

# EL **AZUFRE:**

**EN LA CALIDAD DEL FORRAJE  
Y EN LA NUTRICION  
DE RUMIANTES.**



25884



**INDUSTRIAS PURACE S.A.**  
La compañía del azufre

# **EL AZUFRE EN LA CALIDAD DEL FORRAJE Y EN LA NUTRICION DE RUMIANTES.**

## **Prefacio**

Con el aumento creciente de los costos en la producción agrícola, es importante para el productor obtener los mayores retornos por cada peso gastado en fertilizantes y otros insumos. Esto es de vital importancia no solamente para el agricultor comprometido en la producción agrícola, sino también para el ganadero, ya sea que sus actividades se concentren en la cría de animales en pastoreo o en operaciones de establo.

Cada día es mayor el reconocimiento de la importante función que cumple el azufre en la optimización de la producción de cultivos. En los suelos deficientes en azufre, el uso de fertilizantes azufrados aumentará los rendimientos de cultivo y estimulará el efecto de los fertilizantes NPK. Además, la fertilización con azufre puede mejorar la calidad de muchos cultivos, en especial, los cultivos forrajeros. Como la calidad de los cultivos forrajeros es importante para su utilización por los rumiantes, y, por consiguiente, para la economía de la producción ganadera, éste es de vital importancia en la gricultura actual.

El Dr. S.L. Tisdale ha dirigido numerosas reuniones de extensionistas, personal de la industria de fertilizantes y grupos de agricultores y ha tratado estos temas. El interés mostrado por estos grupos refleja la creciente preocupación por el nivel de azufre en los cultivos forrajeros y su impacto correspondiente en el comportamiento animal. Para satisfacer este interés, el Instituto del Azufre ha producido este Boletín Técnico, que representa una versión ampliada de las conferencias dictadas por el Dr. Tisdale.

*Russell Coleman*  
*Presidente, Instituto del Azufre*

---

# **EL AZUFRE EN LA CALIDAD DEL FORRAJE Y EN LA NUTRICION DE RUMIANTES.**

BIBLIOTECA AGRICOLA  
DE COLOMBIA

## **INTRODUCCION**

Hasta hace relativamente poco tiempo, sólo se le prestaba poca atención a la necesidad del azufre en la nutrición de las plantas y aún menos a su necesidad en la nutrición de rumiantes. Quizás ésto sea comprensible, puesto que los fertilizantes se basaban tradicionalmente en el superfosfato normal, el sulfato de amonio y sales de potasio de bajo grado, fuentes éstas que contenían azufre. El azufre se aplicaba así incidentalmente, lo cual prevenía una deficiencia de este elemento. Pero a medida que comenzaron a utilizarse fertilizantes de alto análisis, comenzaron a aparecer deficiencias de azufre y cada vez se hace más necesario incluir este elemento en los programas de fertilización en muchas áreas de América del Norte y otras partes del mundo.

En por lo menos 33 estados de los EE.UU. y cinco provincias del Canadá, se ha informado de respuestas en rendimiento en condiciones de campo. Dependiendo de las condiciones edáficas, climáticas y de cultivo, estas respuestas han oscilado entre bajas y significativamente altas. En muchos cultivos la fertilización del azufre no solamente resulta en aumentos en el rendimiento, sino también en una mejor calidad, especialmente en el caso de los cultivos forrajeros. En el pasado, estos factores de calidad se habían subestimado en gran medida. Sin embargo, ahora se está reconociendo su impacto en la nutrición de rumiantes. El propósito de este boletín es hacer una revisión de los efectos de la fertilización con azufre en la calidad de los cultivos, y los efectos correspondientes en la nutrición de rumiantes.

La cantidad de azufre requerida por las plantas se puede relacionar con los requerimientos de nitrógeno y fósforo. Por ejemplo, como norma general, las plantas requieren casi tanto azufre (S) como fósforo (P). La relación del 0/o total de N al 0/o total de S (N:S) en la planta también es un indicador de que el azufre se encuentre en niveles adecuados. Dependiendo del cultivo, la relación N: S del material vegetal asociada con un crecimiento óptimo oscila entre 14:1 y aproximadamente 16:1, cuando el contenido de nitrógeno en la planta es adecuado. En algunas áreas esta relación se utiliza como herramienta de diagnóstico para determinar el estado de nutrición de la planta en lo que respecta al azufre. (No debe confundirse esta relación con la relación N:S del fertilizante aplicado, la cual debe ser de aproximadamente 5:1 a 7:1).

En los últimos años los investigadores en el área de la nutrición de rumiantes también han utilizado la relación N:S de la dieta total del animal como medida de la calidad de la ración. La investigación realizada en Australia indica que, para el ganado ovino, se requiere una relación N:S de aproximadamente 10:1 para favorecer el reciclaje del nitrógeno por el animal, lo cual también resulta en la mayor producción de lana y carne. Los trabajos en los EE.UU. tienden a confirmar esta cifra tanto para ovejas como para corderos. Otros estudios también han demostrado que el comportamiento del ganado de carne y lechero se mejora cuando en la dieta se incluyen niveles adecuados de azufre. En este boletín se discutirán ejemplos de estas mejoras en el comportamiento animal como consecuencia de niveles adecuados de azufre en las dietas.

Cuando los suelos contienen bajos niveles de azufre, se pueden esperar respuestas en rendimiento a la aplicación de fertilizantes azufrados junto con mejoras en la calidad del cultivo. Los trabajos de investigación que se resumen en las siguientes páginas sugieren que hay una conexión importante entre el nivel de azufre de la planta, la calidad de cultivo y el comportamiento animal. Además sugiere que se requiere más investigación por agrónomos y zootecnistas para definir más claramente los efectos de la fertilización de cultivos forrajeros con azufre en el comportamiento de los rumiantes.

---

### **Efecto del Azufre en la Calidad de los Cultivos Forrajeros**

---

El efecto del azufre en el rendimiento de muchos cultivos, incluyendo los forrajeros, es bien conocido y está bien documentado. Quizás es menor el conocimiento sobre el efecto de una fertilización adecuada con azufre en la calidad de los cultivos forrajeros.

Las respuestas en crecimiento al azufre aplicado pueden ser muy significativas, tanto en términos de la apariencia de las plantas como de los aumentos obtenidos en rendimiento. Con frecuencia, lo que no se observa, y a veces ni se considera, es el mejoramiento correspondiente en la calidad del fruto (o grano) y las porciones vegetativas del cultivo. Los resultados de trabajos experimentales en los últimos años han mostrado las siguientes mejoras en la calidad de los cultivos:

Aumento en el contenido de Vitamina A de la alfalfa.

Aumento en el contenido de clorofila del trébol rojo.

Aumento en el contenido de proteína de gramíneas y leguminosas.

Disminución en la relación N:S de forrajes.

Disminución en los contenidos de NPK y nitratos en gramíneas.

Mejoramiento en la calidad de la proteína de la alfalfa.

---

### **Contenido de Vitamina A**

---

Los trabajos realizados en Nebraska (28) indicaron que al fertilizar la alfalfa tanto con fósforo como con azufre, se aumentaba el contenido de caroteno en casi un 100%, en comparación con la alfalfa fertilizada solamente con P. Esto se ilustra con los datos mostrados en la Figura 1.

Aunque los rumiantes pueden sintetizar en el rumen una serie de aminoácidos, proteínas y vitaminas solubles en agua, no pueden sintetizar la Vitamina A soluble en grasas. Esta vitamina es esencial para la salud y el desarrollo del rumiante y, con frecuencia, se incluye en los aditivos de los concentrados. Si se asume que a estos animales se les suministra un nivel adecuado en los forrajes, las cantidades de Vitamina A suplementaria podrían disminuirse, reduciendo así los costos de la alimentación.

---

### **Contenido de Clorofila**

---

La clorofila, el compuesto que le da el color verde a las plantas, es el medio mediante el cual la energía solar se convierte

en azúcares, almidones y otros compuestos orgánicos que requieren tanto las plantas como los animales. Se ha demostrado que el azufre afecta marcadamente el contenido de clorofila de muchas plantas de cultivo lo cual, lógicamente, puede influir considerablemente en el color de un heno bien curado. El amarillamiento de las hojas en plantas deficientes en azufre se debe a una síntesis inadecuada de este importante elemento constituyente de las plantas. Algunos trabajos realizados en California (62) ilustran el efecto pronunciado de la adición de azufre a las plantas en el contenido del clorofila de trébol rojo (Cuadro 1).

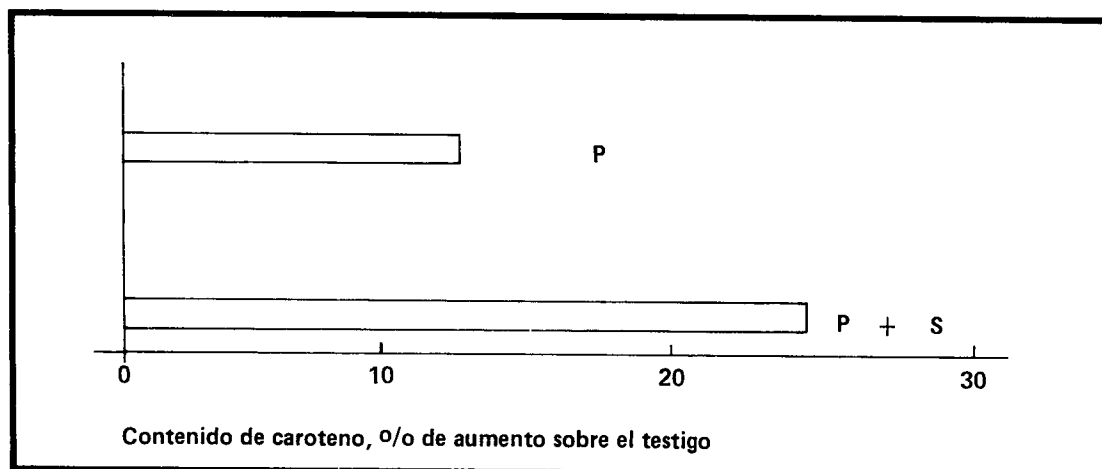


Figura 1. Efecto de la fertilización con P y S en el aumento del contenido de caroteno en heno de alfalfa (28).

Cuadro 1. Efecto del nivel de azufre en el contenido de clorofila de trébol rojo Kenland (62).

Sulfato aplicado ppm S	Contenido de clorofila % peso seco
0	0.49
5	0.54
10	0.50
10	1.02
40	1.18

Al aumentar el contenido de azufre de la solución nutritiva desde 0 hasta 40 ppm, el contenido de clorofila del trébol aumentó de 0.49% a 1.18%. Las consecuencias lógicas de este efecto son evidentes: a mayor contenido de clorofila se favorecen otros factores, mayor la cantidad de energía solar convertida y mayor la cantidad de materia seca producida.

### Contenido de Proteína

El contenido de proteína es una de las propiedades importantes que contribuye a la calidad de los cultivos forrajeros. Dentro de ciertos límites, entre más alto sea el contenido de proteína, mayor la calidad. El suministro de azufre disponible para el cultivo en crecimiento tiene un profundo efecto en la síntesis de proteína y, por lo tanto, en el contenido de proteína de la planta. En el caso de las leguminosas, el efecto es doblemente importante ya que un suministro adecuado de azufre en el medio de enraizamiento es esencial para la fijación de nitrógeno por bacterias del género *Rhizobium*, como también para la síntesis posterior de proteína por la planta hospedante.

El Cuadro 2 y las Figuras 2 y 3 ilustran el efecto del azufre en el contenido de proteína de las plantas.

Cuadro 2. Efecto de la fuente de N y S en el contenido de proteína de cuatro gramíneas (6).

o/o Proteínas (o/o N x 6.25)					
Gramíneas	Testigo	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	Urea	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> + S	Urea + S
Bromo liso	7.4	12.0	11.9	13.4	13.4
Pasto trigo	9.9	15.0	14.8	15.5	15.2
Pasto Timoteo	7.8	12.5	12.5	13.6	13.1
Ryegrass	7.5	12.4	11.9	12.1	12.6

Los datos en el Cuadro 2 ilustran la importancia de incluir un nivel adecuado de azufre al fertilizar a las gramíneas con nitrógeno. La inclusión de azufre junto con ambas fuentes de nitrógeno (urea y nitrato de amonio) resultó en un aumento marcado en el porcentaje de proteína en las gramíneas.

Los datos en la Figura 2 ilustran el aumento considerable en el rendimiento de proteína en alfalfa, como resultado de la inclusión de azufre en el fertilizante (28). Como la alfalfa se cultiva en gran parte por su contenido de proteína, es evidente la importancia de incluir niveles adecuados de azufre en el programa de fertilización de este cultivo.

El ensilaje de maíz es uno de los forrajes más importantes que se les suministra tanto al ganado de carne como al ganado lechero. El contenido total de nutrientes digeribles (TND) de un ensilaje de maíz bien manejado es uno de los más altos entre los cultivos producidos para la alimentación animal, y son prodigiosos los tonelajes que se pueden producir de este cultivo con una alta fertilización y un buen manejo. Sin embargo, el ensilaje de maíz generalmente es bajo en azufre, por lo cual su relación N:S es extremadamente grande. Como se discutirá en la próxima sección, esto causa una utilización menos eficiente por parte del animal.

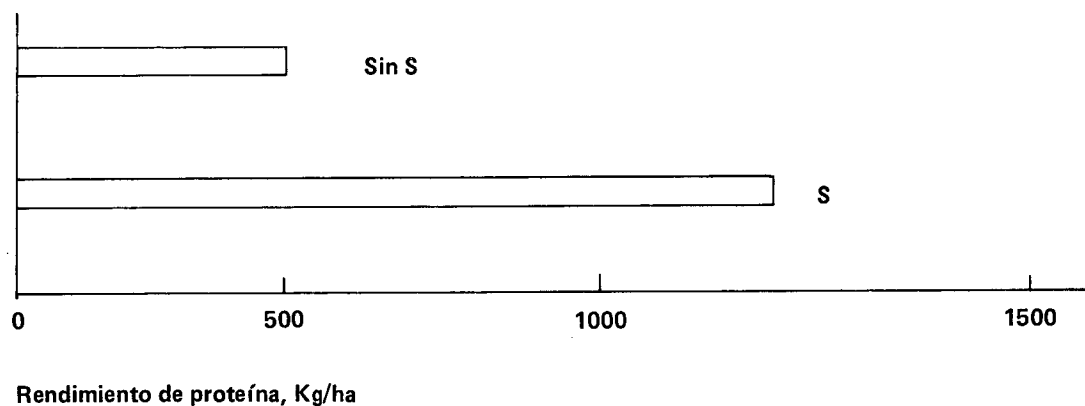
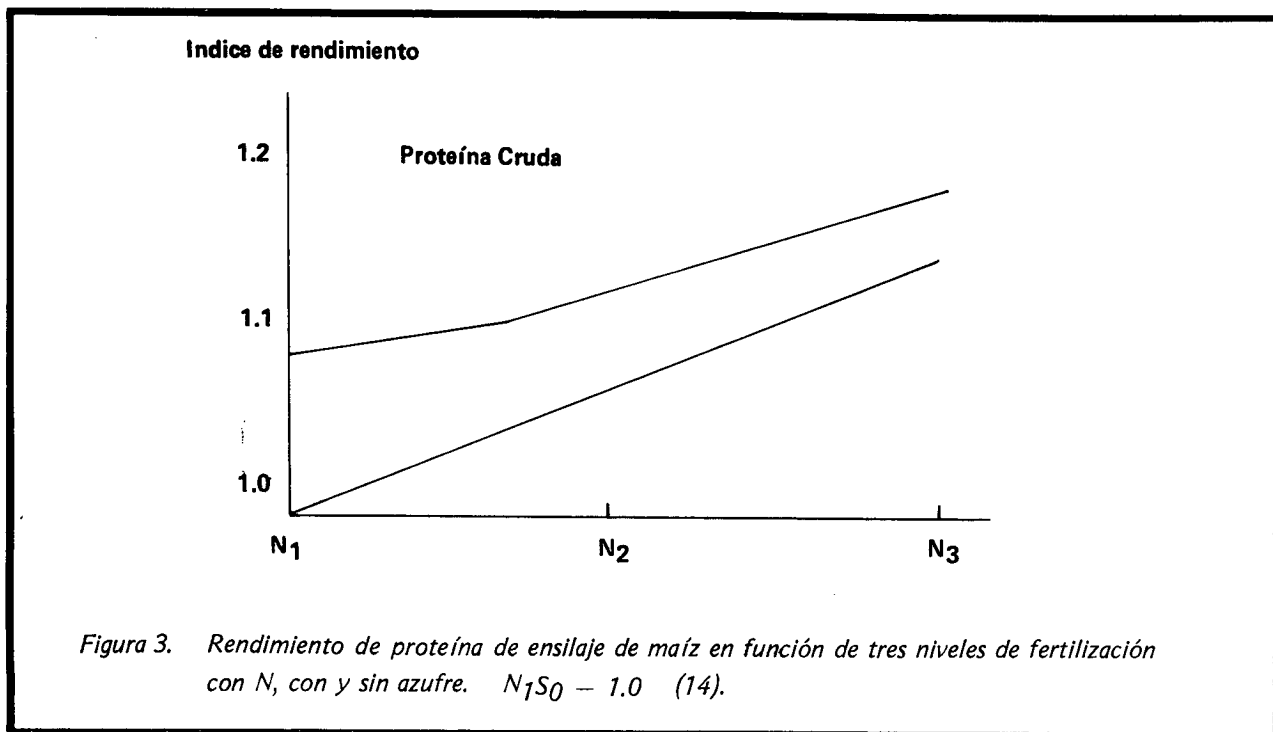


Figura 2. Efecto de la fertilización con azufre en el rendimiento de proteína de alfalfa (28).



Los datos ilustrados gráficamente en la Figura 3 muestran el efecto de incluir azufre en el programa de fertilización del maíz para ensilaje. En cada uno de los tres niveles de N adicionados, la inclusión de S en el fertilizante aumentó el rendimiento de proteína producido por el maíz para ensilaje (14).

### Calidad de la Proteína

Aunque la cantidad de una proteína producida por un cultivo es importante, la calidad de la misma tiene igual o mayor importancia, ya que, como regla general, entre mejor sea su calidad, mejor su utilización por el animal. Esto es especialmente aplicable a los no rumiantes, pero también es en cierta medida válido para los rumiantes. La calidad de una proteína es función de su contenido de aminoácidos esenciales. Este factor de calidad generalmente se expresa en términos del valor AAE, que es el contenido de aminoácidos esenciales de la proteína en cuestión, en comparación con el contenido de estos mismos aminoácidos en la albúmina de huevo. El azufre es un componente de dos de estos aminoácidos, la cistina y la metionina, los cuales son esenciales para la síntesis de proteínas de alta calidad.

Como es de esperarse, el suministro de azufre aprovechable para la planta puede influir en la síntesis de los aminoácidos que contienen azufre y, por consiguiente, en la calidad de la proteína. Hace algunos años, la investigación realizada en Indiana indicó que los contenidos tanto de cistina como de metionina en la alfalfa podrían aumentarse hasta cierto punto al elevar la cantidad de azufre suministrada a la planta (71). En el Cuadro 3 se presenta una parte de los datos que resultaron de este estudio.

*Cuadro 3. Efecto de la concentración de sulfato en la solución nutritiva en los contenidos de metionina, cistina y azufre total de alfalfa (71).*

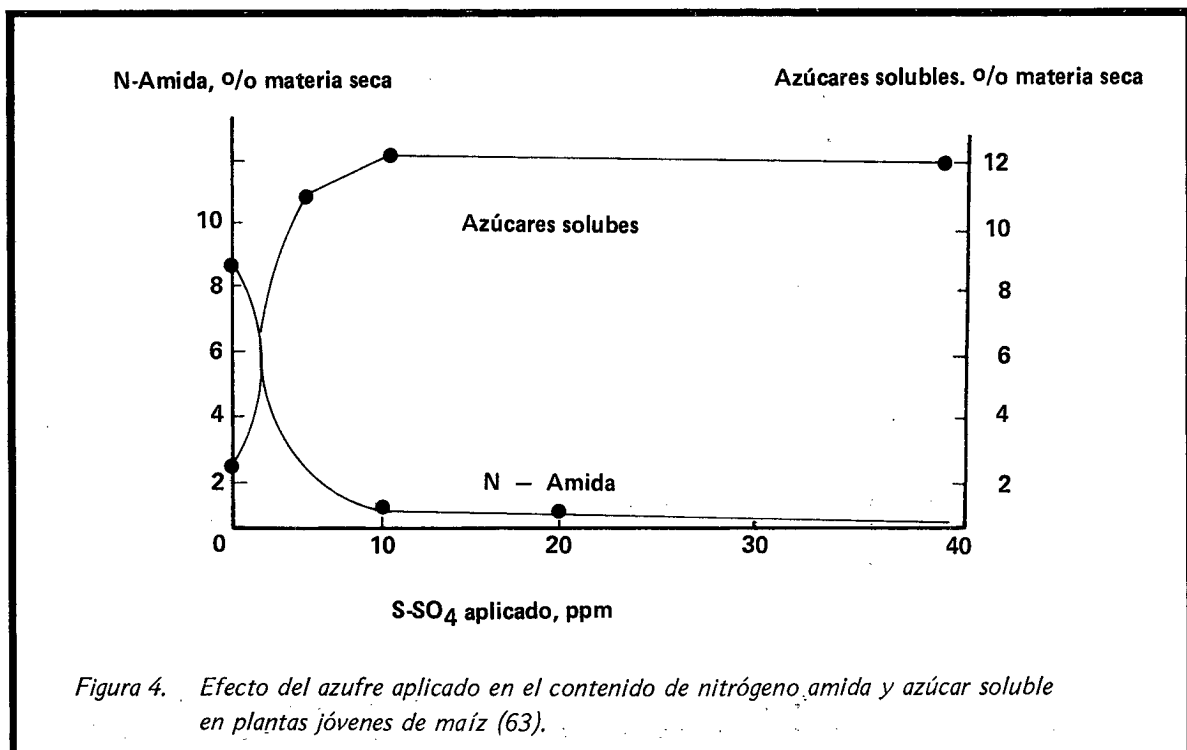
Concentración de SO <sub>4</sub> ppm	Metionina (o/o)	Cistina (o/o)	S Total (o/o)
0	0.071	0.116	0.095
1	0.097	0.129	0.101
3	0.122	0.143	0.125
9	0.143	0.149	0.193
27	0.157	0.160	0.228
81	0.160	0.165	0.243

Es necesario resaltar dos puntos de interés. En primer lugar, los contenidos de cistina y metionina de la alfalfa aumentaron a medida que se elevó el nivel de sulfatos en el sistema radical. En segundo lugar, el contenido total de azufre de la planta aumentó, pero en un grado un poco mayor en comparación con el sulfato adicionado, que el que se observó en el caso de la cistina y metionina.

En la Figura 4 se ilustra gráficamente otra evidencia del efecto del azufre en la síntesis de proteína. La acumulación de nitrógeno en la forma de amida en una planta es un índice de la obstaculización de la síntesis de proteína. En la Figura 4 se puede observar que al aumentar el nivel de S en el medio de enraizamiento se redujo drásticamente el nivel de nitrógeno amida en la planta y, a su vez, condujo a un aumento marcado en el contenido de azúcares solubles. El cambio en estas dos propiedades al aumentar las dosis de S contribuye al mejoramiento en la calidad del forraje producido.

### Nitrógeno no Protéico y Contenido de Nitratos

Los porcentajes de nitrógeno no protéico (NNP, un ejemplo del cual es el nitrógeno amida) y de nitratos son dos factores importantes asociables con la calidad de los forrajes. Entre más altos sean los niveles de estos dos componentes, menor la calidad.



Varios estudios recientes han demostrado el efecto de la fertilización con azufre en la disminución del nivel de ambos constituyentes en las gramíneas fertilizadas con nitrógeno. Los primeros datos provienen de Inglaterra y se presentan en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Efecto del N y S aplicados en la relación N:S, contenido de N y contenido de nitrato de ryegrass (25).

Tratamiento ppm		Cosecha No. 4			Cosecha No. 5		
N	S	N:S	% N	% N-NO <sub>3</sub>	N:S	% N	% N-NO <sub>3</sub>
200	0	83.0	4.64	1.40	34.7	4.34	1.20
200	20	5.9	1.26	0.015	10.3	2.82	0.29

Es sorprendente el impacto de incluir azufre junto con el nitrógeno aplicado. La reducción en la relación N:S es pronunciada. Como se discutirá en una sección posterior, la utilización de los forrajes por los rumiantes con frecuencia está estrecha pero inversamente asociada con la relación N:S -a menor relación (hasta aproximadamente 9.5:1), mayor la utilización de forraje por el animal.

La otra propiedad, el contenido del nitrato del forraje, se redujo significativamente al incluir azufre en el fertilizante. Cuando el nitrógeno en la forma de nitrato está presente en grandes cantidades en los cultivos forrajeros, puede ser perjudicial, e incluso fatal para los animales en pastoreo. Es de interés para el ganadero mantener el nivel de esta sustancia al mínimo en sus cultivos forrajeros y, a la vez, producir altos rendimientos mediante una fertilización adecuada. La inclusión de un nivel adecuado de azufre, junto con un buen manejo y altas dosis de N, P, K, los elementos secundarios y los micronutrientes, ayudará a lograr esta meta.

Los datos presentados en el Cuadro 5 muestran un segundo ejemplo del valor de la fertilización con azufre.

Cuadro 5. Efectos del S elemental en el rendimiento y la composición de pasto azul orchoro (7)\*.

Corte	Dosis S** Kg/ha	Rendimiento ton/ha	Relación N:S	NNP o/o	N-NO <sub>3</sub> o/o
Primer	0	3.74	21.3	1.05	.064
	23	3.72	15.3	.64	.037
	45	3.63	14.3	.59	.051
	90	3.40	12.2	.51	.037
	113	3.40	10.8	.49	.033
Tercer	0***	1.77	21.4	1.22	.211
	23***	2.55	18.7	.85	.184
	45***	2.62	14.8	.49	.144
	90	2.89	13.4	.44	.137
	113	2.76	10.0	.37	.106
Quinto	0***	1.93	21.5	1.30	.500
	23***	2.02	18.5	.97	.569
	45**	2.46	16.7	.72	.526
	90	2.87	11.7	.48	.457
	113	2.69	9.9	.57	.396

- \* Las parcelas recibieron 113 kg de N/ha por corte en 1968.  
 \*\* S aplicado en 1967; no se aplicó en 1968.  
 \*\*\* Síntomas de deficiencia de S observados al momento del corte.

El efecto de aumentar las dosis de S aplicado a pasto azul orchoro (*Dactylis glomerata*) altamente fertilizado con N se observó en una marcada reducción en el forraje en la relación N:S, o/o de NNP y o/o de N-NO<sub>3</sub>. En este experimento particular, es de interés y de importancia anotar que aunque ocurrieron aumentos significativos en el rendimiento del pasto azul orchoro por la aplicación de azufre, estos aumentos en rendimiento no estuvieron ni cerca de ser tan pronunciado como los aumentos en la calidad debidos a las disminuciones en las tres características estudiadas. Los datos en este cuadro enfatizan la importancia del azufre en el mejoramiento de la calidad de las gramíneas fertilizadas con nitrógeno, pese a que sólo se obtengan aumentos modestos en el rendimiento.

### Efecto del Contenido de Azufre en la Digestibilidad

Las cualidades de los cultivos forrajeros influenciadas por la fertilización con S y discutidas en la sección anterior son importantes debido a su impacto en la nutrición de rumiantes. Cuando los cultivos forrajeros no contienen niveles adecuados de azufre y las deficiencias de este elemento en las dietas no se compensan con otros componentes de la ración, es necesario suministrarle al animal S suplementario en alguna forma, si se desean obtener los mejores resultados. Esta sección tratará sobre algunos de los efectos de un nivel inadecuado de azufre en la calidad de los forrajes, según su medición en estudios de digestibilidad. La siguiente sección relacionará ésto con el comportamiento animal, según mediciones hechas en pruebas de laboratorio y ensayos de alimentación *in vivo*.

Se han utilizado experimentos de digestibilidad para estudiar el efecto del azufre en el comportamiento de microorganismos en el rumen. Estos organismos son los responsables de la conversión de la celulosa en otros polisacáridos que pueden ser utilizados por el animal hospedante. También sintetizan mucha de la proteína y la mayor parte de las vitaminas solubles en agua requeridas por el hospedante. Se han utilizado varios criterios para medir el efecto del azufre en la actividad microbiana en el rumen. Son ellos:

Producción microbiana de gas

Digestión de celulosa

Digestión de almidón

Utilización de urea

Síntesis de proteína

---

### Producción Microbiana de Gas

---

El efecto del nivel de azufre y de la relación N:S del trébol rastrero (*Trifolium subterraneum*) en la actividad microbiana del rumen se investigó mediante el uso de una técnica manométrica de gases (36). Se encontró que la producción de gas *in vitro* aumentó considerablemente a medida que se elevó el nivel de azufre en el sustrato de trébol rastrero utilizado en estos estudios. En el Cuadro 6 se muestra esta relación. De estos datos está claro que la producción de gas (y presumiblemente el crecimiento y la actividad microbiana) aumentó al elevarse el contenido de azufre del trébol rastrero (una disminución en la relación N:S).

*Cuadro 6. Efecto de la fertilización con azufre y la relación N:S de trébol subterráneo en la producción microbiana de gas en el rumen (36).*

S adicionado (ppm)	N: S	Producción microbiana de gas en rumen (moles/0.01 g)
0	38	0.77
5	26	0.93
10	19	1.03
15	14	1.04

---

### Digestión de Celulosa

---

La digestibilidad de la celulosa es otra medida del efecto del azufre en la actividad microbiana en el rumen. Al digerir celulosa, el rumiante puede utilizar forraje de baja calidad como fuente de energía para su conversión final en carne, leche y lana. Varios investigadores han estudiado la relación *in vitro* entre el nivel de azufre y la digestión de celulosa (8, 9, 21). En el Cuadro 7 se muestran algunos de sus resultados. En este estudio particular, se utilizó celulosa purificada. Al aumentar el nivel de azufre del medio de 0.08% a 0.43%, aumentó la digestibilidad de la celulosa de 36.6% a 83.2%.

*Cuadro 7. Efecto del azufre en la digestibilidad in vitro de celulosa purificada (8).*

o/o S en materia seca	o/o Digestibilidad de celulosa
0.08	36.6
0.13	56.1
0.18	73.2
0.23	82.3
0.33	83.0
0.43	83.2

También se ha estudiado (21) el efecto del nivel de azufre del medio en la digestibilidad de celulosa de forraje de maíz no purificada. En el Cuadro 8 se presentan algunos de estos resultados. La digestibilidad de la celulosa del forraje de maíz al menor nivel de S fue mayor que la de la celulosa purificada. Sin embargo, al aumentar los niveles de S, la digestibilidad de la celulosa del forraje de maíz aumentó de 70.7% a 81.2% al mayor nivel de azufre (0.23%).

Cuadro 8. Efecto del azufre en la digestibilidad *in vitro* de celulosa de forraje de maíz (8).

‰ S en materia seca	‰ Digestibilidad de celulosa
0.07	70.7
0.12	73.9
0.17	78.7
0.23	81.2

### Digestión de Almidón

Se han presentado informes (38, 39) sobre la digestión de almidón por microflora rumial en función del nivel de S en el medio. Mediante el uso de diferentes fuentes de S, se midió la digestibilidad del almidón a diferentes niveles de S adicionado, utilizando técnicas *in vitro*. El Cuadro 9 muestra algunos de estos resultados utilizando como fuente de azufre  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ . Los datos indican que la digestión del almidón aumentó al elevar los niveles de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ . La máxima digestión del almidón ocurrió entre 2.0 y 3.0 mg de S por ml de medio.

Cuadro 9. Efecto del tiosulfato de sodio adicionado en la digestibilidad *in vitro* de almidón (39).

ug S/ml	‰ digestión	
	Ensayo 1	Ensayo 2
0.0	23.3	29.8
0.5	—	49.3
1.0	50.7	62.6
2.0	61.2	70.2
3.0	64.3	69.2
10.0	66.2	75.6

El sulfato de sodio también se utilizó como fuente de azufre. En el Cuadro 10 se presenta una parte de los datos de digestibilidad para este material. Nuevamente, la digestibilidad aumentó al elevar los niveles de S en el Ensayo 1, la máxima digestión ocurrió a 4.00 mg de S/ml y los otros dos a 2 mg de S/ml.

Cuadro 10. Efecto del sulfato de sodio adicionado en la digestibilidad *in vitro* de almidón (39).

ug S/ml	‰ Digestión		
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
0.0	24.1	20.5	30.8
0.5	27.3	27.0	39.8
1.0	34.8	39.0	42.1
2.0	51.9	44.8	55.0
3.0	56.1	43.8	—
4.0	60.8	43.0	—

La metionina con frecuencia se utiliza como suplemento alimenticio tanto para rumiantes como para no rumiantes. Los no rumiantes deben tener su azufre en la forma orgánica, usualmente en la forma de metionina. Sin embargo, los rumiantes, mediante los microorganismos del rumen, pueden sintetizar su metionina (y azufre proteínico) a partir de azufre inorgánico y NNP. Las fuentes inorgánicas, incluyendo el azufre en forma sulfatada contenido en los materiales vegetales, generalmente son menos costosas que las cantidades equivalentes de S contenidas en la metionina. En el Cuadro 11 se presenta una parte de los resultados de un experimento *in vitro* en el cual se estudió el efecto del nivel de metionina en la digestibilidad del almidón.

Cuadro 11. Efecto de la metionina adicionada en la digestibilidad *in vitro* del almidón (39).

ug S/ml	o/o Digestión		
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
0.0	23.4	30.8	31.5
0.25	32.0	38.4	31.5
0.5	33.3	32.2	31.6
1.0	32.0	41.0	33.7
2.0	42.3	44.0	41.8
3.0	43.0	46.4	—
4.0	47.7	48.1	—

La digestibilidad del almidón aumentó al elevar los niveles de metionina adicionada. Sin embargo, es interesante anotar que la metionina no pareció ser tan efectiva como fuente de azufre como el  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  o el  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , como se muestra en los Cuadros 10 y 11.

### Utilización de Urea

Otra medida del efecto del azufre en la actividad de los microorganismos rumiantes es su habilidad para sintetizar proteína a partir de urea. La relación se ha investigado en estudios *in vitro* en los que se ha comparado el efecto de varias fuentes de S en la síntesis de compuestos nitrogenados bacterianos, la utilización de  $\text{NH}_3$  y la digestión de celulosa en un período de incubación de 48 horas. En el Cuadro 12 se muestra una parte de estos datos. Es evidente que las tres fuentes de azufre utilizadas en este estudio afectaron significativamente el valor de estos tres parámetros en comparación con el testigo sin azufre.

Cuadro 12. Efecto de la fuente de azufre en la utilización de urea y digestión de celulosa por bacterias del rumen *in vitro* (29).

	Testigo	AHM*	DLM**	$\text{Na}_2\text{SO}_4$
N Bacteriano (mg/botella)	23.9	30.2	31.1	33.2
N amoniacal (mg/botella)	20.4	12.2	12.9	8.8
Digestión de celulosa (o/o)	59.0	74.8	75.3	71.7

\* Análogo hidroxilo de metionina

\*\* D-L Metionina

Otro trabajo realizado *in vitro* (33) ha demostrado que la adición de varios compuestos azufrados a sustratos de rumen artificiales tuvo una influencia pronunciada en la síntesis de riboflavina, la cantidad de celulosa digerida y la utilización de amoníaco por la microflora ruminal, como se ilustra en el Cuadro 13. Entre las fuentes estudiadas, la cistina fue la menos efectiva, pero todos los materiales ejercieron un impacto positivo significativo en las tres actividades indicadas.

Cuadro 13. Efecto de la fuente de azufre en la síntesis *in vitro* de riboflavina, digestión de celulosa y utilización de urea (33).

	Testigo	50 mg de S en la forma de:		
		Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Metionina	Cistina
Riboflavina (ug/matraz)	34.7	170.7	267.7	126.7
Celulosa digerida (°/o)	9.5	50.0	52.0	20.0
NH <sub>3</sub> utilizado (mg)	27.0	239.0	243.0	127.0

### Síntesis de Proteína

En un estudio reciente (34), se compararon *in vitro* 12 compuestos de azufre inorgánico por su efectividad en promover la síntesis de proteína microbiana en el rumen y de varios ácidos grasos volátiles. La síntesis de proteína a partir de estos materiales disminuyó en el siguiente orden:

(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> > S > Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> > K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> > CaSO<sub>4</sub> > Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> > BaSO<sub>4</sub> > Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> > MgSO<sub>4</sub> > K<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> > CaS

Todos los materiales resultaron en una síntesis de proteína significativamente mayor que el testigo sin azufre.

Con base en esta pequeña revisión del efecto del azufre en las actividades microbianas de los rumiantes, es evidente que hay una serie de reacciones bioquímicas benéficas para la población microbiana y el organismo hospedante, las cuales se intensifican por la presencia de un nivel adecuado de azufre en el sustrato en el cual se alimentan estos organismos.

### Efecto del Azufre en el Comportamiento Animal

En las secciones anteriores se ha discutido la función del azufre en la calidad del forraje, según se ha medido en pruebas químicas y biológicas. Sin embargo, es necesario medir en últimas el efecto del azufre en las dietas en el comportamiento animal en vivo. En esta sección se revisará brevemente el efecto del nivel de azufre en las dietas en el comportamiento de ganado ovino y ganado bovino de carne y leche.

### Ganado Ovino

Hay numerosa literatura que informa de aumentos en la producción de lana y carne como consecuencia de un aumento en el consumo de azufre por ovejas y corderos en su dieta. Hay numerosos ejemplos, especialmente en la literatura australiana, de aumentos significativos en la producción de lana por infusiones del abomaso de ciertas proteínas y aminoácidos altos en azufre. Sin embargo, en este boletín se discutirán mejoramientos en la producción animal solamente como resultado de ensayos normales de alimentación.

Los resultados de varios estudios realizados en forma relativamente reciente en la URSS y otros países europeos han mostrado aumentos en el crecimiento de la lana, la producción de carne y la calidad de la lana. Un estudio realizado en Rumania (65) mostró que los pastos fertilizados con sulfato y S elemental produjeron lana 24.66°/o y 10.30°/o más larga que la producida en parcelas sin azufre. Los aumentos en el rendimiento de lana fueron 33 y 22°/o mayores que el testigo para las parcelas con sulfato y S elemental, respectivamente.

El aumento del contenido de azufre en raciones para ovejas hasta aproximadamente 0.27°/o con sulfato de amonio o S elemental, resultó en un mayor corte de lana y en una mejor resistencia de la lana, según trabajos recientes en la URSS (52). Otros trabajos de ese país indican que la suplementación de raciones para ovejas con una solución coloidal de monosulfuros, tiosulfuros y polisulfatos tuvo un efecto favorable en la productividad, supervivencia y peso corporal de ovejas.

En otros trabajos rusos (27), la suplementación de la dieta de las ovejas con tiosulfato de sodio hasta un nivel de 3.8 g de S/Kg de materia seca dio aumentos significativos en el corte de lana y en la utilización más eficiente de los alimentos por el animal. En otros estudios (68), la suplementación con azufre de la dieta de ovejas Ascanian de lana fina, aumentó la producción de lana de 10 a 20% y causó aumentos en las ganancias de peso. También se indicó que la calidad de la lana mejoró. Otro informe de investigadores rusos (50) indica que la suplementación de la dieta de ovejas con azufre coloidal aumentó la utilización del nitrógeno en la dieta por parte de los animales y también la tasa de crecimiento de la lana.

En Australia se han adelantado investigaciones considerables que muestran que los mayores niveles de azufre en la dieta causan una mayor producción de carne y lana y que también pueden:

1. Aumentar el consumo de alimentos.
2. Aumentar la digestibilidad de materia seca, fibra y celulosa y
3. Mejorar el balance de nitrógeno del animal.

Esto se ilustra en los datos que se presentan en los Cuadros 14 y 15.

*Cuadro 14. Efecto de la relación N:S en la dieta, en la digestión de concentrados en ovejas (19).*

Relación N:S en dieta	Porcentaje de ración consumida	Digestibilidad aparente de materia seca (o/o)	Digestibilidad aparente de fibra cruda (o/o)
24.0	84	46.6	43.3
9.7	94	51.9	51.4
4.3	98	58.8	58.2

*Cuadro 15. Efecto de la relación N:S de la dieta en el balance de N en ovejas (32).*

Relación N:S en la Dieta	Balance de N (g/día)
34.3	2.93
10.9	3.46
11.5	4.21
6.4	4.85

De los datos presentados en el Cuadro 14, es evidente que la relación N:S de las dietas de los animales tuvo un efecto pronunciado en el consumo y la digestibilidad del alimento. Este último punto es especialmente significativo, puesto que indica que los animales utilizaron un mayor porcentaje de celulosa y fibra a mayores niveles de azufre en la dieta. Esto, a su vez, implica una mayor eficiencia de uso y conversión del alimento de una fuente de energía que de otra manera no sería utilizable, a una forma que puede ser utilizada por el animal y, en últimas, por el hombre.

Los datos en el Cuadro 15 tienen el mismo interés puesto que también indican el efecto positivo del azufre en las dietas al aumentar la eficiencia de utilización del nitrógeno por el animal. El nitrógeno (proteína) es quizás uno de los insumos más costosos de las dietas suministradas a los rumiantes. Un suministro adecuado de azufre en las dietas favorece su reciclaje y posterior utilización por el animal. Este es otro punto de gran interés para el productor de carne, lana y leche, puesto que significa una disminución en el costo de la ganancia por libra de carne, leche o lana producida.

Trabajos recientes realizados en Queensland, Australia, compararon la efectividad de la fertilización de forrajes con azufre con la suplementación de las dietas con azufre, en el consumo y la digestibilidad de materia seca. El Cuadro 16 presenta una parte de los resultados de este estudio. A partir de estos datos es evidente que tanto la fertilización como la suplementación con azufre resultaron en aumentos significativos tanto en el consumo como en la digestibilidad de la materia seca. Aunque ambos tratamientos probaron ser benéficos, el consumo de materia seca fue mayor cuando el forraje se fertilizó con azufre que cuando el forraje de menor calidad se suplementó con este elemento.

Cuadro 16. Efecto del azufre en el consumo y digestión de concentrados (5).

	Sin fertilizante de S		Con fertilizante S	
	Sin suplemento	Suplemento de S	Sin suplemento	Suplemento de S
S total en la dieta (día)	0.6	1.4	1.4	2.0
Consumo de materia seca (g/kg W 0.75)	44	57	64	65
Digestibilidad de materia seca (o/o)	55	61	60	59
Tiempo de retención en el rumen (horas)	24	—	20	—

El efecto de la relación N:S en las ganancias diarias por ovejas se ilustra con datos obtenidos de California (64) y que se muestran gráficamente en la Figura 5. Es obvio que a medida que aumentó la relación N:S de 10.8 a 17.0, las ganancias diarias promedio de las ovejas disminuyeron de 0.153 lbs a 0.084 lbs, una disminución de casi un 50%.

Se podrían presentar muchos otros ejemplos sobre el efecto del azufre dietéticos en el comportamiento de ovejas y corderos. Sin embargo, los anteriores son representativos de los datos existentes.

### Ganado de Carne

Por kilo de peso corporal, el ganado de carne no parece requerir tanto azufre en las dietas como los ovinos que requieren este elemento para la síntesis de lana además de sus otras necesidades corporales. Sin embargo, hay varios informes que indican respuestas del ganado de carne al azufre en las dietas y a continuación siguen algunos ejemplos.

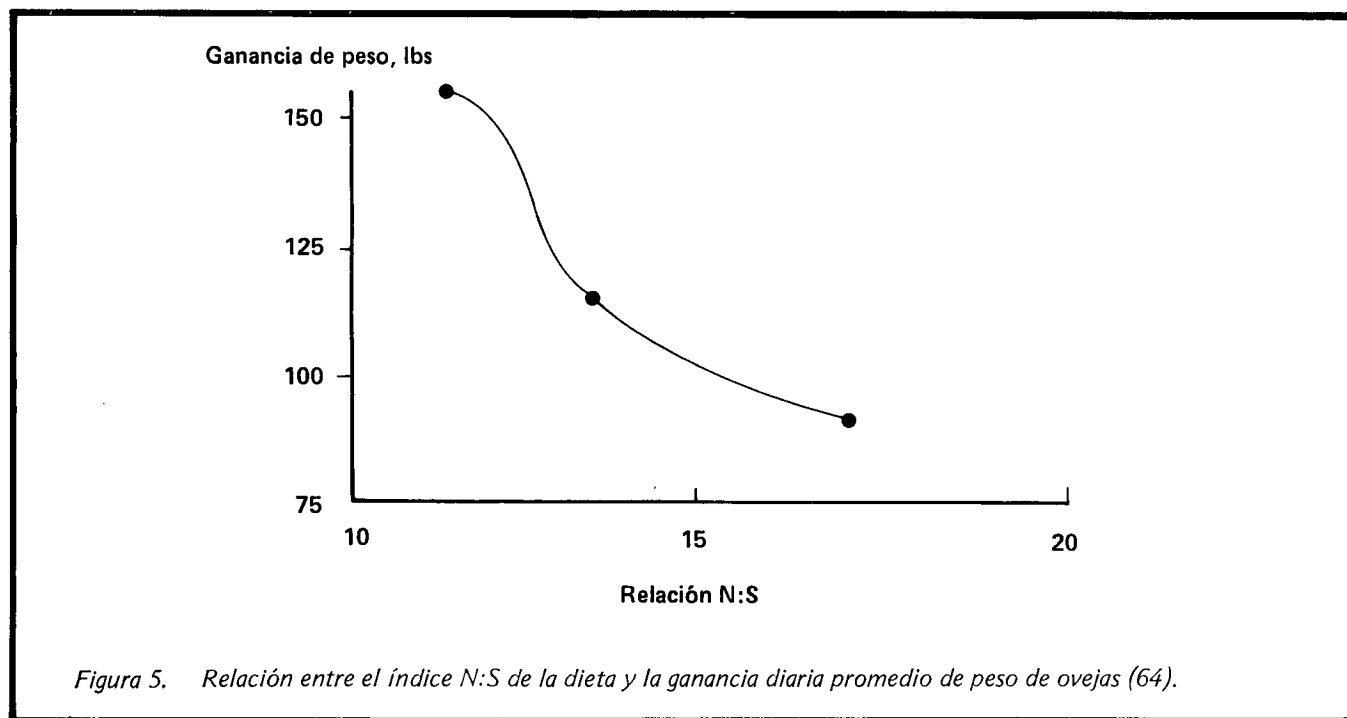


Figura 5. Relación entre el índice N:S de la dieta y la ganancia diaria promedio de peso de ovejas (64).

Trabajos recientes realizados en Australia (40) con novillos alimentados con pasto enredo (*Heteropogon contortus* L.) con y sin suplementaciones de urea o urea — azufre, mostraron aumentos significativos en la retención por los animales tanto de N como de S. En el Cuadro 17 se presenta una parte de estos datos.

Cuadro 17. Efecto de la adición de suplementos al pasto enredo y Stylo Townsville suministrado a novillos (40).

	Pasto enredo	+ urea	+ Urea $\text{H}_2\text{SO}_4$	Stylo Townsville	+ $\text{H}_2\text{SO}_4$
Consumo de N (g/día)	17.8	36.7	43.6	55.4	57.4
Retención de N (g/100 g de consumo de N)	-122.0	9.0	18.0	5.2	9.5
Consumo de S (g/día)	3.8	2.5	6.1	7.4	10.7
Retención de S (g/100 g de consumo de S)	-5.4	-39.7	34.3	18.9	39.0
Concentración de AGV (mM/l)	68.8	72.8	78.8	80.0	90.0

De manera similar, la producción de ácidos grasos volátiles aumentó cuando el pasto enredó y el stylo Townsville se suplementaron con azufre (Cuadro 17). Los ácidos grasos volátiles producidos en el rumen son utilizados por el animal como fuente de energía, y su mayor producción en el rumen constituyen una medida de un aumento en la eficiencia de utilización del alimento por el animal.

Un trabajo realizado en la Universidad del Estado de Iowa (24) mostró varias mejoras en el comportamiento animal como resultado de la adición tanto del análogo hidroxilo de metionina (AHM) como de azufre inorgánico a un suplemento testigo Iowa-105. Algunos de los datos se presentan en el Cuadro 18. Aunque ambas fuentes de azufre resultaron en un mejoramiento del comportamiento, el suplemento de azufre inorgánico dio los mejores resultados.

Cuadro 18. Efecto de la adición del análogo hidroxilo de metionina (AHM) y azufre orgánico a suplementos a base de urea (Towa-105) para novillos jóvenes de engorde (24).

Tratamiento	Testigo	3 g	AHM 4.5 g	9 g	Azufre Inorgánico
Ganancia diaria promedio (en lbs)	2.78	2.95	2.91	2.70	3.11
Concentrado/100 lb de ganancia (lbs)	713	664	691	722	650
Costo de concentrado/lb de ganancia (centavos)	13.4	12.6	13.2	14.0	12.3

Los investigadores de California informaron que la fertilización con azufre de pasturas anuales resultó en aumentos sustanciales tanto en las cargas animales como en las ganancias promedio de los novillos durante las estaciones de forraje verde y seco (73).

Un ensayo de alimentación realizado en Mississippi (59) con novillos alimentados con ensilaje de maíz de alta energía, con y sin suplementación de S, mostró algunas mejoras interesantes en el comportamiento animal como consecuencia de las adiciones de azufre. En el Cuadro 19 se presenta una parte de los datos.

De importancia particular en este cuadro son los datos que muestran disminuciones en el costo del alimento por kilogramo de ganancia, y el aumento en el porcentaje de carne en canal clasificada en las mejores calidades como resultado de la suplementación con azufre. Aunque las disminuciones en los costos de los alimentos son pequeñas con base en el costo por Kg. de ganancia, estas cifras adquieren una proporción significativa cuando se considera la cantidad de carne producida por lote de alimentación donde se considera la cantidad de carne producida por lote de alimento donde se alimentan miles de novillos al año.

Cuadro 19. Comportamiento en establo y características de la carne en canal de novillos alimentados con ensilaje de maíz de alta energía tratado con urea con y sin la adición de azufre (59).

Tratamiento	Testigo	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Ganancia promedio (lbs)	359	364	377
Ganancia diaria promedio (lbs)	2.69	2.73	2.82
Costo de concentrado/lb de ganancia (centavos)	6.14	6.01	6.03
Carne producida/acre (lbs)	1559	1619	1618
Canal de mejor calidad (o/o)	54.1	62.5	62.5

La información presentada en esta sección sólo representa una parte de los datos disponibles que tratan sobre este tópico.

### Producción de Leche

En varios casos se ha informado del efecto del nivel de azufre en las dietas en la producción de leche, Trabajos realizados en Rusia (42) indicaron que la suplementación de raciones de vacas lecheras con 30 g. de sulfato de sodio por día durante 30 días aumentó la digestibilidad de celulosa en 13%. También se encontró que, como resultado del tratamiento con azufre, aumentó la producción de sólidos, grasas, proteína y caseína en la leche.

Otros trabajos realizados en Rusia (56) mostraron que al suplementar la dieta de ganado lechero con 0.03 g. de S elemental por Kg. de peso corporal, aumentó el contenido de Vitamina A de la leche en 62.5%.

El efecto de adicionar monosulfato de potasio y sulfato de sodio en la calidad de la leche y el queso también ha sido estudiado por investigadores rusos (76). Las adiciones de P y S resultaron en un mayor contenido de caseína en la leche y en un mejor aroma y sabor. También se informó de un mayor contenido de proteína y grasa en el queso.

En los EE. UU. se han investigado experimentalmente varios compuestos que contienen azufre, con el fin de determinar su efecto en la producción de leche. Estos incluyen el análogo hidroxilo de metionina (AHM), el sulfato de sodio, el sulfato de calcio, una mezcla de sulfatos de potasio y magnesio y azufre elemental. En una serie de ensayos relativamente extensa en Virginia, Delaware, California y Maryland (13), se encontró que la producción de leche y crema aumentó significativamente por la adición de AHM al alimento. En estos ensayos, la novilla promedio que recibió AHM superó al testigo promedio en 2.9 lbs de leche y 0.14 lbs de grasa por día en la primera mitad de una lactación completa. En una proyección a 305 días, esto sumó a una ganancia de 819 lbs de leche y 38 lbs de grasa.

Otros trabajos de Wyoming (1) indicaron que al fortificar la dieta de las vacas lecheras se aumentaba la producción de leche entre 0.9 y 1.6 Kg/día. También aumentó la producción de grasa para mantequilla.

Una serie de estudios recientemente realizados en Ohio y Quebec (15, 16, 17, 18) compararon la efectividad de varias fuentes inorgánicas de S y AHM en el comportamiento de vacas lecheras en lactación. En los siguientes párrafos se discuten algunos de los resultados obtenidos.

En un estudio se compararon cuatro niveles de azufre en la dieta (0.10%, 0.15%, 0.18% y 0.18%) (15). El nivel del 0.10% fue el de la dieta basal, los niveles de 0.15% y 0.18% se suplementaron con sulfato de sodio y el último nivel de 0.18% se suplementó con AHM. En el Cuadro 20 se presenta una parte de los resultados. De estos datos es evidente que la suplementación con S tanto con sulfato de sodio como con AHM aumentó la producción diaria de leche. Los tratamientos con sulfato de sodio también aumentaron la absorción de materia seca y el consumo y la absorción de N, en contraste con la AHM que no tuvo efecto en estos tres factores. La digestibilidad de materia seca aumentó a ambos niveles de S adicionado tanto en la forma de AHM como de sulfato de sodio.

Cuadro 20. Efecto de la adición de azufre a la dieta en el comportamiento de vacas lecheras en lactancia (15).

Ración	Basal (0.10% S)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (0.15% S)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (0.18% S)	AHM (0.18% S)
Materia seca absorbida (g/Kg/día)	17.9	19.2	19.0	17.4
Leche producida (g/kg/día)	33.6	35.6	34.7	34.6
Digestibilidad aparente de MS (o/o)	70.6	72.1	72.9	72.1
Relación N:S en la dieta	19.6	14.4	11.9	12.4

En el mismo estudio, se compararon dos fuentes de azufre (sulfato de potasio-magnesio y sulfato de sodio) a dos niveles de S (0.18% y 0.24%) con una ración de base que contenía 0.06% de S. El Cuadro 21 presenta una parte de los resultados. Los datos indican que hubo un aumento en la materia seca digerida y absorbida y un aumento en la producción de leche, como consecuencia de la adición de ambas fuentes y cantidades de azufre a la ración.

Cuadro 21. Efecto de la adición de azufre a la dieta en el comportamiento de vacas lecheras en lactancia (15).

Ración	(0.6% S)	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + MgSO <sub>4</sub> (.18% S)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (.18% S)	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> MgSO <sub>4</sub> (.24% S)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (.24% S)
Materia seca absorbida (g/kg/día)	18.1	20.3	20.2	20.5	19.7
Leche producida (g/kg/día)	35.0	39.7	40.0	40.9	40.2
Digestibilidad aparente de MS (o/o)	67.8	71.1	72.0	71.6	72.0
Relación N:S en la dieta	35.7	12.9	13.2	9.4	8.9

En otro estudio se comparó el sulfato de calcio, la melaza y el sulfonato de lignina como fuentes de S en la dieta (16). Los resultados de este ensayo mostraron que el sulfonato de lignina se dirigió pobremente y que el azufre en la melaza estuvo ligeramente menos disponible que el contenido en el sulfato de sodio. El sulfato de calcio fue utilizado tan eficientemente como los sulfatos de sodio o potasio-magnesio a niveles de 0.15% de S en la dieta. A niveles de 0.3% de S o más, el consumo de alimentos disminuyó y se observó una retención excesiva de S por los animales.

En otros estudios realizados por los mismos investigadores, se concluyó que el azufre inorgánico suplementario de los sulfatos de sodio, calcio y magnesio sostuvo la óptima utilización del S cuando se suministró en la dieta a niveles de 0.2% de S en vacas que produjeron hasta 35 Kg de leche por día (18). Mayores concentraciones no tuvieron efecto en el N, el S o la digestibilidad de la materia seca, pero concentraciones de S de 0.35% o más se asociaron con una disminución en el consumo de materia seca.

Estudios recientes realizados en Ohio (53, 57) indicaron que el ensilaje de maíz finamente picado y suplementado ya sea con sulfato de sodio o sulfato de potasio-magnesio, aumentó el consumo de materia seca y la digestibilidad en ovejas preñadas y en lactación. De estos estudios se concluyó que el ensilaje de maíz sólo, al suplementarlo con una de las sales inorgánicas de sulfato, le proporcionará a las ovejas en esta condición todos los nutrimentos necesarios para su mejor comportamiento.

## Resumen y Conclusiones

Los datos presentados en este boletín sugieren que un suministro adecuado de azufre está asociado con varios factores que determinan la calidad de los cultivos forrajeros. Estos factores incluyen el contenido de Vitamina A, el contenido de clorofila, la cantidad y la naturaleza de la proteína vegetal, el nivel de nitratos y el contenido de nitrógeno no protéico. También se ha demostrado que el nivel de azufre en el forraje y su relación N: S se asocian con la digestibilidad de la materia seca, el consumo de materia seca, la síntesis de proteína microbiana y el reciclaje y la utilización del nitrógeno. En estudios con animales en vivo, los niveles adecuados de azufre y las bajas relaciones N:S se han asociado con los mejores resultados en ovinos y bovinos de carne y leche.

En algunos de los trabajos discutidos, el comportamiento animal se relacionó con el contenido de azufre (y la relación N:S) del forraje en sí. En otros trabajos, el comportamiento animal se relacionó con diferentes niveles de S en las dietas, obtenidos al adicionarles a los forrajes o las dietas, las cantidades deseadas de varios compuestos azufrados. En ambas situaciones, los resultados fueron más o menos los mismos —aumentos en el comportamiento animal como consecuencia de aumentos en el contenido de azufre de la dieta total, hasta un nivel de aproximadamente 0.20 a 0.25% de S.

Este boletín no sugiere que el azufre suplementario a las dietas o que la fertilización de los cultivos con azufre mejorarán, en todos los casos, el comportamiento animal. Si los niveles de azufre en las dietas son adecuados (0.20 a 0.25% de S y relaciones N:S de 10:1 a 12:1), generalmente no se puede esperar un mejoramiento en el comportamiento. Por otra parte, si los niveles de azufre en las dietas son inadecuados (0.15 a 0.18% de S o menos y relaciones N:S superiores a 13:1), con mucha frecuencia se observarán mejoramientos en el comportamiento de los rumiantes.

Es importante que se conozca con relativa exactitud la información acerca de la composición de las dietas de los animales, incluyendo el contenido de azufre. En los análisis de concentrados y forrajes con frecuencia se informa el contenido de proteína cruda (N total x 6.25). Esto puede llevar a malas interpretaciones puesto que dichos análisis estarían basados en el contenido de todos los compuestos de N (incluyendo el nitrógeno no protéico y los nitratos), sin un estimativo de la calidad de la proteína suministrada. Si se incluye un análisis de azufre, se puede presentar algún estimativo de la calidad de la proteína al calcular la relación N:S de la dieta. Si esta relación es del orden de 10:1 a 13:1, y el contenido de S total es de 0.20 a 0.25%, en general se puede suponer que la proteína es de alta calidad y que el animal utilizará al máximo el alimento ingerido. Si estas condiciones no se obtienen, se debe considerar la suplementación con alguna forma de azufre. Aunque la relación N:S de los forrajes y concentrados no es un índice infalible de la calidad de la proteína ni que el azufre en estos materiales es el adecuado, puede servir para indicar, dentro de ciertos límites, la calidad de la proteína suministrada. En resumen, la opinión del autor es que la proteína cruda junto con la relación N:S es mucho mejor indicador del valor de la proteína que el contenido de proteína cruda solo.

Otro punto sugerido por la información presentada es si es más eficiente, desde el punto de vista del comportamiento animal y la economía de la operación, fertilizar los forrajes con suficientes azufre para aumentar su contenido, o llevar el nivel de azufre de la dieta hasta el requerido, mediante adiciones de suplementos azufrados adecuados.

Los trabajos de Queensland, Australia, mencionados con anterioridad, indican que la fertilización con azufre puede ser superior a la suplementación de este elemento en las dietas, por lo menos en lo que a consumo de materia seca se refiere. Estos investigadores indicaron que ésto probablemente era el resultado de una mayor palatabilidad del forraje como resultado de la fertilización con azufre. Este trabajo es quizás uno de los pocos en los que se ha comparado el efecto de la fertilización y de la suplementación en las dietas, en el comportamiento animal. Los resultados indican la necesidad de adelantar estudios adicionales en este campo.

Como norma, las plantas logran un crecimiento adecuado cuando la relación N:S del forraje oscila entre 14:1 y 16:1. Sin embargo, los rumiantes parecen lograr resultados más satisfactorios cuando la relación N:S en su alimento oscila entre 10:1 y 12:1. Si la relación N:S de los forrajes se desea optimizar para su utilización por el animal, entonces es necesario fertilizar con azufre en una dosis que quizás sea superior a la óptima para el crecimiento de la planta. Como la relación N:S de las proteínas vegetales se encuentra en el orden de 14:1 a 16:1, las relaciones N:S más pequeñas que éstas sugieren la acumulación de azufre no protéico en la planta. Este generalmente estará en la forma de sulfato. Como la acumulación de  $\text{SO}_4^{2-}$  en las plantas (hasta un nivel de aproximadamente 0.6 a 0.7% de S total) no parece perjudicial para el crecimiento, y como los rumiantes pueden utilizar sulfatos efectivamente para la síntesis de proteínas (siendo adecuados otros insumos en la dieta), entonces la fertilización de los cultivos con cantidades de azufre superiores a las normales puede ser una manera de optimizar la relación N:S de los forrajes. Aparentemente ésta representa una área en la que un esfuerzo conjunto de investigación entre agrónomos y nutricionistas de rumiantes podría proporcionar información de valor considerable tanto para los productores de forrajes, como para los ganaderos. De hecho, ésta es una de las principales razones para publicar este boletín.

Con base en la información presentada en este boletín, se puede concluir que:

1. En suelos bajos en azufre, los rendimientos y la calidad del forraje se pueden mejorar mediante fertilizaciones con azufre.
2. Al aumentar el nivel de azufre en los forrajes, de tal manera que la relación N:S se reduzca a aproximadamente 10:1 a 12:1, podría resultar un mejoramiento en la utilización del alimento y el comportamiento de los rumiantes.
3. Los niveles de azufre total en la dieta completa del rumiante deben oscilar entre 0.18 y 0.25% para obtener el mejor comportamiento animal.
4. En numerosos casos, se ha aumentado la producción de carne, leche y lana al disminuir la relación N:S de la dieta hasta

10:1 - 13:1 y al asegurar un nivel total de S en la dieta de 0.18 – 0.25% de S.

5. Se requiere investigación adicional por parte de agrónomos y nutricionistas animales para comparar los méritos de la fertilización de forrajes versus la suplementación alimenticia, para suministrarles a los rumiantes sus necesidades de azufre.

### **Agradecimientos**

El autor desea expresarles su agradecimiento a la Sra. Cecilia A. McCord, Especialista en Información, y al Sr. Jan S. Platou, Director de Información, por la valiosa asistencia que prestaron en la preparación de este Boletín Técnico.

---

# AZUFRE:

Elemento vital en la fertilización  
de pastos y forrajes



**INDUSTRIAS PURACE S.A.**  
La compañía del azufre

CARRERA 40 No. 11-159 URBANIZACION ACOPI



COMERCIAL  
CONDOR DE  
COLOMBIA LTDA.

Distribuidor exclusivo de azufre para uso:

AGRICOLA - PECUARIO - INDUSTRIAL - FARMACEUTICO

**MEDELLIN**

Carrera 60A No. 49-9  
Conmutador: 2317133  
Apartado No. 7692

**BOGOTA**

Carrera 92 No. 62-99  
Conmutador: 2244400  
Apartado No. 48948

**MANIZALES**

Carrera 27 No. 37-A-19  
Teléfonos: 40809 - 40826  
Apartado No. 1826

**BUCARAMANGA**

Carrera 19 No. 29-13  
Teléfono: 337386  
Apartado No. 983

**CALI**

Cra. 40 No. 11-159 Urb. Acopi  
Teléfonos: 653064 - 66 - 68  
Apartado No. 9864