

DEFICIENCIAS MINERALES Y CONDICIONES ASOCIADAS EN LA GANADERIA DE CARNE DE LAS SABANAS DE VENEZUELA

Dr. Cs. Vet. Claudio F. Chicco y Méd. Vet. Susmira Godoy de León. 2005. Instituto de Investigaciones Agrícolas (INIA), Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (CENIAP), Edif. 3 zona universitaria UCV, Apartado de correo 4653, Maracay 2101, Aragua. Venezuela. Primer Curso Internacional Sobre Avances en la Nutrición de los Rumiantes 2005. www.produccion-animal.com.ar

Volver a: [Minerales](#)

INTRODUCCIÓN

La producción bovina de carne en Venezuela, localizada esencialmente en la región de los llanos, es de tipo pastoril, en sistemas extensivos de producción, con poca intervención del hombre y de tecnologías, por lo que la nutrición de los bovinos está estrechamente ligada a la disponibilidad cualitativa y cuantitativa del forraje, que, además de la fertilidad del suelo, depende también de la estacionalidad de la precipitación pluvial. Bajo estas condiciones, la nutrición nitrogenada y mineral de los animales está fuertemente comprometida, por la dependencia de estos elementos de la fertilidad del suelo y de la capacidad de captación de nutrientes y minerales por el sistema radicular de las plantas. Todo ello, entre otras limitantes del sistema ganadero, condiciona la producción y productividad de los rebaños.

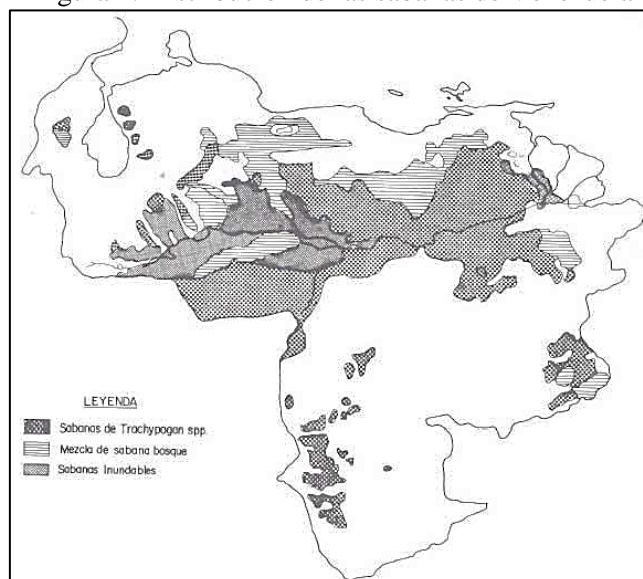
Este tema ha sido abordado con mucha amplitud en la bibliografía científica y técnica nacional, incluyendo los aspectos referentes a las deficiencias minerales. Sin embargo, más allá de las características particulares de los estados carenciales, su etiología, síntomas y formas de corrección, incluyendo algunas enfermedades de carácter metabólico, existen condiciones asociadas, con un aparente componente de nutrición mineral, cuya etiología no ha sido clarificada adecuadamente, lo que dificulta precisar acciones específicas de corrección.

En este artículo se intenta resumir la información disponible sobre la nutrición mineral de los bovinos en los sistemas extensivos de producción de Venezuela, incluyendo significativas interacciones antagónicas entre elementos, así como algunas alteraciones aparentemente vinculadas con el metabolismo energético metalo-dependiente.

CARACTERÍSTICAS FISIOGRAFICAS DE LAS SABANAS

Aproximadamente el 60% de la población bovina se encuentra en las sabanas del país, que corresponden a la formación vegetal del "Bosque Seco Tropical" (Holdridge, 1947). Su extensión alcanza los 260.000 km², de los cuales 180.000 km² corresponden a los Llanos (Ramia, 1967). En una simplificación edafofisiográfica del área, esta se puede clasificar en "Sabanas Bien Drenadas" (SBD) y "Sabanas Mal Drenadas o Inundables" (SMD), de acuerdo a la topografía y al drenaje de los suelos, incluyendo zonas transicionales (Figura 1).

Figura 1. Distribución de las sabanas de Venezuela



Sabanas bien drenadas o Sabanas de *Trachypogon*.

Constituyen el 65% de todas las sabanas y comprenden principalmente parte de los Llanos Orientales (Monagas y Anzoátegui), los Llanos Centrales (Guarico y Cojedes), así como parte del sur de Apure, norte de Bolívar y del Territorio Federal de Amazonas. Son "*Sabanas Estacionales*" con periodos secos (diciembre-abril) y lluviosos (mayo-noviembre) bien marcados. Geomorfológicamente, son suelos altamente meteorizados (Oxisoles y Ultisoles), superficiales, con alto contenido de arena, de baja retención de humedad y bajo pH (4,5- 5,5). La vegetación predominante está constituida por gramíneas del genero *Trachypogon* sp.

Sabanas mal drenadas.

Constituyen una quinta parte de las sabanas del país, con áreas fisiográficas de banco, bajío y estero. Cubren una extensión de 1,7 MM ha. en los Llanos Occidentales y Alto Apure, y 800.000 ha. en Guarico, con presencia limitada en Barinas, Portuguesa y Cojedes. Son sabanas "*Hiperestacionales*" por estar sometidas anualmente a largos periodos de inundación. Los suelos son de textura fina, con fuertes limitaciones de drenaje (Ultisoles, Entisoles, Vertisoles, Inceptisoles y Alfisoles), y con un sustrato limoso-arcilloso-ferruginoso impermeable. La vegetación está constituida por diferentes especies de gramíneas y leguminosas, con predominio de *Paspalum fasciculatum*, *P. plicatulum*, *P. virgatum*, *Hymenachne amplexicaulis*, *Leersia hexandra* entre las gramíneas, y *Centrosema* sp, *Desmodium* sp. *Phaseolus* sp, entre las leguminosas.

NUTRICIÓN MINERAL EN SUELOS, PASTIZALES Y ANIMALES

La información que se reseña sobre nutrición mineral de suelos, pastizales y animales son valores promedio generados por diferentes investigadores, en distintos tiempos, sin metodologías uniformes para muestreos y procedimientos analíticos. Por ello esta información representa solamente una visión aproximada del estado nutricional general de los bovinos, por lo que, para situaciones puntuales, es necesario acudir a la referencia bibliográfica de cada autor.

Suelos

La recopilación de los datos sobre concentración de elementos minerales (Chicco y Godoy, 2002) en los suelos (Cuadro 1) de las áreas de pastoreo de las sabanas del país son promedios puntuales de localidades que no reflejan necesariamente las condiciones de las entidades político-administrativas del país, a las cuales se hace referencia, sino mas bien a áreas con características agroecológicas de alguna similitud.

Cuadro 1. Composición química promedio (ppm) de muestras de suelos superficiales de entidades estatales correspondientes a tipos de sabanas.

Sabanas	Fincas	pH	Ca	P	Mg	K	Na	Mn	Zn	Fe	Cu	Al	Referencias
Bien drenadas													
Guárico	12	-	61	4.8	43	5.5	-	-	-	-	-	-	Faria (1983)*
Guárico	3	5.04	499	1.6	646	63.0	46	26.2	1.44	59.0	1.53	-	Faria (1984)
Guárico	12	4.55	350	1.9	334	76.0	-	36.5	1.65	75.0	0.83	-	Morúa (1985)
Cojedes	4	4.80	979	3.0	452	32.0	-	27.3	1.05	66.0	1.71	-	Morúa (1985)
Monagas	7	4.82	177	4.1	40	35.0	-	-	-	-	-	-	Valdequez (1981)
Anzoátegui	8	5.38	100	8.9	59	23.0	-	-	-	-	-	-	Valdequez (1981)
Bolívar	5	-	105	3.0	23	19.0	2	1.5	0.38	21.2	0.20	-	Chicco et al. (1985)
Bolívar	5	5.85	160	6.6	85	43.0	-	-	-	-	-	-	Valdequez (1981)
Bolívar	5	-	77	2.5	-	33.0	-	1.5	4.20	21.6	0.23	-	Chicco et al. (1983)*
Apure	4	4.03	12	2.5	6	34.0	-	-	-	-	-	-	Morúa (1985)
Cojedes	-	-	542	5.0	323	83.0	-	5.8	1.40	-	1.10	-	Tejón (1990)
Falcón-Lara-Yaracuy	-	-	315	8.0	72	93.0	-	45.2	3.90	113.0	1.00	-	Tejón (1990)
Portuguesa	-	-	659	12.0	265	130.0	-	55.5	4.50	21.0	2.00	-	Tejón (1990)
Promedio		4.92	334	4.9	195	51.5	24	24.9	2.32	53.5	1.08	-	
Mal drenadas													
Apure	4	4.24	215	8.8	85	38.3	66	14.0	2.46	152.0	0.94	231.6	Morúa (1985)
Apure	-	-	345	11.0	84	93.0	-	3.9	2.70	-	0.60	-	Tejón (1990)
Barinas	1	4.90	114	16.1	35	5.4	55	27.3	1.27	13.0	0.56	355.0	Morúa (1985)
Barinas	-	-	632	10.0	204	92.0	-	11.8	2.20	8.5	1.20	-	Tejón (1990)
Portuguesa	35	5.39	1643	7.9	310	104.0	-	-	-	-	-	-	UNELLEZ (1982)
Guárico Sur-occidental	-	-	414	14.0	355	78.0	-	39.9	2.80	180.0	3.70	-	Tejón (1990)
Promedio		4.84	561	11.3	150	68.5	61	19.4	2.29	95.9	1.44	293.3	
Valores referenciales	-	-	590	10	121	78	46	5	0.05	3	0.20	-	
* Datos no publicados.													

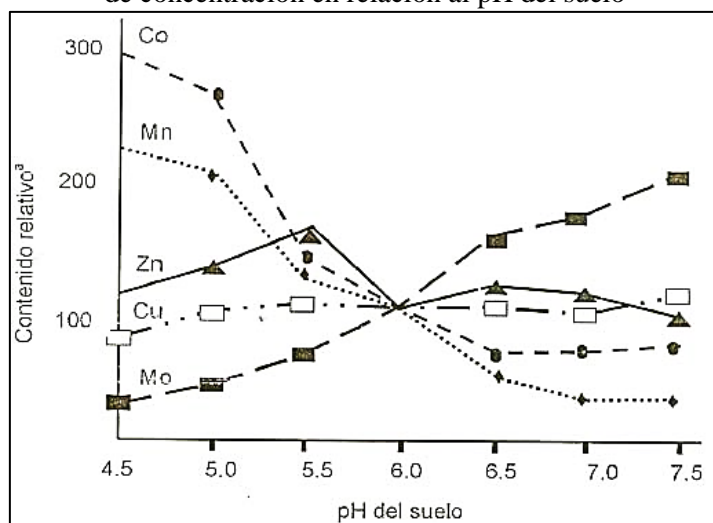
La información disponible indica que los valores de calcio varían entre 61 y 979 ppm y de 114 a 1643 ppm, respectivamente para las SBD y SMD. Para el magnesio, la variación es de 23 a 646 ppm y 35 a 358 ppm para el mismo orden de las sabanas. En base a los criterios de adecuación de Breland (1976) y Rhue y Kidder (1983), el nivel de calcio sería deficiente en el 90,4 % de las áreas estudiadas en las SBD y apenas de 12,2% en las SMD,

mientras que, en el caso del magnesio, los respectivos valores de deficiencia estarían en el orden del 65,5 % y 1,45%. El contenido de potasio es limitante en la mayoría de los suelos de los estados Guarico, Bolívar, Apure y Portuguesa, mientras que la deficiencia es mas marcada en las demás regiones (<78 ppm; Rhue y Kidder, 1983).

Todas las muestras de suelo estudiadas presentan concentraciones de fósforo extraíble inferiores a los requerimientos mínimos para la mayoría de los cultivos (12 ppm), siendo la deficiencia muy severa en las SBD. La concentración promedio de hierro varía entre 53,8 y 180 ppm para las SBD y SMD respectivamente, valores muy superiores al nivel de 3 ppm requerido para la agricultura vegetal.

Los niveles promedio de zinc, cobre, y manganeso en las muestras de suelos superficiales, con excepción del Estado Bolívar, son mayores a los valores sugeridos como críticos para las plantas (Zn <0,05 ppm; Cu <0,3 ppm; Mn <5 ppm; Rhue y Kidder, 1983) . Sin embargo la disponibilidad de estos elementos es altamente condicionada al pH del suelo. Efectivamente, en toda la extensión de las sabanas bien y mal drenadas del país, los suelos presentan un bajo pH (<5,5), lo que limita la disponibilidad de la mayoría de los elementos minerales para la vegetación herbácea de la región (Leming, 1973), particularmente para el fósforo, zinc y cobre. (Figura 2).

Figura 2. Efecto del pH sobre composición mineral de los suelos. a/ Indicador relativo de concentración en relación al pH del suelo



Pastizales

La composición mineral de los pastizales está influenciada por las características químicas y físicas de los suelos, la pluviometría y la especie y estado vegetativo de la planta. Los valores recopilados (Chicco y Godoy, 2002) son promedios de varios autores, y no reflejan en forma puntual el efecto de las variables agro-ecofisiológicas antes mencionadas. Adicionalmente, el nivel de adecuación para la satisfacción de los requerimientos de los bovinos está condicionado a la genética, estado fisiológico y productivo de los animales, al nivel de selección de la oferta forrajera y otras limitantes relacionadas con la calidad calórico-proteica de la pastura. Por ello, los valores referenciales utilizados como niveles de satisfacción de los requerimientos son aproximaciones que toman en cuenta los señalamientos de algunos autores expertos en ganadería tropical (Mc Dowell y Conrad, 1977; Chicco y French, 1959) y las recomendaciones oficiales de la NRC (2000).

La información disponible (Cuadro 2) indica que el nivel de calcio es marginal ($\pm 0,20\%$) en la mayoría de las regiones (< 0,25%) y marcadamente deficiente en algunas áreas de los estados Guarico y Apure. Debido a que el calcio es un elemento de baja traslocación en la planta, su concentración no es afectada significativamente por el estado vegetativo (Gomide, 1978) y los cambios estacionales (Blue y Tergas, 1969). El contenido de fósforo es deficiente (<0,22%) en la gran mayoría de las áreas muestreadas, con excepción de los Llanos Centro Occidentales (Portuguesa, Barinas y Cojedes), en Falcon-Lara –Yaracuy y en Algunas localidades del Bajo Apure.

La deficiencia del elemento es particularmente seria en las SBD. En tal sentido, en un análisis de distribución de frecuencias correspondiente a 101 fincas, Chicco y Godoy (1990) encontraron que aproximadamente el 90% de las muestras tenían niveles inferiores al valor de referencia.

Para todas las muestras de forrajes de las diferentes regiones, el nivel de sodio es bajo (<0,08%), lo que corrobora que las gramíneas tropicales son limitantes en contenido de sodio (Norton, 1982). El contenido de hierro en los pastizales es elevado, (>50 ppm; NRC, 2001), pudiendo alcanzar niveles tóxicos en las sabanas inundables (1.152 ppm). En tal sentido Torres et al (1994) encontraron en las sabanas moduladas del Alto Apure valores de 302, 698 y 2003 ppm e los bancos, bajíos y esteros, respectivamente. De igual forma, los niveles de manganeso son muy elevados (> 40 ppm), con excepción en las SBD del norte del Estado. Bolívar.

Cuadro 2. Composición química de muestras de forrajes en entidades estatales correspondientes a sabanas bien y mal drenadas (Chicco y Godoy, 2002).

Sabanas	Fincas	N (%)	Ca (%)	P (%)	Mg (%)	K (%)	Na (%)	S (%)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Mo (ppm)	Co (ppm)	Se (ppm)	Referencias
Bien drenadas																
Guárico	12	0.75	0.20	0.04	0.19	0.33	-	-	169	69	35.4	8.2	-	-	-	Faria (1983) [†]
Guárico	12	-	0.11	0.11	0.37	1.97	-	-	-	215	34.0	-	-	-	-	Faria (1984)
Guárico	1	1.08	0.32	0.06	0.26	-	0.12	-	-	-	45.0	6.5	-	-	-	Chicco et al. (1992a)
Guárico	6	0.96	0.16	0.04	0.09	0.21	0.04	-	215	43	13.8	-	-	-	-	Chicco y Godoy (1996)
Cojedes	4	0.40	0.55	0.12	0.24	0.50	0.02	-	461	149	20.0	4.4	-	-	-	Mejillo (1995)
Monagas	7	0.90	0.16	0.09	0.11	-	-	-	371	124	31.7	4.7	-	-	-	Velásquez (1979)
Monagas	7	1.18	0.19	0.09	0.14	-	-	-	567	143	40.4	8.5	-	-	-	Velásquez (1981)
Anzoátegui	7	0.94	0.19	0.12	0.21	-	-	-	145	287	65.0	12.3	-	-	-	Velásquez (1979)
Anzoátegui	7	1.70	0.19	0.00	0.18	-	-	-	108	222	52.6	5.8	-	-	-	Velásquez (1981)
Bolívar	6	-	0.18	0.07	0.11	0.60	0.05	-	408	17	15.0	3.5	-	-	-	Chicco et al. (1985)
Bolívar	5	-	0.18	0.08	0.10	0.67	0.02	-	411	11	15.0	1.1	-	-	-	Chicco et al. (1985)
Apure	4	0.35	0.27	0.09	0.18	0.74	0.03	-	198	255	10.0	4.1	-	-	-	Mejillo (1995)
Cojedes	-	-	0.14	0.28	0.15	-	-	0.10	302	141	210.0	6.0	-	-	-	Tajon (1998)
Falcon-Lara-Yaracuy	-	-	0.35	0.24	0.27	-	-	0.26	110	60	107.0	7.0	-	-	-	Tajon (1998)
Portuguesa	-	-	0.24	0.34	0.16	-	-	0.24	248	95	95.0	9.0	-	-	-	Tajon (1998)
Promedio		1.03	0.23	0.12	0.18	0.72	0.05	0.20	287	133	52.7	6.1	-	-	-	
Mal drenadas																
Apure	4	1.40	0.33	0.19	0.21	1.42	0.01	-	1 152	286	29.1	5.1	-	-	-	Mejillo (1995)
Apure (bajo)	-	-	0.21	0.30	0.26	-	0.05	0.34	550	580	146.0	13.0	2.8	-	-	Chicco (2001) [†]
Apure	-	-	0.15	0.15	0.17	0.90	0.10	0.20	356	190	37.0	18.8	-	-	-	Ternes (1997) [†]
Apure	-	-	0.17	0.24	0.16	-	-	0.16	335	249	300.0	5.0	-	-	-	Tajon (1998)
Apure	1	-	0.08	0.17	0.20	1.00	0.01	-	139	136	25.7	2.5	0.2	0.18	0.22	Rojas et al. (1994)
Barinas	-	-	0.22	0.34	0.18	-	-	0.46	185	166	115.0	6.0	-	-	-	Tajon (1998)
Barinas	1	1.01	0.75	0.15	0.24	0.71	0.02	-	126	57	41.0	9.4	-	-	-	Mejillo (1995)
Portuguesa	56	1.49	0.20	0.16	0.30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	UNELLEZ (1982)
Guárico	-	-	0.24	0.26	0.23	-	-	0.08	143	201	325.0	5.0	-	-	-	Tajon (1998)
Promedio		1.30	0.26	0.22	0.22	1.01	0.04	0.18	373	236	127.4	8.1	1.5	0.18	0.22	
Valores referenciales																
	-	-	0.25	0.22	0.16	0.70	0.03	0.10	50	40	30	3.0	-	0.1	0.1	

Los valores promedio de zinc y cobre tienden a ser marginales y bajos, particularmente en las SBD. La ocurrencia de estas deficiencias en los forrajes puede deberse en parte a la mayor solubilidad del hierro, a causa del bajo pH del suelo, por tender este elemento a disminuir la capacidad de captura del zinc y cobre por el sistema radicular de las plantas (Beeson y Matrone, 1976).

Hay muy poca información sobre el contenido de molibdeno, cobalto, selenio y azufre. Algunas interrelaciones entre cobre, hierro, azufre y molibdeno serán consideradas en ulteriores análisis de la problemática de la nutrición mineral del las SMD del país. La deficiencia de cobalto ha sido diagnosticada clínicamente en áreas de pastoreo del sur de Monagas y norte de Bolívar.

En general, independientemente de las consideraciones sobre limitaciones para la interpretación de los valores registrados para el contenido mineral de los suelos y de los pastizales, adicionado a los diferentes métodos y tiempos de muestreo, se registran relaciones significativas para el calcio, (r=0,55), fósforo (r= 0,73) y hierro (r=0,63) entre suelos y vegetación.

Animales

En este resumen sobre los aspectos generales de la nutrición mineral, en el caso de los animales, solamente se considera el contenido mineral de la sangre de los bovinos ubicados en los diferentes sitios de muestreo, los cuales no siempre son coincidentes. En consideraciones ulteriores, se señalan datos sobre el contenido mineral de otros tejidos, particularmente hueso e hígado.

La información se presenta en forma global para las SBD y SMD (Figura 3), y según el tipo de animal (Figura 5). Datos más puntuales se encuentran en publicaciones anteriores (Chicco y Godoy, 1987; Chicco y Godoy, 1992).

Figura 3. Minerales en suero de bovinos según tipos de sabanas (Chicco y Godoy, 1992).

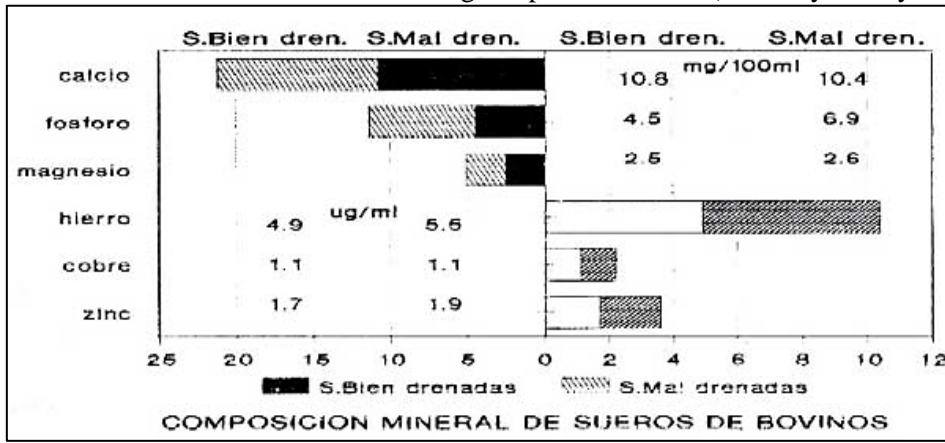
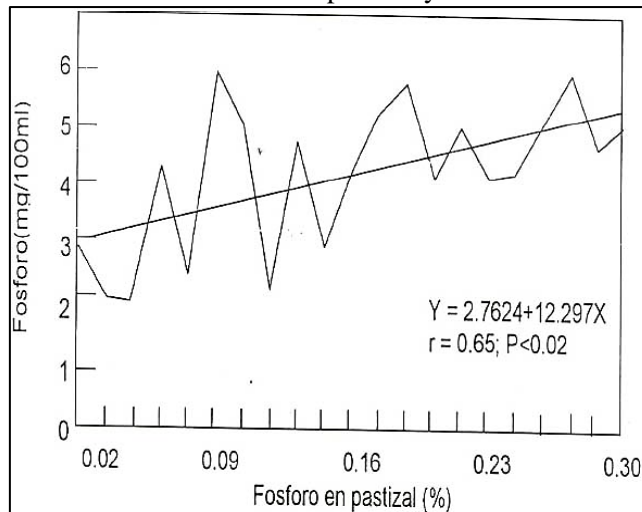


Figura 5. Minerales en suero de bovinos según tipo de animales y sabanas (Chicco y Godoy, 1992).



La concentración de fósforo sérico varía entre 3,08 y 6,88 mg/dl para los bovinos de las SBD y entre 5,28 y 10,79 mg/dl en las SMD, con valores promedio de 4,52 y a 6,92 mg/dl, respectivamente. Los valores mas altos de fósforo en los suelos y pastizales podría explicar las mayores concentraciones de fósforo sérico de los bovinos. También se observan diferencias en las concentraciones del fósforo sérico, de acuerdo al tipo de animal. Así, las vacas y novillas presentaron valores menores a los sugeridos como críticos (4,5 mg/dl). Las concentración de fósforo sérico varía según el nivel de suministro (Figura 4; Chicco y French, 1959), la lactación (Payne y Leech, 1964), la edad (French y Chicco, 1961; McSherry y Grinyer, 1954).

Figura 4. Relación entre contenido de fósforo en el pastizal y fósforo hemático (Chicco y French, 1959)



Los valores hemáticos del calcio, independientemente del tipo de animal, varían entre las diferentes localidades, de 9,3 a 14,08 mg/dl, apreciándose ligeras diferencias entre tipos de animales. En todos los casos los valores séricos del calcio siempre fueron superiores al nivel fisiológico de 8,5 – 9,0 mg/dl. Esto se debe fundamentalmente al eficiente mecanismo homeostático que mantiene el nivel del calcio sérico dentro de límites fisiológico, El efecto de la edad sobre el nivel de calcio es contradictorio, con tendencias a valores mas bajos en animales adultos en relación a los animales en crecimiento (Anderson et al., 1930; Said et al., 1964.).

La concentración de magnesio sérico no mostró diferencias entre las SBD (2,46 mg/dl) y SMD (2,57 mg/dl). En relación al tipo de animal, los valores mas bajos se registraron en los novillos y novillas en la fase final del crecimiento (1,85 mg/dl), al compararse con las vacas (2,82 mg/dl) y los becerros (2,77 mg/dl). La información bibliografica tiende a indicar que la concentración de magnesio varía de acuerdo al nivel del elemento en la dieta (Chicco et al, 1982), disminuye con la edad en sangre y hueso (Chicco, 1967) y con el aumento de la producción de leche (Rook, 1961)

La concentraciones séricas para hierro, zinc, y cobre son de 4,9, 1,66 y 1,11 µg/ml para bovinos en SBD y de 5,48, 1,98 y 1,14 µg/ml en las SMD, sin diferencias entre tipo de animales. En todos los casos, los valores señalados no se consideran como críticos para los bovinos. En el caso del cobre y del zinc, la aparente discrepancia entre los valores hemáticos y niveles deficientes de cobre y zinc en los pastizales posiblemente se debe al efecto de los mecanismos homeostáticos (Miller, 1978) o de reserva (Conrad y Avila, 1978), respectivamente.

IMPLICACIONES DERIVADAS

Independientemente de las limitaciones metodológicas reseñadas en la recopilación de la información sobre nutrición mineral en los sistemas ganaderos de las sabanas del país, hay evidencias concluyentes sobre la deficiencia de fósforo, sodio y en menor grado de calcio. Adicionalmente, existen numerosas áreas donde el zinc y el cobre pueden ser limitantes para la producción. Por otro lado, es suficientemente sólida la información que demuestra la existencia de niveles excesivamente elevados de hierro y manganeso. En forma global, se sugieren importantes interrelaciones que involucran principalmente al hierro, fósforo, cobre y zinc. Para una mejor comprensión de estas interrelaciones, se requiere mayor información sobre molibdeno y azufre, como se analizará mas adelante en el documento. Finalmente, el selenio sigue siendo una incógnita en la ganadería bovina del país.

INTERACCIONES MINERALES

Las interacciones minerales, tanto de tipo sinérgico como antagónico, prácticamente involucran a todos los elementos, son complejas y ocurren por reacciones químicas en el tracto digestivo, y por competencia en los sistemas de trasportes y centros activos de los sistemas enzimáticos.

Dentro la dispersa información sobre deficiencias y toxicidades minerales existentes en la ganadería bovina de las sabanas de Venezuela, cuando analizada en su globalidad, en un reciente estudio preliminar realizado en hatos del Bajo Apure, se ha detectado, no solamente un exceso de hierro y manganeso, como reportado previamente, sino también altos niveles de azufre (>0.4%) e insospechados de molibdeno (>3 ppm), que normalmente se presenta en suelos calcáreos y no ácidos, que pueden comprometer seriamente la nutrición del cobre y de otros elementos.

La interpretación de la interacción azufre-cobre-molibdeno a nivel digestivo y metabólico ha sido suficientemente aclarada (Dick, et al., 1976), pero sus efectos productivos y particularmente reproductivos siguen siendo temas de difícil comprensión y polémica. En el área inundable de Apure, en ganaderías altamente tecnificadas, se registra una alta mortalidad prenatal (>15%). En un estudio preliminar del contenido hepático de algunos minerales (Chicco y Godoy, 2002), se detectó que existe una correlación negativa ($r = -0,61$) entre el nivel de hierro y de cobre en el órgano, y cuando el primero se encuentra en concentraciones superiores a 1000 ppm, el nivel de cobre baja a 23 ppm (Cuadro 3), valor que indica una marcada deficiencia condicionada del elemento. Esto puede comprometer la productividad del rebaño, particularmente en su desempeño reproductivo, tanto en la concepción como en la viabilidad del feto. Bajo condiciones experimentales, el efecto del hierro y molibdeno (Humfries, et al., 1983) disminuye el contenido de cobre en el hígado (Cuadro 4). Así mismo, se afecta la pubertad (Cuadro 5; Philippo, et al., 1987) y, en el caso del molibdeno, al inducir una deficiencia condicionada de cobre (Xin et al., 1993), se disminuye la secreción de la hormona luteinizante (Cuadro 6). Las posibles implicaciones de esta condición incluyen retraso en el estro y probable reabsorción fetal y aborto, como registrado en animales de laboratorio y en ovejas (Underwood, 1981).

Cuadro 3. Niveles de microelementos (ppm) en hígado de Bovinos de carne a pastoreo (Bajo Apure)^{1,2}.

Animal N°	Hierro	Cobre	Manganeso	Zinc
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= Cu hígado, X= Fe hígado
(Chicco, C. F. y S. Godoy., 2002)

Cuadro 4. Efectos del hierro y molibdeno sobre el nivel de cobre en hígado de bovinos.

Tratamiento	Semana	Cobre hígado (mg/ kg MS)	Cobre plasma (µg/ ml)
Testigo	0	110,0	0,78
	8	72,0	0,70
	16	61,9	0,81
	32	72,0	1,00
Hierro 800 mg /kg	0	94,5	0,75
	8	19,2**	0,61*
	16	6,5**	0,26**
	32	3,6**	0,21**
Molibdeno 5 mg/ kg	0	104,8	0,78
	8	28,3*	0,65ns
	16	3,9**	0,19**
	32	2,4**	0,15**

ns: no significativo; * significativo al 5%, ** significativo al 1%.
(Humphries et al., 1983)

Cuadro 5. Edad y peso a la pubertad de hembras Hereford – Friesian sometidas a una deficiencia de cobre inducida por hierro y molibdeno.

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

Fe: 500mg/kg MS; Mo: 5mg/kg MS
^{ab}: valores con distintas letras son diferentes entre sí (P<0,05)
(Phillippo et al., 1987)

Cuadro 6. Efecto del cobre y el molibdeno sobre la concentración mineral en los tejidos cerebrales y sobre la secreción de LH luego de 16 semanas de suplementación.

	Testigo	+ Mo	+ Cu
LH adenohipófisis (µg/ g tejido húmedo)	213,7a	154,6b	213,5a
Secreción endógena de LH Suero (ng/ ml)	0,40a	0,35b	0,39a

Testigo: 12,2ppm Cu y 1,5ppm Mo; +Mo: 12,2ppm Cu y 6,5ppm Mo; +Cu: 32,2ppm Cu y 1,5ppm Mo (Xin et al., 1993)

En condiciones experimentales con bovinos suplementados con cobre, molibdeno y hierro se ha demostrado que entre la semana 12 y 16 el cobre baja a niveles deficitarios en los grupos suplementados con molibdeno y hierro. (Ward y Spears, 1997; Phillippo et al., 1987), concluyéndose que el la reducción de peso y consumo de alimento está asociado directamente al molibdeno y no a la reducción del estatus de cobre.

Así mismo, los estudios de Mullis et al., (2003) han demostrado que altas concentraciones de hierro (> 1000 ppm) en la dieta de novillas disminuye el consumo, la ganancia de peso y la conversión alimenticia. Estos efectos fueron parcialmente contrarrestados con el aumento del suministro de fósforo en la dieta.

IMPLICACIONES DERIVADAS

La nutrición mineral, vista en su conjunto y no singularmente por elementos, es muy compleja, y genera interacciones cuyos efectos todavía, en algunos o muchos casos, no han sido debidamente clarificados, particularmente en situaciones de estados carenciales e imbalances pobremente caracterizados en el trópico. En el caso de la interacción reseñada en las áreas inundables del país, pareciera que se requieren niveles mas altos de molibdeno, hierro y azufre para que se produzcan trastornos reproductivos y o productivos por deficiencia condicionada de cobre. Esto es objeto de estudio en la actualidad.

CONDICIONES ASOCIADAS A LA NUTRICIÓN MINERAL

Además de las deficiencias y toxicidades minerales, con efectos metabólicos y síntomas clínicos que han sido identificados y ampliamente reseñados en la literatura, en las regiones tropicales de América existen condiciones patológicas o síndromes, que responden a la suplementación mineral, cuya etiología, sin embargo, es pobremente definida y, en la mayoría de los casos, desconocida. Entre estas, se señalan la condición de "*Cara Hinchada*" en los cerrados de Brasil, "*Secadera*" en los llanos de Colombia", "*borrachera*" y "*síndrome parapléjico*" en las sabanas de Venezuela (McDowell et al, 1984; Chicco y Linares, 1992). La condición de paraplejia es objeto de análisis en este documento, por ser un tema polémico, en muchos casos por desconocimiento, a pesar de un volumen importante de información científica generada, que involucra condiciones mucho mas complejas que una simple deficiencia de fósforo.

PARAPLEJIA BOVINA

La condición de paraplejia, mejor conocida como el "Síndrome Parapléjico Bovino" (SPB), que se presenta principalmente en los llanos Centrales y Orientales, en las áreas fisiográficas de sabanas infértiles bien drenadas, se caracteriza por una parálisis progresiva del tren posterior, que evoluciona en una posición de decúbito ventral, sin alteraciones aparentes de órganos y tejidos (Marín et al., 1982) y que irremediamente conduce a la muerte del animal. La suplementación mineral, como practica preventiva en áreas de alta incidencia del SPB reduce significativamente la mortalidad (Chicco y Godoy, 2002).

Cuadro 7. Efecto de la suplementación mineral sobre índices de mortalidad (%) en rebaños bovinos en sabanas de Guárico.

Tipo de animal	Supl. Mineral	No. Supl. ² Mineral
Vacas	2,82	11,18
Novillas	5,85	7,21
Mautas	3,17	12,45
¹ Datos de 27 fincas en Guarico, entre 1995 y 1996		
² Las fincas sin suplementación tenían pobres condiciones de manejo (Chicco y Godoy, 2002).		

MACRO Y MICROELEMENTOS EN SANGRE E HÍGADO

Los resultados obtenidos en los niveles sérico de calcio, fósforo, magnesio sodio, cloro y potasio, en bovinos sanos (Cuadro 8) , revelan fundamentalmente algunas alteraciones en el contenido de fósforo, mas acentuadas en animales lactantes y hacia el periodo intermedio de la época de lluvias En los bovinos con SPB no se evidenció disminución de los valores de fósforo, que fueron superiores a los animales aparentemente sanos, por lo que la hipofosfatemia por si sola no puede considerarse como constante para caracterizar el SPB, ni determinante por si misma de la enfermedad. Efectivamente, en dos investigaciones independientes (Pulido, 1993; Rojas et al., 1994) se encontró que los niveles de fósforo son mas altos en los animales con SPB (4,76 vs 3,98 m/dl; y 6,12 vs 5,09 mg/dl), sin diferencias en los valores de calcio, tanto total como iónico.

Cuadro 8. Contenido mineral en suero e hígado de bovinos a pastoreo.

Elemento	Sueros	
	Sanos	SPB
Fósforo, mg/dl	4,6	5,4
Calcio, mg/dl	9,6	9,1
Ca ionico, mg/dl	4,0	3,7
Magnesio, mg/dl	2,6	1,8
Hierro, µ/dl	117,0	46,0
Zinc, µ/dl	-	130,0
Sodio, meq/l	134,0	141,0
Potasio, meq/l	4,05	4,05
Cloro, meq/l	103,6	92,2
	Hígado	
Cobre, ppm	90,0	81,10
Cobalto, ppm	0,55	0,40
Molibdeno, ppm	0,50	0,46
Datos adaptados de Pulido (1993) y Rojas et al.,(1994)		

El calcio iónico es un buen sensor de la hipocalcemia a nivel plasmático, y los resultados indican que, para todos los animales, los valores se ubican entre 3,5 y a 4,0 mg/dl. De la relación calcio iónico/calcio total se desprende que cerca del 40% está en forma iónica y que el restante 60% del calcio se encuentra unido a las proteínas plasmáticas (Rojas et al 1994). La relación Ca/P en el plasma es ligeramente superior en los animales sanos (2,0

es el índice de referencia), siendo mas bajo en los animales con SPB, registrándose valores de 1,83 y 1,62, según los diferentes investigadores (Rojas et al., 1994; Pulido, 1993). Esto es debido a los niveles de fósforo sérico mas altos en los animales con SPB, lo que parecería obedecer a un proceso de translocación extracelular del fósforo (Cuadro 9; Pulido, 1993).

Cuadro 9. Distribución del fósforo en suero y glóbulos rojos (mM/l) en bovinos.

Componente	Sanos	SPB
Glóbulos rojos (GR)	1,02	1,37
Plasma (P)	1,01	1,72
GR/P	1,00	0,80
Datos adaptados de Pulido (1993).		

Los valores de magnesio en los animales aparentemente sanos son normales, 2,74 mg/dl según Pulido (1993) y 2,38 mg/dl según Rojas et al., (1994) Sin embargo, los animales con SPB presentaron valores de magnesio significativamente inferiores en ambos estudios, 1,69 y 1,92 respectivamente. Los niveles de magnesio hemático son altamente sensibles a la ingestión del elemento. Debido a que la concentración de magnesio en los pastizales son adecuados para la nutrición de los bovinos, la disminución podría ser secundaria al estado de postración de los animales afectados, que no ingieren alimento. Niveles de 1,5 mg/dl inducen a la condición de tetania (Tejada, 1984), lo que no pareciera sugerir que esta fuera una condición asociada al SPB.

El sodio, cloro y potasio no presentan desviaciones significativas de los valores normales. Llama particular atención la disminución significativa del hierro sérico en los animales con SPB., no obstante los altos niveles del elemento en los pastizales. El cobre podría estar involucrado, por convertir la forma ferrosa a ferrica para su transporte. En otro estudio (Chicco y Godoy, 2002), se encontró una disminución significativa de la ceruloplasmina (enzima cobre dependiente) en animales con SPB al sur de Estado Guarico, lo que apoyaría el rol del cobre sobre la concentración del hierro sérico. El valor promedio de zinc sérico es normal; sin embargo en el Estado Guarico y Bolívar los valores fueron de 0,39 y 0,31 µg/ml respectivamente, muy inferiores al valor fisiológico de 0,7 µg/ml, en contraposición al valor de 1,66 µg/ml registrado en el estado Apure.

Siendo el hígado el órgano de acumulación de cobre, en nivel hepático del elemento es un excelente indicador del estado nutricional del catión. Los valores promedio de cobre hepático encontrados (Rojas et al., 1994) son marginales a los indicados como adecuados, incluyendo los correspondientes a los casos de SPB. (Undervood, 1981). Sin embargo, en los Estados Apure y Bolívar, los valores de cobre están por debajo del nivel crítico (< 75 ppm), indicando una hipocupremia moderada en esos Estados. Esto corroboraría los informes sobre bajos niveles de cobre en suelos y forrajes de los estados Guarico, y Bolívar (Farias, 1983; Chicco et al, 1985). El nivel de molibdeno hepático, mas bajo en los animales con SPB, y condicionante de la absorción y movilización del cobre, se mantiene dentro límites normales. Lo mismo se registró para el cobalto.

MINERALES EN HUESO Y MÚSCULO

El contenido de calcio, fósforo y magnesio en las costillas de los animales con diagnostico presuntivo de SPB son inferiores a los animales aparentemente sanos (Cuadro 10) con valores de 94,6, 196 y 6,2 mg/cc vs 125, 250 y 8,7 mg/cc respectivamente para calcio, fósforo y magnesio en animales afectados y no afectados. Igualmente hay una disminución de la densidad del hueso (1,36 g/cc vs 1,70g/cc), manteniéndose constante la relación Ca/P.

Cuadro 10. Niveles promedio de minerales (costillas) en bovinos con diagnostico presuntivo de SPB.

Estado	Fósforo	Calcio	Magnesio	Densidad	Ca/P
		mg/cc			
Bolívar	97	199	7,0	1,35	2,05
Guárico	93	192	5,5	1,40	2,06
Apure	90	190	5,8	1,32	2,11
Monagas	98	203	6,2	1,36	2,07
Prom. SPB	94,5	196	6,2	1,36	2,07
Prom. Sanos	125,0	250	8,7	1,70	2,04
Referencia	150	300	8,5	1,90	2,00

La baja concentración del calcio y fósforo en el hueso indica un fuerte proceso de resorción ósea, como resultado de la deficiencia de fósforo en los pastizales, que no solamente compromete al sistema esqueleto-muscular, como reservorio de minerales, sino también puede alterar importantes procesos metabólicos del tejido muscular, de sistemas enzimáticos y de la utilización de la energía.

Siendo el músculo el tejido que aparentemente mas caracteriza al SPB, se encontró (Pulido, 1993) que el fósforo intramuscular (Pi) en el glúteo y largo vasto tendinoso, en la mayoría de los casos, es mas elevado en los animales con SPB en comparación con los animales aparentemente sanos (17,33 vs 11,18 Mm/K p.h.). Estos

cambios podrían ser ocasionados por la condición de inmovilización, compresión e isquemia que origina micronecrosis a nivel muscular y subsiguiente liberación de Pi, lo que explicaría el aumento de su nivel en el músculo y también en la sangre. También puede ser el resultado de una alteración metabólica, con disminución de la utilización del fósforo para la producción de compuestos de alta energía. La ausencia de hipofosfatemia aguda y severa y el aumento del Pi en el músculo indican que la debilidad muscular y la incapacidad de levantarse, una vez caído el animal, no se deben a una miopatía aguda por hipofosfatemia, ya que, en ese trastorno, los dos parámetros (en sangre y músculo) descienden conjuntamente.

BIOENERGÉTICA

Como alternativa a la miopatía aguda hay sustentados indicios que en los animales afectados por el SPB pueda existir un bloqueo en la fosforilización para la síntesis de compuestos de alta energía (ATP). Los nucleótidos de adenina (ATP, ADP, AMP) son los mayores factores reguladores que controlan el metabolismo celular por estar envueltos en la transducción de energía entre las reacciones metabólicas, por su influencia sobre las principales enzimas reguladoras. La cantidad de energía metabólicamente utilizable en el sistema adenilato, está linealmente relacionada a la fracción de moles de ATP, mas la mitad de la fracción de moles de ADP. Este parámetro se denomina *carga energética* (CE) del pool de adenilato, cuya formula es:

$$CE = [(ATP) + \frac{1}{2} (ADP)] / [(ATP) + (ADP) + (AMP)]$$

Las enzimas que regulan secuencialmente la síntesis de ATP exigen poca actividad cuando la CE es baja y aumentan abruptamente cuando la CE tiene valores superiores a 0.75 (Atkinson, 1968).

La mayoría de los bovinos con SPB (Cuadro 11) presentaron valores más bajos de ATP en relación a los animales sanos. El contenido total de nucleotidos fue mas reducidos en los animales con SPB, así como la CE, por la baja concentración de ATP, conjuntamente con valores de ADP y AMP que están dentro del rango obtenido por los animales sanos , lo que indica que hay una deficiente conversión de ADP en ATP (Pulido, 1993). Esto es sugestivo de una alteración de la fosforilización oxidativa a nivel mitocondrial.

Cuadro 11. Carga energética en el músculo largo vasto de bovinos sanos y con SPB (µmol/g. p.h.).

Bovinos	Estado	ATP	ADP	AMP	CE	ATP/ADP
Controles	Bolívar	6.14 ± 0.29	0.727 ± 0.03	0.273 ± 0.02	0.91	8.45
	San Vicente (n = 22)					
	Apure	4.92 ± 0.24	0.675 ± 0.08	0.274 ± 0.04	0.90	7.33
	La Ratona (n = 23)					
	Guárico	4.68 ± 0.24	0.806 ± 0.08	0.201 ± 0.02	0.89	5.81
El Desquite (n = 23)						
SPB 714	Guárico	2.83	0.386	0.138	0.90	7.33
SPB 100	"	2.80	0.727	0.325	0.82	3.85
SPB 4046	"	2.58	0.604	0.299	0.83	4.27
SPB Med.	"	6.30	0.896	0.157	0.92	7.03
SPB Corob.	Apure	3.14	0.483	0.115	0.90	6.50

(Pulido, 1993)

Efectivamente, en investigaciones paralelas se encontró una disminución de la actividad de la citocromo C oxidasa (CCO) en los animales con SPB (Cuadro 12) Esto podría estar ocasionando un cuadro de déficit energético a nivel celular (Serrano et al., 1992) en ciertas condiciones de stress fisiológico o nutricional, ya que esta enzima constituye el ultimo eslabón de la cadena respiratoria translocadora de electrones.

Cuadro 12. Actividad de la citocromo C oxidasa en bovinos sanos y afectados con el SPB.

Animales	Km1 nM/mg/min	Vm2 NM/g tf	ICR	ADP/O
SPB	0.61	149	2.20	1.8
Sanos	0.56	468	3.09	3.0

Serano et al., 1992

Si disminuye actividad de la CCO se afectaría el gradiente de electrones, alterándose el flujo de protones a través de la ATP sintetasa, la cual cataliza la síntesis de ATP a partir de ADP y Pi. La Vmax de la enzima refleja su concentración, por lo cual se puede postular una reducida síntesis, limitada posiblemente por una deficiencia crónica de cobre, elemento que también se ha encontrado en valores cercanos a los críticos (75 ppm) en el hígado de animales afectados (Rojas et al., 1994).

Para que la disminución en la actividad de la CCO explicara los valores subnormales de ATP en reposo y la miopatía, habría que suponer que el sistema estaría prácticamente colapsado, con agotamiento de la fosfocreatina a niveles muy críticos que no permiten el mantenimiento de la fuerza de contracción muscular. El incremento de la concentración de Pi en el músculo, también contribuiría a la debilidad muscular.

La concentración subnormal de ATP encontrada en el músculo de los animales enfermos, conjuntamente con el aumento del Pi intramuscular, indica una asociación entre estos cambios y el principal signo clínico de la enfermedad, probablemente debido a una falla de la fosforilación oxidativa. Sin embargo, se desconoce si la magnitud del cambio en la concentración de ATP es suficiente para explicar la pérdida de la fuerza contráctil del músculo.

En investigaciones simultáneas (Finol et al., 1994;) se reportó modificaciones ultra estructurales acentuadas en la forma, tamaño y densidad electrónica de la matriz de las mitocondrias del músculo e hígado (Figuras 6), y evidencias de lesiones degenerativas en las fibras musculares (Medina et al., 1994) del bovino con SPB (Figura 7). Las observaciones en conjunto, son consistentes con una alteración metabólica oxidativa, probablemente de origen nutricional, que involucra varios órganos y tejidos, particularmente músculo y tejido nervioso, que son los de mayor devanada del metabolismo oxidativo.

Figura 6. Mitocondrias en hígados de animales sanos y afectados por SPB. Adaptado de Finol et al., 1994

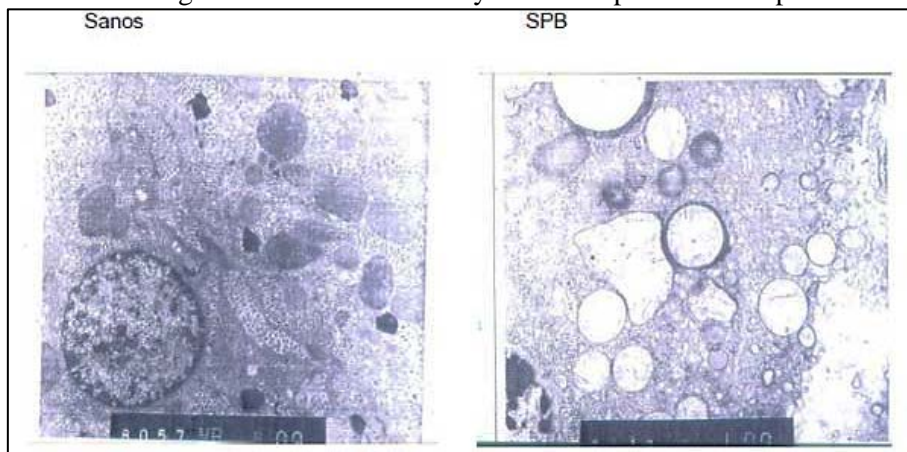
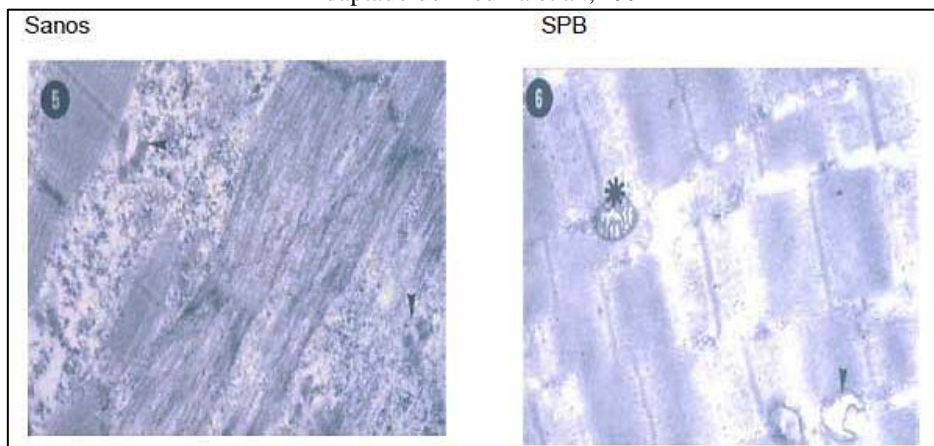


Figura 7. Mitocondrias y alteraciones de las fibras del músculo estriado en bovinos con SPB. Adaptado de Medina et al., 1992



IMPLICACIONES DERIVADAS

La baja concentración de minerales en el hueso en los bovinos con SPB refleja las amplias deficiencias de fósforo que se observan en los animales, así como la profundización del estado carencial en ciertas etapas de la época de lluvias y durante la condición de preñez y lactación. En estas condiciones, el control homeostático mantiene los niveles de fósforo dentro valores fisiológicos normales, por estimulación de la resorción ósea. La ausencia de hipofosfatemia conjuntamente con el incremento del Pi en los animales con SPB tiende a descartar la hipó-

tesis de que las alteraciones funcionales del músculo esquelético se deban a una miopatía por hipofosfatemia. Los niveles subnormales de ATP y la desviación del CE hacia el rango inferior de lo normal, indica una menor conversión de ADP en ATP. Esta condición puede estar relacionada con los cambios ultra estructurales en las mitocondrias y a la disminución de la actividad de la CCO, todo ello enmarcado dentro de una alteración metabólica oxidativa, probablemente de origen nutricional, relacionada con el metabolismo del cobre. Debido al papel de este elemento en la bioenergética celular, los resultados indican que la carencia de cobre, directa o inducida por interrelaciones antagónicas, podría jugar un papel importante en la etiopatogenia del SPB.

ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE SUPLEMENTACIÓN MINERAL

De la información presentada, no obstante las consideraciones sobre sus limitaciones anteriormente señaladas, pareciera que en Venezuela existe suficiente información para hacer recomendaciones relativamente acertadas sobre suplementación mineral, que permita satisfacer deficiencias o corregir imbalances. Esto es más cierto en áreas agroecológicas relativamente homogéneas, donde los desequilibrios minerales son mejor conocidos. Ejemplo de esto son los Estados, Monagas, Anzoátegui, Norte Bolívar, Guárico Oriental, Norte de Cojedés, Portuguesa y Barinas. No así en áreas inundables de los últimos cuatro Estados y Apure, donde las interrelaciones minerales antagónicas aparentemente son más frecuentes y donde hay limitados conocimientos sobre el estado de la nutrición mineral.

En términos generales, una mezcla mineral completa usualmente incluye cloruro de sodio (30%), como vehículo para asegurar un adecuado consumo, una fuente de fósforo y calcio, cobalto, cobre, yodo, hierro, manganeso, magnesio, selenio y zinc. En las áreas del país de suelos ácidos, se debe eliminar el hierro y manganeso, por el alto contenido de estos elementos en la biomasa forrajera. Así mismo, debido a la presencia del magnesio en el núcleo de la clorofila, este elemento generalmente no debería ser incluido en el suplemento. Para el azufre y selenio, todavía se dispone de poca información, y se recomienda su inclusión en áreas específicas, previo análisis de los forrajes. El calcio siempre está presente en los fosfatos utilizados en la alimentación animal, de tal forma que su inclusión es prácticamente automática, independientemente si haya o no necesidad del elemento. De todas formas es necesario mantener la relación Ca:P igual o inferior a 2:1. En las áreas donde hay alto contenido de molibdeno en el forraje, se necesita aumentar de tres a cuatro veces los niveles de cobre. Tan solo 3 ppm (0,0003%) de molibdeno o 0,5% de azufre reducen en un 50% la utilización del cobre. La adecuada nutrición del cobre para contrarrestar los efectos del molibdeno y del azufre, es un problema complejo, Bajo estas condiciones, a fin de reducir el efecto de iones libres que interactúan antagónicamente a nivel del tracto digestivo, sería conveniente el uso de oligoelementos en forma orgánica, quelatos, particularmente en el caso del cobre, que, como se ha reseñado, aparentemente está involucrado en numerosas interrelaciones que comprometen su utilización con diferentes manifestaciones clínicas y productivas.

Los quelatos tienen ventajas sobre las formas inorgánicas por su neutralidad electroquímica, que le confiere ventajas biológicas (interferencias) y sin competencias por las proteínas de transporte. Además, tienen una mayor tasa de absorción y la constante de estabilidad es superior a la de los compuestos con los cuales pueden interactuar en el tracto digestivo, pero lo suficientemente débil para poder liberar el metal a nivel de los tejidos. Formas inyectables son también opciones válidas, particularmente en formas químicas de lenta liberación del elemento.

Contrariamente a la opinión de algunos expertos de la nutrición animal y de casas comerciales, proveedoras de agroinsumos, que promueven la suplementación mineral genérica (con todos los elementos), es opinión de los autores y es consenso general en la literatura mundial, que los suplementos minerales deben aplicarse solamente según lo indica las condiciones específicas locales. En una publicación anterior (Chicco y Godoy, 2002) se hacen sugerencias sobre la composición de los suplementos minerales de acuerdo a las principales áreas agroecológicas del país.

CONCLUSIONES

En las áreas ganaderas correspondientes a las sabanas del país, los bovinos a pastoreo están sujetos a restricciones nutricionales, calórico-proteicas y de varios minerales. Entre estas, las deficiencias de fósforo, calcio, sodio, cobre, zinc y excesos de hierro y manganeso son las condiciones que más restringen la producción ganadera. Adicionalmente, la existencia de importantes interrelaciones que involucran varios minerales y que son condicionantes de la utilización de algunos elementos, particularmente fósforo y cobre, merecen especial atención por su efecto sobre la producción, reproducción y que además pueden comprometer la sobrevivencia de los animales, como es el caso del síndrome parapléjico bovino y de otras patologías asociadas. Debido al papel del cobre en la bioenergética celular, la carencia de este elemento podría jugar un rol importante en la etiopatogenia del SPB.

Todavía la información disponible tiene limitaciones de interpretación por la falta de procedimientos uniformes de muestreos y análisis, y por lo limitado o nulo conocimiento sobre algunos minerales importantes en la nutrición de los rebaños, como molibdeno, selenio y cobalto. Particular esfuerzo es necesario para tener un mayor y mejor conocimiento del estado nutricional mineral de los bovinos a pastoreo y poder así recomendar procedi-

mientos correctivos acorde a las necesidades reales de los animales en cada circunstancia, relacionada con animal, el hábitat y los sistemas y tecnologías aplicadas a la producción.

BIBLIOGRAFÍA

- Anderson, A. K., H. E. Gayley, y A. D. Pratt. 1930. Studies of the chemical composition of bovine blood. *J. Dairy Sci.*, 13: 336- 342.
- Atkinson, D. E. 1968. The energy charge of the adenylate pool as a regulatory parameter. Interaction with feed-back modifiers. *Biochemistry*, 7: 4030- 4034.
- Beeson, K. C. y G. Matrona. 1976. The soil factor in nutrition: animal and human. Marcel Dekker Inc. N.Y.
- Blue, W. G. y L. E. Tergas. 1969. Dry season deterioration of forage quality in the wet-dry tropics. *Soil Crop Sci. Soc. Fla. Proc.* 29: 224-231.
- Breland, H. L. 1976. Memorandum to Florida extension specialist and country extension specialists. IFAS. Soil Sci. Lab. University of Florida. Gainesville. Fl. EUA.
- Chicco, C. F. 1967. Some nutritional aspects of dietary magnesium in ruminants and poultry. University of Florida, Gainesville. Dissertation Abstract: 29: 1- 5.
- Chicco, C. F. y M. H. French. 1959. Observaciones sobre deficiencias de calcio y fósforo en los animales de las regiones ganaderas del Centro y Este de Venezuela. *Agron. Tropical*, 9: 41- 62.
- Chicco, C. F. y S. Godoy. 1987. Suplementación mineral de bovinos de carne en Venezuela. En: III Cursillo sobre ganado de carne. (D. Plasse y N. Peña Eds.). Facultad de Ciencias Veterinarias. Universidad Central de Venezuela, Maracay, Venezuela. pp 47- 103.
- Chicco, C. F. y S. Godoy. 1993. Suplementación mineral de los bovinos de carne a pastoreo en los llanos de Venezuela. En: aspectos de sanidad animal en áreas afectadas por el Síndrome Parapléjico del Bovino. Programa de Cooperación Agrícola, Convenio MAC/PDVSA. Boletín N° 2. Maracay, Venezuela. pp 159-208.
- Chicco, C. F. y S. Godoy 2002. Nutrición mineral de los bovinos de carne en Venezuela. En: XVIII Cursillo sobre Bovinos de Carne. (R. Romero, J. Arango, J. Salomón Eds.) Facultad de Ciencias Veterinarias. Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela. pp.135-155.
- Chicco, C. F. y T. Linares. 1992. Avances en el estudio de la caracterización del síndrome parapléjico bovino. Programa de Cooperación Agrícola, Convenio MAC/PDVSA. Boletín N° 3, FONAIAP. Maracay, Venezuela. (Serie C. N°31). 93 p.
- Chicco, C. F., C. B. Ammerman, R. M. Valsecchi y N. A. Marcilese. 1982. Effect of dietary magnesium on calcium utilization by sheep. *Magnesium. Bulletin* N° 4, Offizielles Organ der Gesellschaft für Magnesiumforschung. pp.164-169.
- Conrad, J. H. y J. Avila. 1978. Predicción de las deficiencias minerales en los rumiantes basado en suelo, planta y tejido animal. En: Simposio Latinoamericano sobre investigaciones sobre nutrición mineral en rumiantes a pastoreo. Universidad de Florida. Gainesville, EUA pp.170- 184.
- Dick, A. T., D. W. Dewey y J. M. Gawthorne. 1975. Thiomolybdates and coppermolybdenum- sulphur- interaction in ruminants. *J. Agric. Sci. Camb.* 85:567-568.
- Farias, J. A. 1983. Concentración de minerales en el suelo y en los pastos nativos del Guarico Oriental. *Zoot. Tropical*. 1: 11- 128.
- Finol, H., H Rivera y A. Marquez. 1994. Hepatocyte ultrastructure in the bovine paraplegic síndrome. *Acta Microscopica* 3: 67- 72.
- Fleming, C. A. 1973. Mineral composition of herbajas. En: *Chemistry and Biochemistry of Herbage*. Vol. 1 (G. W. Butler y R. W. Bailey Eds.) pp 529- 566.
- French, M. H. y C. F. Chicco. 1961. Observaciones sobre deficiencias de calcio y fósforo en los animales de los Andes y sus intermediaciones. *Agron. Tropical* 11: 157- 173.
- Gomide, J. A. 1978. Mineral composition of grasses and tropical leguminous forages. En: *Latin American Symposium on Mineral Nutrition Research with Grazing Ruminants*. University of Florida. Gainesville, EUA. pp. 32- 40.
- Holdridge, L. R. 1947. Determination of world plant formation from simple climatic data. *Science* 65: 367- 348.
- Marin, C., N. De Lopéz, A. Martinez, A. Leon, H. Castaños, A. De Alvarez y A. Sandoval. 1982. Síndrome parapléjico con alta mortalidad observado en bovinos híbridos de ciertas regiones de Venezuela. XII Congreso Mundial de Enfermedades del Ganado. Amsterdam. Ned. Vol II: 1163- 1166.
- Mcdowell, L. R. y J. CONRAD. Trace mineral nutrition in Latin America. *World Animal Review*. 24: 24-33.
- Mcdowell, L. R., J. H. CONRAD, G. L. ELLIS y J. K. LOOSLI. 1983. Minerals for grazing ruminants in tropical regions. Boletín S/N. University of Florida. Gainesville, Fl. EUA. 89 p.
- Medina, N., H. Finol y C. Marín. 1994 Patología estructural del músculo esquelético en el síndrome parapléjico bovino. *Acta Científica Venezolana*. 45:120- 126.
- Miller, W. J. 1978. Zinc nutrition of cattle. A review. *J. Dairy Sci.*, 53: 1123-1135.
- Mullis, L. A. J. W. Spears y R. L. McCraw. 2003. Effect of breed (Angus vs Simmental) and copper and zinc sources of mineral status of steers fed high dietary iron. *J. Anim. Sci.*, 81: 318- 322.
- National Research Council (NRC). 2000. Nutrient Requirements of Domestic Animals. Nutrient Requirements of Beef Cattle (7th Ed.). National Academy of Science. National Research Council. Washington, EUA. 447 p.
- Norton, B. W. 1982. Differences between species in forage quality. En: J.B. Hacker (Ed.). *Nutritional limits to animal production from pastures*. Commonwealth Agricultural Bureau. Farmhand Royal, UK, pp 90- 110.
- Payne, J. M. y F. B. Leech. 1964. Factors affecting plasma calcium and inorganic phosphorus in cows with particular reference to pregnancy, lactation and age. *Brit. Vet. J.* 120: 385- 392.

- Phillippo, M., W. R. Humphries y T. Atkinson. 1987. The effect of dietary lolybdenum and iron on copper status, puberty, fertility and oestrous cycles in cattle. *J. Agric. Sci.* 109: 321-336.
- Pulido, M. 1993. Evaluación de la nutrición mineral y de la respuesta inmune en bovinos afectados por el síndrome parapléjico y en bovinos de ganadería extensiva en áreas con alta incidencia de la enfermedad. Trabajo de ascenso. Facultad de Medicina. Escuela Ruiz Razetti. Universidad Central de Venezuela. Caracas. Venezuela. 86p.
- Ramia, M. 1967. Tipos de sabanas en los llanos de Venezuela. *Boletín de la Sociedad Venezolana de Ciencias Naturales*, 112:264-288.
- Rojas, H., J. R. Serrano y R. Di Polo. 1994. Micro y macronutrientes en el ganado de los llanos venezolanos y su posible relación con el origen del síndrome parapléjico del bovino. *Acta Científica Venezolana*, 45:127- 139.
- Rhue, R. D. y G. Kidder. 1983. Analytical procedures used by the IFAS extension soil testing and the interpretation of the results. *Soil. Sci. Dept. Boletin S/Nº*. University of Florida. Gainesville. Fl. EUA.
- Rook, J. A. 1961 Rapid development of hipomagnesemia in lactating cows given artificial rations low in magnesium. *Nature*, 191:1019-1027.
- Said, R. A. H., K. Zaky, E. A. El Azab, y M. Shaker. 1964. Effect of age, pregnancy and certain pathological conditions on serum levels of calcium, phosphorus, total protein and protein bound polysaccharides in Fresian cattle. *Zentralblatt für Veterinarmendinzin, Ser.A.* 11: 685.
- Serrano, J. R., J. De La Peña, H. Rojas y R. Di Polo. 1992. Determinación de la actividad de la citocromo C oxidasa en el ganado bovino de los llanos venezolanos y su papel en la etiología del síndrome parapléjico bovino En: Memoria de la VII Reunion de la Comisión Central de Evaluación y Seguimiento. Programa de Cooperación Agrícola. Convenio MAC/PDVSA. Caracas, Venezuela.
- Tejada, R. 1984. Evaluation of the mineral status of cattle in specific regions of Guatemala. Ph.D. Thesis. Institute of Food and Agricultural Sciences. University of Florida. Gainesville, Fl. EUA.
- Torres, R., E. Chacón, W. Machado, L. Astudillo, J. Carrasquel y E. García. 1994. Efecto de métodos de pastoreo sobre sabanas moduladas. II Composición proteica y de minerales en planta y suelos. *Zoot. Tropical* 21: 449-466.
- Underwood, E. 1981. The Mineral Nutrition of Livestock. Commonwealth Agricultural Bureaux Eds. London, England.
- Ward, J.D. y J. W. Spears. 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.* 75:3057- 3065.
- Xin, Z., W. J. Silvia, D. F. Waterman y R. W. Hemken. 1993. Effect of copper status on luteinizing hormone secretion in dairy steers. *J. Dairy Sci.* 76: 437.

Volver a: [Minerales](#)