

ALGUNAS INTERRELACIONES MINERALES EN LA NUTRICIÓN DE RUMIANTES A PASTORIO EN LAS SABANAS DE VENEZUELA

Susmira Godoy¹, C. Alfaro² y C. F.Chicco¹

¹INIA-CENIAP
² INA-Monagas
(sgodoy@ina.gob.ve)

SUMARIO

Introducción
Interrelación cobre-molibdeno
Interrelación cobre-hierro
Deficiencia de cobre y problemas reproductivos
Conclusiones
Referencias bibliográficas

Introducción

En las sabanas de Venezuela, que cubren casi un tercio del territorio nacional, representadas por las sabanas bien drenadas o de *Trachypogon* (43%) y mal drenada o de *Paspalum* (57%), la actividad económica más importante es la ganadería bovina extensiva de carne y doble propósito (Chicco y Linares, 1992; Comerma y Chacón, 2002). Los suelos, además de su baja fertilidad y pobre contenido de fósforo, se caracterizan por presentar un pH muy bajo (4 a 5), y altos niveles de hierro y manganeso, los cuales pueden alcanzar concentraciones tóxicas. A pH ácido, el molibdeno y el selenio se encuentran en bajas concentraciones (Whitehead, 2000), por lo que pareciera poco probable encontrar altos niveles de estos elementos en las condiciones de sabanas ácidas del país. Como ocurre en el caso del hierro a pH ácido, bajo condiciones de reducción se puede favorecer la liberación de molibdeno de la fracción mineral del suelo, aumentando su disponibilidad para las plantas (Mitchell *et al.*, 1957). Además, el molibdeno y el hierro, en estado ferroso, forman complejos de mayor solubilidad (Berrow *et al.*, 1983) lo que podría explicar los altos niveles de molibdeno encontrados en algunos forrajes de las sabanas mal drenadas de Venezuela reportados por Chicco y Godoy (2002). Estos elementos (hierro y molibdeno) en exceso interactúan con el cobre que en la mayoría de las áreas de pastoreo es deficiente, agravando aún más el estado carencial del elemento.

Las interferencias minerales se presentan cuando un elemento está implicado en el metabolismo de otro, tanto en forma sinérgica como antagónica. El cobre y el hierro ilustran ambas situaciones. Así, en el caso del sinergismo, la ceruloplasmina, que es una ferroxidasa cobre dependiente, es necesaria para la movilización del hierro hepático. Un caso de antagonismo ocurre cuando los elementos, debido a su similar configuración electrónica, compiten por la misma proteína de transporte. Tal es el caso del hierro, cobre, zinc y cadmio. Otro caso de antagonismo son las interacciones de tipo molecular donde el encuentro de dos o varios iones, acarrea la formación de una molécula que tiene una actividad biológica reducida o nula, como es el caso del azufre, cobre y molibdeno.

A continuación se presentan algunas características de las interrelaciones entre el cobre y el molibdeno, y el cobre y el hierro en rumiantes.

Interrelación cobre-molibdeno

La interferencia del molibdeno en el metabolismo del cobre es de tipo molecular. El molibdeno reduce la absorción del cobre mediante una acción quelatante en el rumen, favorecida por el pH neutro del pre-estomago (Matrone, 1970). A nivel sistémico, el molibdeno cambia la distribución del cobre plasmático, reduce su disponibilidad, disminuye su concentración en el hígado e incrementa su excreción en las heces y orina (Mason *et al.*, 1978; Gooneratne *et al.*, 1989; Xin *et al.*, 1991; Ward y Spears, 1997).

La acción del molibdeno en la absorción del cobre está altamente relacionada con los niveles de azufre. La secuencia de eventos que envuelven a estos tres elementos a nivel ruminal, según Underwood y Suttle, (1999) y Whitehead, (2000) son los siguientes:

1. El azufre presente en la dieta, ya sea que se encuentre en forma orgánica, como componente de la proteína, o en forma inorgánica, como sulfato (SO_4^{2-}), es utilizado para la síntesis de proteína microbiana, siempre y cuando exista disponibilidad de energía fermentable, nitrógeno y fósforo en el rumen.
2. Cuando esta condición no ocurre o cuando existen excesos de azufre en la dieta, éste es rápidamente degradado a sulfito (S^{-2}) por los protozoarios y algunas bacterias ruminales. Los altos niveles de molibdeno y proteína en la ración, estimulan la capacidad de los microorganismos para formar sulfitos (Matrone, 1970).
3. El S^{-2} formado puede: a) ser absorbido a través de las paredes del rumen; b) unirse con el cobre liberado durante la digestión en el rumen y formar sulfuro de cobre (CuS), el cual es un compuesto inabsorbible, y c) en presencia de iones de molibdato (MoO_4^{2-}), desplazar el oxígeno de este para formar tri o tetramolibdato. El tri y/o tetramolibdato reacciona con el cobre y forma un compuesto con éste que lo hace fisiológicamente no disponible.

Adicionalmente, los molibdatos formados en el rumen pueden ser absorbidos a través del tracto gastrointestinal y actuar como inhibidores de enzimas dependientes de cobre y/o formar complejos con éstas, que hacen además no disponible al cobre plasmático. La cantidad de tiomolibdato en el plasma puede cuantificarse indirectamente en la fracción de cobre plasmático insoluble en ácido tricloroacético (ITCA). La suplementación con molibdeno incrementa la fracción de cobre ITCA en el plasma a partir del séptimo día de suplementación y a los 20 días cuando la suplementación de azufre es realizada con sulfato de sodio (Lamand, 1989).

En general, la suplementación con molibdeno reduce las concentraciones de cobre plasmático y hepático (Humphries *et al.*, 1983; Phillippo *et al.*, 1987a; Xin *et al.*, 1991; Gengelbach *et al.*, 1994; Ward y Spears, 1997). En el hígado, el cobre puede reducirse a valores tan bajos como 3 mg kgMS^{-1} luego de 112 días de suplementación con 5 mg de molibdeno kgMS^{-1} en la dieta (Phillippo *et al.*, 1987a; Humphries *et al.*, 1983). Respecto a la ceruloplasmina, las reducciones se observan sólo cuando los niveles de cobre hepáticos son inferiores a los 20 mg kgMS^{-1} (Humphries *et al.*, 1983; Mills, 1987; Ward y Spears, 1997).

La incorporación de altos niveles de molibdeno en la dieta (10 mg kgMS^{-1}) produce aumentos en su concentración hepática (16 mg kgMS^{-1}) y favorece la acumulación de hierro en el hígado, posiblemente, por reducir los niveles de cobre en este tejido (Phillippo *et al.*, 1987a; Xin *et al.*, 1991).

Interrelación cobre-hierro

Bajo condiciones prácticas, el hierro es determinante en la disponibilidad del cobre en los rumiantes. Similar al antagonismo cobre-molibdeno, la relación del cobre y del hierro está influenciada por los niveles de azufre. El hierro inhibe la absorción del cobre porque en el rumen forma un complejo con el sulfuro (FeS). En el abomaso, el azufre es liberado, quedando disponible para formar complejos con el cobre presente a ese nivel, unión que, como ya se ha mencionado, no es absorbible a nivel intestinal (Suttle *et al.*, 1984).

Las evidencias de esta interacción fueron probadas por Suttle *et al.* (1984), en un experimento con ovejas. Ellos observaron que el consumo de suelo con altos niveles de hierro afecta la absorción de cobre de las ovejas de forma similar a cuando estas consumían dietas con altos niveles de sales de hierro. El efecto deletéreo del hierro ingerido del suelo o de la dieta dependió del contenido de azufre presente; de esta forma, en dietas con bajos niveles de azufre, la solubilidad del hierro a nivel ruminal fue menor.

En Venezuela, Chicco y Godoy (2002) encontraron una correlación lineal negativa ($r = -0,61$; $P = 0,06$) entre la concentración de hierro y de cobre hepático en vacas mestizas Brahman al sur del estado Apure (Cuadro 1). Humphries *et al.* (1983) y Phillippo *et al.* (1987a) reportaron efectos similares del hierro y el molibdeno sobre el estatus de cobre en plasma e hígado en vacunos y, señalan que éste es dependiente del nivel de azufre. Sin embargo, los animales suplementados con molibdeno presentan ciertos trastornos fisiológicos no reportados en el caso de la deficiencia de cobre causada por altos niveles de hierro. La razón de ello es desconocida. Humphries *et al.* (1983) señalan que el molibdeno puede inducir a una deficiencia de cobre más severa que no es detectada con los métodos convencionales de diagnóstico. Alternativamente, el molibdeno puede estar alterando el metabolismo del cobre en sitios específicos del cuerpo donde el hierro no tiene efecto. Otra hipótesis es que el molibdeno *per se* pueda ejercer efectos sobre ciertos procesos metabólicos, independientemente del metabolismo del cobre, pero esto aún no está claro.

Cuadro 1. Niveles de micro elementos en hígado de Bovinos de carne a pastoreo (Bajo Apure)^{1,2}

Animal N°	Fe	Cu	Mn	Zn
	ppm			
1	214	188	11	133
2	358	98	11	158
3	262	264	12	184
4	296	64	11	160
5	297	208	12	233
6	623	147	9	159
7	350	71	9	140
8	259	205	9	151
9	1110	23	7	137
10	312	202	9	160

¹Niveles referenciales: Fe, 150-200 ppm; Cu: 75-100 ppm; Zn: 60-180, Mn: 6-70 ppm

² $Y = 219.1 - 0.177 x$; $p < 0.06$; $r = 0.61$; $Y = \text{Cu hígado}$, $X = \text{Fe forraje}$.

Fuente: Chicco y Godoy, 2002

La suplementación con hierro no afecta la concentración de este elemento en el plasma sanguíneo de vacunos en crecimiento. Niveles similares de hierro en plasma son reportados por Phillipppo *et al.* (1987a) en hembras en crecimiento luego de 224 días de suplementación con 500 mg de hierro por kgMS⁻¹ (2,18 y 2,14 µg ml⁻¹ de hierro, al inicio y final de la suplementación, respectivamente). Por el contrario, la incorporación de altos niveles de hierro causa su acumulación en el hígado. Bremner *et al.* (1987) reportan valores de hasta 700 mg kgMS⁻¹ de hierro hepático en becerros suplementados con 500 mg kgMS⁻¹ de hierro en la dieta.

No se han encontrado evidencias de efectos sinérgicos por la suplementación conjunta de hierro y molibdeno en el metabolismo del cobre (Humphries *et al.*, 1983; Ward *et al.*, 1995).

Otros minerales (Calcio, Zinc y Cadmio), así como la presencia de parásitos intestinales, pueden interferir en la absorción y/o metabolismo de cobre (Underwood y Suttle, 1999). Los altos niveles de calcio producen alcalización intestinal, provocando la precipitación del cobre (Kirchgessner y Grassmann, 1970). El zinc y el cobre compiten por el sitio de unión con enzimas y metaloproteínas, pudiendo llegar a ser antagonistas (Hatfield *et al.*, 2001) y, de forma indirecta, el zinc acumulado en los tejidos no intestinales, ejerce una retroalimentación que inhibe la absorción del cobre (Van Campen, 1970).

Adicional al efecto del hierro como antagonista del cobre, es importante recordar que el cobre, específicamente la deficiencia de cobre en el organismo, puede alterar el metabolismo del hierro. La liberación del hierro almacenado como ferritina y su posterior utilización requiere la presencia de ceruloplasmina (enzima dependiente de cobre), por lo que pueden presentarse cuadros anémicos en muchos animales, aún con niveles adecuados de hierro en la dieta (Schalm, 1964; Sourkes, 1970; Marston *et al.*, 1971). Las deficiencias de cobre en rumiantes, cerdos y ratas pueden favorecer la acumulación hepática de hierro (Sourkes, 1970).

Deficiencia de cobre y problemas reproductivos

Una alta proporción de las deficiencias y/o excesos de elementos minerales en los animales son de difícil identificación. La sintomatología puede ser confundida con deficiencias energéticas y/o proteicas, con la presencia de parásitos internos y externos, entre otras (Underwood y Suttle, 1999). Por ejemplo, la anemia es un síntoma de deficiencia de hierro, cobre, y cobalto, y los desordenes reproductivos pueden ocurrir por deficiencias de cobre, iodo, manganeso, fósforo, selenio y zinc (Underwood y Suttle, 1999).

En general, son varios los reportes sobre el efecto del cobre y el molibdeno en la reproducción. McDonald *et al.* (1999) señalan que menos de 3 mg kgMS⁻¹ de cobre en la dieta puede prolongar el intervalo entre partos en vacas. Así mismo reportan que el exceso de molibdeno puede retrasar el celo, el cual se presenta con menor intensidad, posiblemente por reducir la secreción de luteinizante (LH).

Xin *et al.* (1993) evaluaron el efecto del nivel de cobre sobre la secreción de la LH en novillas. Sus tratamientos experimentales consistieron de a) un grupo testigo, normal en cobre y molibdeno (12,2 mg kgMS⁻¹ de Cu y 1,5 mg kgMS⁻¹ de Mo); b) un grupo normal en cobre y alto en molibdeno (Mo) (12,5 mg kgMS⁻¹ de Cu y 6,5 mg kgMS⁻¹ de Mo) y c) un grupo con suficiente cobre y normal molibdeno (Cu) (32,2 mg kgMS⁻¹ de Cu y 1,5 mg kgMS⁻¹ de Mo). Los resultados de este experimento (Cuadro 2) indican que la suplementación con molibdeno reduce, hasta 11%, la concentración de LH en suero sanguíneo. Así mismo, en el grupo suplementado con molibdeno, la concentración de LH en la adenohipófisis se encuentra disminuida en 28%. Respecto a la frecuencia en las pulsaciones de LH, endógena o como respuesta a la administración de un análogo de GnRH, no se presentaron diferencias significativas entre grupos. Estos resultados

parecen indicar que la deficiencia de cobre producida por molibdeno afecta la síntesis de LH pero no su secreción (Xin *et al.*, 1993).

Phillippo *et al.* (1987b) evaluaron la aparición de los primeros síntomas de la pubertad y algunas variables reproductivas postpubertad en hembras Hererford-Friesian suplementadas con hierro (500 mg de Fe kgMS⁻¹) y molibdeno (5 mg de Mo kgMS⁻¹). Los resultados indican que la pubertad no es afectada por el nivel de cobre (Cuadro 2). Los animales suplementados con hierro presentaron un comportamiento similar al del grupo testigo. En cambio, la suplementación con molibdeno redujo las ganancias de peso y atrasó la edad de la pubertad de las hembras en 30 días. Similar a las vacas, Plessis *et al.* (1999) reportaron que las deficiencias secundarias de cobre, causadas por el molibdeno y el azufre, reducen la concentración de gonadotropinas en ovejas a tal extensión que se suprime la actividad cíclica en animales jóvenes. Al-Gubory y Locatelli (1999) demostraron que la enzima Cu-Zn-Superoxido Dismutasa controla la secreción de LH en ovejas. Como se había señalado anteriormente (Ward y Spears, 1997; Cerone *et al.*, 2000), la suplementación con molibdeno deprime la actividad de esta enzima, por lo tanto, podría ser una de las causas de la disminución en la secreción de LH.

Estudios sobre suplementación con cobre no reflejan beneficios sobre la reproducción bovina. La suplementación con cobre orgánico reduce el comportamiento reproductivo de vacas de primer parto (Olson *et al.*, 1999) y, como se observa en el Cuadro 4, en vacas postparto, no mejora la tasa de preñez pero sí puede incrementar la concepción temprana en comparación con la forma inorgánica del elemento (Muehlenbein *et al.*, 2001). Estos trabajos concuerdan con lo reportado por Phillipppo *et al.* (1982), quienes no encontraron evidencias suficientes de beneficio de la administración de 100 mg de Cu inyectados sobre la fertilidad de 17 rebaños en el noreste de Escocia, indicando que la fertilidad no está relacionada con el nivel de cobre, pero que un alto consumo de molibdeno sí pudiera estar envuelto en la pobre respuesta reproductiva de estos rebaños.

Los resultados de estas investigaciones permiten inferir que el cobre por sí solo no afecta la reproducción. Una aproximación pudiera ser que un bajo nivel de cobre puede ser un prerrequisito para afectar la pubertad y la fertilidad por parte del molibdeno. Dos hipótesis parecieran explicar este efecto. La primera de ellas es que el molibdeno puede estar afectando la secreción de estrógenos a nivel del ovario o impidiendo la acción del cobre a nivel de este órgano y, de esta forma disminuir la secreción de LH en vacas (Phillippo *et al.*, 1987b). La segunda hipótesis se refiere a una disminución en la síntesis de LH en la adenohipófisis por exceso de molibdeno, independientemente de los niveles de cobre.

No existe información en la literatura sobre el efecto del cobre y/ o molibdeno sobre abortos en bovinos, sin embargo, a juzgar por el conocido efecto de estos minerales en la síntesis y secreción de LH, se esperaría más un efecto deletéreo sobre la tasa de concepción que abortos. Respecto al hierro, la literatura señala que el exceso de hierro ocasiona deficiencias indirectas de cobre, pero que éstas, no producen reducciones en la producción/ reproducción en el grado que lo hace el molibdeno. Sin embargo, Pitzen (1994) reporta celos silentes e infecciones uterinas en vacas lecheras de la región norte central de los Estados Unidos causadas por el exceso de hierro presente en el agua y forraje de esta región.

Cuadro 2. Efecto de la suplementación con cobre y molibdeno sobre la concentración mineral en los tejidos cerebrales y secreción de LH (luego de 16 semanas de suplementación)

Concentración tejidos cerebrales ($\mu\text{g g tejido húmedo}^{-1}$)	Testigo	Mo	Cu
Cu en la eminencia mediana	1,44	1,63	1,65
Cu en el hipotálamo	2,93	2,59	2,97
Mo en el hipotálamo	<0,05	<0,05	<0,05
LH adenohipófisis	213,7a	154,6b	213,5a
Secreción endógena de LH			
Suero (ng ml^{-1})	0,40a	0,35b	0,39a
Frecuencia de pulso de LH (pulso h^{-1})	0,17	0,14	0,06
Respuesta a la aplicación de GnRH exógena			
Área del pico ($\text{ng por min ml}^{-1}$)	177,2	165,5	195,6
Altura del pico (ng ml^{-1})	2,9	2,5	3,0

Testigo: 12,2mg kgMS^{-1} de Cu y 1,5mg kgMS^{-1} de Mo; Mo: 12,5mg kgMS^{-1} de Cu y 6,5mg kgMS^{-1} de Mo; y Cu: 32,2mg kgMS^{-1} de Cu y 1,5mg kgMS^{-1} de Mo.

Fuente: Xin *et al.*, 1993

Cuadro 3. Edad y peso a la pubertad de hembras Hereford–Friesian sometidas a una deficiencia de cobre inducida por hierro y molibdeno

	Testigo	Fe	Mo
Días a la pubertad (d)	285 a	296 a	316 b
PV al momento de la pubertad (kg)	313	310	277

Testigo: Fe: 500 mg kg MS^{-1} ; Mo: 5 mg kg MS^{-1}

Fuente: Phillippo *et al.*, 1987b

Cuadro 4. Comportamiento reproductivo de vacas suplementadas con cobre orgánico e inorgánico

Variable	Tratamientos			
	Testigo²	Inorgánico³	Orgánico⁴	Cu – Zn
N	23	30	27	26
Preñez 30d TM(%) ¹	61 ^a	80 ^{ab}	85 ^b	77 ^{ab}
Preñez 60d TM(%)	87	87	93	89
Nº vacas no preñadas	3	4	2	3

TM: Temporada de monta; 1: Determinado por día de concepción; 2: no suplementadas; 3: Cu inorgánico (CuSO_4); Cu orgánico; 5: Cu orgánico + Zn

Fuente: Muehlenbein *et al.*, 2001

Conclusiones

En la ganadería de las sabanas de Venezuela se han encontrado deficiencias de fósforo, calcio, sodio, cobre y zinc, con excesos de hierro y manganeso. Pocos conocimientos son disponibles en relación con otros elementos, particularmente selenio, molibdeno, cobalto y azufre. Las formulaciones de suplementos minerales, en lo mejor de los casos, consideran las condiciones antes señaladas, pero no toman en cuenta los efectos de las interrelaciones entre minerales, particularmente las de tipo antagónico. En este sentido merece particular importancia el exceso de hierro y su efecto sobre la utilización de otros minerales, particularmente la del cobre. Este elemento es altamente reactivo y merece atención particular en la nutrición de los rumiantes. Si bien su participación como cofactor en muchos sistemas enzimáticos ha sido ampliamente descrita, su efecto sobre el proceso reproductivo todavía no ha sido debidamente clarificado, particularmente cuando la deficiencia de cobre es condicionada por un exceso de molibdeno, asociado o no a altos niveles de azufre.

Referencias bibliográficas

- Al-Gubory, K.H y Locatelli, A. 1999. Intracerebroventricular administration of copper-zinc superoxide dismutase inhibits pulsatile luteinizing hormone secretion in ovariectomized ewes. (Abstract). PubMed- indexed by MEDLINE.
- Berrow, M.L., Burridge, J.C y Reith, J.W.S. 1983. Soil drainage conditions and related trace element contents. *J.Sci.Food Agric.* 34:53-54.
- Bremner, I., Humphries, W.R., Phillipppo, M., Walker, M.J, y Morrice, P.C. 1987. Iron-induced copper deficiency in calves: dose-response relationships and interactions with molybdenum and sulfur. *Anim. Prod.* 45: 403-414.
- Cerone, S.I., Sansinanea, A.S., Streitenberger, S.A., García, M.C, y Auza, N.J. 2000. Cytochrome c oxidase, Cu, Zn-Superoxide dismutase, and ceruloplasmin activities in cooper-deficient bovines, (Abstract). *Nutr. Abst. Rev. (Series B).* 70(11): 909.
- Chicco, C.F. y Godoy, S. 2002. Nutrición mineral de los bovinos de carne en Venezuela. XVIII Cursillo sobre Bovinos de Carne. En: R. Romero, J. Arango y J. Salomón (Eds). Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias Veterinarias, Maracay, Venezuela, pp: 135-155.
- Chicco, C. y Linares, T. 1992. Avances en el estudio de la caracterización del síndrome parapléjico bovino. Boletín 3. Programa de Cooperación Agrícola, Convenio MAC/PDVSA. Serie C(3), 93p.
- Comerma, J. y Chacón, E. 2002. Aptitud de los llanos venezolanos para los principales usos ganaderos. En: XVIII Cursillo sobre Bovinos de Carne. R. Romero, J. Arango y J. Salomón (Eds). Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias Veterinarias, Maracay, Venezuela, pp193-216.
- Gengelbach, G.P., Ward, J. D. y Spears, J.W. 1994. Effect of dietary copper, iron and molybdenum on growth and copper status of beef cows and calves. *J. Anim. Sci.* 72(10): 2722-2727.
- Gooneratne, S.R., Laarveld, B., Chaplin, R.K. y Christensen, D.A. 1989. Profiles of ⁶⁷Cu in blood, bile, urine and faeces from ⁶⁷Cu-primed lambs: effect of ⁹⁹Mo-labelled tetrathiomolybdate on the metabolism of recently stored tissue ⁶⁷Cu. *Br. J. Nutr.* 61: 355-371.
- Hämäläinen, M.M. y Mäkinen, K.K. 1985. Duodenal xanthine oxidase (EC. 1.2.3.2) and ferroxidase activities in the rat in relation to the increased iron absorption caused by peroral xylitol. *Br.J. Nutr.* 54(2): 493-498.

- Hatfield, P.G., Swenson, C.K., Kott, R.W., Ansotegui, R.P., Roth, N.J. y Robinson, B.L. 2001. Zinc and copper status in ewes supplemented with sulfate-and amino acid- complexed forms of zinc and copper. *J. Anim. Sci.* 79:261-266.
- Humphries, W.R., M, Phillippo, B.W. Young y I. Bremner. 1983. The influence of dietary iron and molybdenum on copper metabolism in calves. *Br. J. Nutr.* 49, 77-86.
- Kirchgessner, M. y Grassmann, E. 1970. The dynamics of copper absorption. En: *Trace Element Metabolism in Animals. Proceedings of WAAP/IBP International Symposium.* Mills, C.F. (Ed). E&S Livingstone. Edimburgo y Londres, Gran Bretaña. pp: 298-312.
- Lamand, M. 1989. Influence of molybdenum and sulfur on copper metabolism in sheep: comparison of elemental sulfur and sulfate. *Ann. Rech. Vet.* 20:103-106.
- Mason J., Lamand, M., Tressol, J.C. y Lab, C. 1978. The influence of dietary sulphur, molybdate and copper on the absorption, excretion and plasma fraction levels of ⁹⁹Mo in sheep. *Ann. Rech. Vet.* 9(3):577-586.
- Marston, H.R., Allen, S.H. y Swaby, S.L. 1971. Iron metabolism in copper-deficient rats. *Br. J. Nutr.* 25(1):15-30.
- Matrone, G. 1970. Studies on copper-molybdenum-sulphate interrelationships. En: *Trace Element Metabolism in Animals. Proceedings of WAAP/IBP International Symposium.* Mills, C.F. (Ed). E&S Livingstone. Edimburgo y Londres, Gran Bretaña. pp: 354-362.
- Mills, C.F. 1987. Biochemical and physiological indicators of mineral status in animals: copper, cobalt and zinc. *J. Anim. Sci.* 65(6): 1702-1711.
- Mitchell, R.L., Reith, J.W.S. y Johnston, I.M. 1957. Trace element uptake in relation to soil content. *J. Sci. Food Agric.* 8:S51-S59.
- Muehlenbein, E.L., D.R. Brink, G.H. Deutscher, M.P. Carlson y A.B. Johnson, 2001. Effects of inorganic and organic copper supplemented to first-calf cows on cow reproduction and calf health and performance. *J. Anim. Sci.* 79(7): 1650-1659.
- Olson, P.A., Brink, D.R., Hickok, D.T., Carlson, M.P., Schneider, N.R., Deutscher, G.H., Adams, D.C., Colburn, D.J. y Johnson, A.B., 1999. Effects of supplementation of organic and inorganic combinations of copper, cobalt, manganese, and zinc above nutrient requirement levels on postpartum two-year-old cows. *J. Anim. Sci.* 77 (3): 522-532.
- Phillippo, M., Humphries, W.R., Lawrence, C.B., y Price, J. 1982. Investigation of the effect of copper status and therapy on fertility in beef suckler herds. *J. Agric. Sci. Cambridge.* 99: 359-364.
- Phillippo, M., Humphries, W.R. y Garthwaite, P.H. 1987a. The effect of dietary molybdenum and iron on copper status and growth in cattle. *J. Agric. Sci.* 109:315-320.
- Phillippo, M., Humphries, W.R. y Atkinson, T. 1987b. The effect of dietary molybdenum and iron on copper status, puberty, fertility and oestrous cycles in cattle. *J. Agric. Sci.* 109:321-336.
- Pitzen, D. 1994. The trouble with iron. Resolved by pro-oxidant: anti-oxidant balancing of dairy rations. *Feed International.* August: 22-23.

- Plessis, S.S., Niekerk, F.E. y Coetzer, W.A. 1999. The effect of dietary molybdenum and sulphate on the oestrus cycle and ovulation in ewes after manipulation with exogenous progesterone alone or in combination with FDS and LH. (Abstract). *Nutr. Abst. Rev. (Series B)*. 69(9):708.
- Schalm, O.W. 1964. *Hematología Veterinaria*. 1era ed. Español. Ed. Hispano Americana. México pp: 157-282.
- Sourkes, T.L. 1970. Factors affecting the concentration of copper in the liver of the rat. En: *Trace Element Metabolism in Animals. Proceedings of WAAP/IBP International Symposium*. Mills, C.F. (Ed). E&S Livingstone. Edimburgo y Londres, Gran Bretaña. pp: 247-256.
- Suttle, N.F., Abrahams, P. y Thornton, I. 1984. The role of soil x dietary sulphur interaction in the impairment of copper absorption by ingested soil in sheep. *J. Agric. Sci.* 103: 81-86.
- Underwood, E.J. y Suttle, N.F. 1999. *The Mineral Nutrition of Livestock*. 3er edición. CAB International, Wallingford. Londres. 600p.
- Van Campen, D. 1970. Competition between copper and zinc during absorption. En: *Trace Element Metabolism in Animals. Proceedings of WAAP/IBP International Symposium*. Mills, C.F. (Ed). E&S Livingstone. Edimburgo y Londres, Gran Bretaña. pp: 287-298
- Ward, J.D. y Spears, J.W. 1997. Long-term effects of consumption of low-copper diets with or without supplemental molybdenum on copper status, performance, and carcass characteristics of cattle. *J. Anim. Sci.* 75(11): 3057-3065.
- Ward, J.D., Spears, J.W. y Gengelbach, G.P. 1995. Differences in copper status and copper metabolism among Angus, Simmental, and Charolais cattle. *J. Anim. Sci.* 73(2): 571-577.
- Whitehead, D.C. 2000. *Nutrient Elements in Grassland Soil-plant-animal Relationships*. CABI Publishing. Wallingford. U.K. 360p.
- Xin, Z., Silvia, W.J., Waterman, D.F. y Hemken, R.W. 1993. Effects of copper status on luteinizing hormone secretion in dairy steers. *J. Dairy Sci.* 76(2): 437-444.
- Xin, Z., Waterman, D.F., Hemken, R.W. y Harmon, R.J. 1991. Effects of copper status on neutrophil function, superoxide dismutase, and copper distribution in steers. *J. Dairy Sci.* 74(9):3078-3085.

Nota de los editores

El artículo fue revisado y avalado por:

Néstor Obispo – INIA- nobispo@inia.gob.ve
Fanny Requena – INIA- frequena@inia.gob.ve

Citación del presente artículo:

Godoy S.; C. Alfaro y C. F. Chicco. 2006. ALGUNAS INTERRELACIONES MINERALES EN LA NUTRICIÓN DE RUMIANTES A PASTORIO EN LAS SABANAS DE VENEZUELA. *Revista Digital CENIAP HOY* N° 12 septiembre-diciembre 2006, Maracay, Aragua, Venezuela. ISSN: 1690-4117 Depósito Legal: pp.200302AR1449 Sitio: www.ceniap.gov.ve
