geográfica</b>	<b>n</b>	<b>Azufre pradera</b>	<b>Azufre agua</b>
Precordillera	5	$2.090 \pm 55$ ppm (a)	$0,8 \pm 0,3$ ppm (b)
Depresión Intermedia	5	$2.117 \pm 129$ ppm (a)	$0,9 \pm 0,3$ ppm (b)
Costera	5	$1.968 \pm 138$ ppm (a)	$0,7 \pm 0,1$ ppm (b)
		$p > 0,05$	$p > 0,05$

Letras diferentes en paréntesis, indican diferencias significativas.

El análisis de las concentraciones promedio de azufre de la pradera, según las 3 zonas geográficas no arrojó diferencias significativas, sin embargo, el valor máximo promedio se obtuvo en las muestras obtenidas en la zona depresión intermedia y el mínimo promedio en las muestras de la zona costera. En las muestras de agua, las concentraciones de azufre, tampoco presentaron diferencias significativas entre las diferentes zonas geográficas, obteniendo el promedio más alto ( $0,9 \pm 0,3$  ppm) la zona depresión intermedia y el valor promedio más bajo ( $0,7 \pm 0,1$  ppm) la zona costera.

## 5.2. CONSUMO ESTIMADO DE AZUFRE

La estimación del consumo diario total de azufre que realizaría un bovino en los predios muestreados, estandarizado a una unidad animal (UA), y un consumo de agua del 10% PV considerando una T° ambiente de 21 ° C, se presenta en el cuadro 3.

**Cuadro 3.** Consumo total estimado diario de azufre por UA, en 15 predios ganaderos de la Décima Región de Chile muestreados a través de la pradera y el agua de bebida. Los valores son expresados en gramos (g) y en % en base a la materia seca consumida (BMS).

Predio	Consumo S g /día agua	Consumo S g /día pradera*	Consumo Total de S g/día	Consumo Total de S %BMS/día	Zona Geográfica
1	0,04	25,8	25,8	0,21	Precordillera
2	0,03	27,2	27,2	0,22	
5	0,03	25,9	25,9	0,21	
6	0,07	25,4	25,5	0,20	
14	0,03	26,4	26,4	0,21	
3	0,03	27,8	27,8	0,22	Depresión Intermedia
7	0,04	25,4	25,5	0,20	
8	0,03	26,2	26,2	0,21	
13	0,04	24,5	24,5	0,20	
15	0,07	28,4	28,5	0,23	
4	0,03	25,0	25,1	0,20	Costera
9	0,04	25,8	25,8	0,21	
10	0,05	21,6	21,6	0,17	
11	0,03	25,2	25,2	0,20	
12	0,03	25,5	25,5	0,20	
X ± DE	0,04 ± 0,01	25,7 ± 1,6	25,8 ± 1,6	0,21 ± 0,01	

\*Consumo de 12,5 kg de MS de pradera (2,5% PV por UA)

Del cuadro 3, se desprende que el consumo promedio total de azufre al día, es de  $25,8 \pm 1,6$  g por UA. Al expresar este valor como % de azufre consumido al día en BMS, se obtiene un consumo promedio de  $0,21 \pm 0,01$  %.

Al promediar los valores de consumo total de azufre por UA, en % BMS por zona geográfica, se obtuvo un valor de  $0,21 \% \pm 0,005$  para la zona precordillerana,  $0,21 \% \pm 0,13$  para la depresión intermedia y finalmente  $0,20 \% \pm 0,014$  para la zona costera.

### **5.3 ENCUESTA**

El análisis de las encuestas indicó que sólo en el predio 5 se reportó un cuadro agudo de 5 vacas con convulsiones, decúbito y posterior muerte, pero sin un diagnóstico del agente causal del cuadro.



## 6. DISCUSIÓN

En el presente estudio, se realizaron mediciones de azufre en muestras de pradera y agua de bebida de 15 predios ganaderos de carne de la Décima Región de Los Lagos (actual Región de los Ríos y Región de los Lagos), Chile. Las muestras fueron recolectadas durante el mes de octubre, en 3 diferentes zonas geográficas: precordillera, depresión intermedia y zona costera.

El valor promedio de azufre encontrado en las muestras de pradera mixta de ballica (*Lolium perenne*) y trébol blanco (*Trifolium pratense*), fue de  $2.058 \pm 55,8$  ppm, con un mínimo de  $1.727 \pm 165$  ppm (predio 10, zona costera) y un máximo de  $2.272 \pm 85$  ppm, (predio 15, zona depresión intermedia) (cuadro 1). Estos valores coinciden con los encontrados por Hernández (2002) en praderas con variedades de ballica de la especie *Lolium perenne*, del Fundo Santa Rosa (Valdivia), en cuyo estudio, las concentraciones de azufre variaron entre 1.200 y 3.300 ppm, dependiendo del corte y la época del año, siendo para el mes de octubre de 2.400 ppm aproximadamente. Estudios realizados en EEUU reportan concentraciones de azufre en pradera, entre 1.700 y 1.900 ppm (Gould y col 2002), y entre 2.500 y 3.000 ppm, según variación estacional en praderas de Nueva Zelanda (Metson y Saunders 1978). Estudios nacionales previos, indican que la concentración de azufre es más alta a principios y a mediados de primavera, declinando durante los meses de verano (Hernández 2002), conforme que la relación nitrógeno: azufre experimenta una disminución con el avance de la madurez de la planta (Whitehead 2000)

Las concentraciones de azufre de la pradera según distribución por zona geográfica (cuadro 2), no evidenciaron diferencias estadísticamente significativas. Esto puede explicarse por el pequeño tamaño muestral que aumenta el error de tipo alfa (Es la probabilidad de rechazar la hipótesis nula cuando es verdadera); o bien podría deberse a la similitud de la conformación botánica de la pradera de los predios en estudio, que en su mayoría se componían de ballicas perenne (*Lolium perenne*) y trébol blanco (*Trifolium repens*). En estas especies los niveles de fijación de azufre son muy similares. Debido a que están constituidas por aproximadamente un 14% de proteína (NRC 1996), requieren abundante nitrógeno y azufre. Por cada 14 partes de nitrógeno empleadas en la formación de aminoácidos, se requiere de una parte de azufre (Nguyen y Goh 1992). El azufre absorbido es rápidamente incorporado a la molécula de cisteína, que con posterioridad puede ser transferida hasta formar metionina. Estos dos aminoácidos son la principal fuente de azufre en las plantas, de manera tal que su deficiencia produce la inhibición de la síntesis proteica (Nguyen y Goh 1992).

Las concentraciones de azufre en las muestras de agua promediaron  $0,8 \pm 0,3$  ppm, con un rango entre 0,5 y 1,4 ppm (cuadro 1). Estos valores se encuentran dentro de los rangos de azufre en agua aceptados para la agricultura en Chile, que van desde 0 a 326 ppm (0 a 20 meq/ L  $\text{SO}_4$ ) (Rodríguez, 2007)\*. Sin embargo, estos resultados son muy inferiores con respecto a los obtenidos por Gould y col (2002), en cuyo estudio informa concentraciones entre 100 y 7.600 ppm, en muestras obtenidas de bebederos en EEUU, así como los encontrados por Hill y Ebert (1997), quien reportaron niveles de 47 ppm, en agua de bebida para ganado, en Nueva Zelanda. Las concentraciones de azufre en las muestras de agua, tampoco presentaron diferencias estadísticamente significativas entre zonas geográficas, lo que al igual que en las muestras de pradera, pudo ser por efecto del reducido tamaño muestral. No obstante, el promedio más alto fue obtenido en la zona depresión intermedia ( $0,9 \pm 0,3$  ppm) y el valor promedio más bajo ( $0,7 \pm 0,1$  ppm) en la zona costera. Estas variaciones según zona geográfica son mínimas, a no ser que se encuentren cercanos a lugares con gran concentración de azufre, como zonas volcánicas, industrias o fábricas, que eliminen gran cantidad de este elemento al medio (Pinochet 2007)\*\*.

Al comparar los valores de azufre hallados en el presente estudio con respecto a los valores reportados en el extranjero, se demuestra que las concentraciones de azufre en agua analizadas tienen un amplio rango de valores, siendo esperable pesquisar cualquier valor (Rodríguez 2007)\*. Las bajas concentraciones encontradas en las muestras de agua, pueden explicarse porque este elemento es frecuentemente deficitario en los suelos del sur de Chile (Alfaro y col 2006), por lo que éstos aumentan la capacidad de retención de este mineral, por ende se produce menor lixiviación de azufre a los causes de aguas (Opazo 1982).

El consumo total estimado de azufre promedio al día, calculado según las concentraciones de la pradera y agua, fue de  $25,8 \pm 1,6$  g por UA, lo que equivale a un  $0,21\% \pm 0,01$  en BMS (cuadro 3). Siendo lo recomendado por el NRC (1996) como requerimiento diario, para ganado de carne 0.15 – 0.20% BMS. El máximo nivel tolerable según NRC (1996) es de un 0,4%, por lo tanto, en ninguno de los predios muestreados habría riesgo de intoxicación por exceso de azufre en la dieta, ni aun cuando el consumo total de este mineral se elevara por un aumento en el consumo de agua. El agua que un animal bebe depende de diversos factores como la tasa metabólica, la raza, el sexo, la calidad y cantidad de la ración y factores ambientales como el viento y la temperatura ambiente. A temperaturas de 5 °C, el consumo de agua es de un 8% del peso vivo, con 20-22° C, es de un 10% y a 31-32° C es de un 18% (NRC 1996). Concentraciones de azufre en agua de bebida mayor a 800 ppm, se consideran eventualmente tóxicas para la ingesta de bovinos (Gould 1998).

---

\*Rodríguez F. Laboratorio de Suelos. Facultad de Agronomía, UACH, Valdivia. Comunicación personal

\*\* Pinochet D. Instituto de Ing. Agraria, Facultad de Agronomía, UACH, Valdivia. Comunicación personal.

Con respecto a la consulta realizada a los productores sobre la ocurrencia de cuadros atribuibles a patologías del sistema nervioso, en los 15 predios encuestados, sólo en el predio 5 se reportó un caso o brote, de vacas con signos de ataxia y posterior muerte. Sin embargo, estos signos pueden ser atribuibles a varias patologías con signología nerviosa de origen metabólico o tóxico, incluyendo hipomagnesemia, timpanismo, o intoxicación (Blood y Radostits 1992). No obstante lo anterior, la presentación de PEM, en alguno de estos predios no debería descartarse por completo, pues, como se mencionó anteriormente, la PEM es un síndrome multifactorial. La deficiencia de tiamina se ha descrito tradicionalmente como la principal o más frecuente etiología de PEM (Gould 1998). Sin embargo, no está del todo claro lo que provocaría la deficiencia de esta vitamina en los predios ganaderos de Chile, en los que se ha descrito el cuadro. Entre los factores que desencadenan la deficiencia de vitamina B1 se mencionan: desordenes en la flora ruminal (en casos de acidosis o cambios bruscos en la alimentación), presencia de bacterias que sintetizan tiaminasas y la administración de medicamentos como levamisol y benzimidazoles (Riet-Correa y col 2007). Aun cuando, la PEM, afecta principalmente a bovinos de entre 8 y 12 meses, confinados o sometidos a cambios bruscos de alimentación (Riet-Correa y col 2007), no se descarta su presentación en animales adultos en pastoreo (Nakazato y col 2000).

Fuentealba (1999), llevó a cabo un estudio con el objeto de reunir información acerca del conocimiento que ganaderos y médicos veterinarios tenían acerca de las enfermedades que afectan al sistema nervioso de los bovinos de lechería, para lo cual realizó una encuesta postal efectuada entre septiembre de 1997 y enero de 1998, contestada por 112 ganaderos y 60 médicos veterinarios de la práctica rural de la Décima Región. Un 62% de los ganaderos contestaron haber observado signos nerviosos en su ganado. Un 97% de los veterinarios respondieron haber observado enfermedades del sistema nervioso en su práctica profesional. Los signos clínicos más comúnmente observados tanto por los ganaderos como por los médicos veterinarios, fueron: decúbito, temblores musculares, ataxia y agresividad. Signos que afectaban preferentemente a las vacas. En relación al diagnóstico de las enfermedades que afectaban al sistema nervioso, un 65% de los médicos veterinarios respondieron que ellos pocas veces llegaban a establecer un diagnóstico etiológico. En cuanto al diagnóstico específico de PEM, los médicos veterinarios reportaron un 5% como máximo de presentación de la enfermedad.

En conclusión, el riesgo de exposición a niveles peligrosos de azufre, para la salud de los animales en los predios estudiados es mínima, ya que las concentraciones de azufre en la pradera y agua están dentro de los parámetros recomendados de consumo para este mineral, por lo tanto se rechaza la hipótesis nula. Las concentraciones de azufre, tanto en las muestras de pradera como de agua, no arrojaron diferencias significativas entre las distintas zonas.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Alfaro, M. 1999. Fertilización azufrada en praderas de la X Región. *Tierra Adentro* 26, 38-40.
- Alfaro M, R Bernier, S Iraira. 2006. Efecto de Fuentes de Azufre Sobre el Rendimiento y Calidad de Trigo y Pradera en Dos Andisoles. *Agric Téc* 66, 283-294.
- ANASAC. 2007. Importancia de la carga animal y la oferta de pradera en el manejo de praderas permanentes. *Acción Ganadera*. 8; 24-25
- Blood, D, MO Radostis. 1992. Medicina Veterinaria Vol. II 7ª Ed. Interamericana. Pp.1546-53. London , England
- Cebra CK, ML Cebra. 2004. Altered mentation caused by polioencephalomalacia, hypernatremia, and lead poisoning. *Vet Clin Food An Pract* 20:287-302.
- Cummings B, H Gould, D Caldwell, D Hamar, 1995. Ruminal microbial associated with sulfide generation with dietary sulfate-induced polioencephalomalacia. *Am J Vet Res*, 56,1391-1395.
- Fuentealba V. 1999. Encuesta a ganaderos y médicos veterinarios acerca de la presentación de afecciones del sistema nervioso en bovinos de lechería de la X Región, Chile. *Tesis de grado. Escuela de Medicina Veterinaria. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile.*
- 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
- Gould, DH, MM McAllister, JC Savage, DW Hamar.1991. High sulfide concentrations in rumen fluid associated with nutritionally induced polioencephalomalacia in calves. *Am. J Vet Res* 52, 1164-1170.
- Gould DH. 1998. Polioencephalomalacia. *J An Sci* 76:309-314.
- Gould DH. 2000. Update on sulfur-related Polioencephalomalacia. *Vet Clin Food An 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.

- Hernández O. 2002. Variación estacional de la concentración de nutrientes minerales en cultivares de *Lolium perenne* L. *Tesis de grado*. Escuela de Agronomía. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile.
- Hill FI, P Ebert .1997. Polioencephalomalacia in cattle in New Zealand fed chow moellier (*Brassica oleracea*). *N Z Vet J* 45,37-39.
- López CI, O Balocchi, M Lailhacar.1997. . Caracterización de sitios de crecimiento de seis especies pratenses nativas y naturalizadas del dominio húmedo de Chile. *Agro sur* 25, 62-80.
- McAllister MM, DH Gould, DW Hamar. 1992. Sulphide-induced polioencephalomalacia in lambs. *J Comp Path* 106, 267-278.
- Metson A, W Saunders. 1978. Seasonal variation in chemical composition of pasture. *N Z J of Agric Res* 21, 355-364.
- Mora, M, P Cartes, R Demanet, I Cornforth. 2002. Effects of lime and gypsum on pasture growth and composition on an acid andisol in Chile, South America. *Com Soil Sc Plant Anal* 33,2069-2081.
- Nakazato L, RA Lemos, F Riet-Correa . 2000. Polioencefalomalacia em bovinos nos estados de Mato Grosso do Sul e São Paulo. *Pesq Vet Bras* 20, 119-125.
- National Research Council (NRC). 1996. Nutrient Requirement of Beef Cattle. National Academy Press. Pp 204-213. Washington DC, USA.
- National Research Council (NRC). 2002. Nutrient Requirement of Dairy Cattle. National Academy Press Pp 131-132 Washington DC, USA.
- Nguyen, ML, KM Goh. 1992. Nutrient cycling and losses based on a mass-balance model in grazed pastures receiving long-term superphosphate applications in New Zealand. 2. Sulphur. *J Agric Sci* 119, 107-122.
- Niles GA, SE Morgan, WC Edwards. 2002. The Relationship between sulfur, Thiamine and Polioencephalomalacia-A review. *Bov Pract*, 36, 93-8.
- Opazo J.1982. Disponibilidad de azufre en suelos de la Región de los Lagos. *Tesis de grado*. Escuela de Agronomía. Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile.
- Pérez E, J Vagnozzi, J Sur, E Odriozola, M Campero, A Odeon. 2003. Análisis retrospectivo de casos con diagnóstico de necrosis cerebrocortical y su relación con herpesvirus bovino tipo 5. *Rev Arg de Microbio* 35,69-73

- Riet-Correa F, R Rivero, F Dultra, R Lemos, C Easton 2007. Polioencefalomalacia en Rumiantes. *XXXV Jornadas Uruguayas de Buiatria, Paysandú, Uruguay*. Pp 191-196
- Vidal A. 2003. Determinación de un índice de retención de S-sulfato agregado en grandes grupos de suelos agrícolas de Chile. *Tesis de grado*. Escuela de Agronomía. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile.
- Whitehead D. 2000. Nutrient elements in grassland. Soil-Plant-Animal relationships. CAB International. Walingford. UK. Pp369.

## 8. ANEXOS

### Anexo 1. Encuesta tipo

ENCUESTA Y DATOS PREDIALES			
NOMBRE DEL PREDIO:		Nº MUESTRA	
UBICACIÓN GEOGRAFICA/COMUNA:			
TIPO DE EXPLOTACION:		SUPERFICIE/HAS.	
CABEZAS DE GANADO APROX:		RAZA/TIPO:	
DESCRIPCIÓN DE LA PRADERA			
FUENTE DE AGUA:			
PROBLEMAS DE SINTOMAS NERVIOSOS		(TEMBLORES, MOV. ANORMALES, INCORDINACION, ETC)	
ANAMNESIS:			
DIAGNOSTICO VET:			

**NOMBRE Y FIRMA DEL PRODUCTOR**

**Anexo 2.** Informe laboratorio de Suelos. Facultad de Agronomía, UACH.

**INFORME LABORATORIO DE SUELOS**

PREDIO	MUESTRA	LECTURA "S" FOLIAR 50g---200 ML			LECTURA SO4 AGUA	
		ABSORBANCIA	CONCENTRACION	Conc. final (ppm)	ABSORBANCIA	CONCENTRACION
1	1	0,3101	11,397	2279,4	0,0072	2,36 ppm
1	2	0,2765	10,163	2032,6		
1	3	0,2547	9,360	1871,9		
2	1	0,2905	10,678	2135,6	0,0056	2,09 ppm
2	2	0,2925	10,750	2150,0		
2	3	0,3049	11,201	2240,2		
4	1	0,2671	9,816	1963,3	0,0027	1,57 ppm
4	2	0,2883	10,597	2119,4		
4	3	0,2622	9,634	1926,9		
5	1	0,2634	9,663	1932,6	0,0051	1,99 ppm
5	2	0,2820	10,362	2072,4		
5	3	0,3000	11,028	2205,6		
6	1	0,3043	11,184	2236,8	0,0184	4,31 ppm
6	2	0,2708	9,9507	1990,1		
6	3	0,2550	9,3686	1873,7		
7	1	0,2678	9,8421	1968,4	0,0078	2,46 ppm
7	2	0,2616	9,6127	1922,5		
7	3	0,3011	11,069	2213,8		
8	1	0,2903	10,669	2133,8	0,0033	1,68 ppm
8	2	0,2907	10,685	2137,0		
8	3	0,2745	10,086	2017,2		
9	1	0,2969	10,912	2182,4	0,0073	2,38 ppm
9	2	0,2717	9,9826	1996,5		
9	3	0,2725	10,016	2003,2		
10	1	0,2072	7,6061	1521,2	0,0104	2,91 ppm
10	2	0,2269	8,3358	1667,2		
10	3	0,2713	9,9704	1994,1		
11	1	0,2631	9,6693	1933,9	0,0040	1,78 ppm
11	2	0,2789	10,249	2049,8		
11	3	0,2701	10,293	2058,6		
12	1	0,265	9,7421	1948,4	0,0038	1,77 ppm
12	2	0,3081	11,325	2265,0		
12	3	0,2577	9,4668	1893,4		
13	1	0,2558	10,129	2025,8	0,0082	2,53 ppm
13	2	0,2522	9,2665	1853,3		
13	3	0,2722	10,002	2000,4		
14	1	0,2956	10,879	2175,8	0,0029	1,61 ppm
14	2	0,2635	9,6759	1935,2		
14	3	0,3009	11,061	2212,2		
15	1	0,3086	11,345	2269,0	0,0181	4,26 ppm
15	2	0,2964	10,896	2179,2		
15	3	0,3222	11,846	2369,2		



## 9. AGRADECIMIENTOS

- A mis padres y hermanos, por todos los sacrificios que realizaron para hacer posible mi permanencia en la Universidad.
- Al Dr. Marcelo Gómez por su apoyo, comprensión, ayuda y paciencia durante la realización del presente estudio.
- Al Ingeniero Agrónomo Dr. Dante Pinochet por su valiosa guía y tiempo dedicado. Al laboratorio de suelos, por su valiosa ayuda en especial al Ing. Agr. Fernando Rodríguez.
- A Bárbara y mis hijos por su apoyo, compañía y por alegrar cada momento.

A todos los amigos que de una u otra forma me ayudaron a concluir este trabajo y con especial dedicación a Carlos Krauss, por la ayuda y apoyo prestado.