



SUPLEMENTACIÓN MINERAL - PROTÉICA EN LA CRIA BOVINA¹

HAROLD OSPINA PATINO², ROMULO CAMPOS GAONA³; MARIO ANDRES SIERRA CANO⁴; RAQUEL XIMENES⁵

¹ Charla presentada en la XXXV Jornadas Uruguayas de Buiatría. Paysandú - Uruguay, 7al 9 de Junio de 2007.

²Zootecnista, D.Sc., Profesor Asociado. Fac. de Agronomía - Dept. de Zootecnia - UFRGS. Porto Alegre - RS - Brasil

³ Medico Vetrinário, D.Sc. - Profesor Asociado. Fac de Ciências Agropecuárias - UNAL. Palmira - Colombia

⁴ Zootecnista, Estudiante de Mestrado no Programa de Postgrado em Zootecnia - UFRGS. Porto Alegre - RS - Brasil

⁵ Estudiante de pregrado - Facultad de Medicina Veterinária - UFRGS. Porto Alegre - RS - Brasil

INTRODUCCIÓN

La ganadería de carne es uno de los sistemas de producción del agronegocio que más sufre los impactos de un ambiente altamente globalizado en el cual los consumidores están exigiendo productos con calidad conocida, superior y homogénea, producido en intervalos de tiempo y con costos menores. El principal desafío de estos sistemas es mejorar su desempeño bioeconómico en situaciones donde se trabaja con animales precoces (sexualmente, en el crecimiento y en el engorde) los cuales consumen dietas a base de pasturas. En estas condiciones, la mejora en los parámetros productivos y reproductivos depende de la utilización de herramientas técnicas relacionadas con el mejoramiento genético, con el manejo reproductivo y sanitario, y, principalmente, con la optimización nutricional de la dieta de los animales, buscando maximizar el consumo, la digestión y el metabolismo de los nutrientes contenidos en las pasturas.

Las consideraciones anteriores se tornan particularmente importantes en sectores de la ganadería tales como la cría bovina, históricamente considerada actividades de menor rentabilidad financiera y por tanto con poca incorporación de tecnología. Dada la creciente demanda mundial por commodities agrícolas tales como maíz, caña de azúcar y soja, la frontera agrícola se ha expandido dejando las áreas agrícolas marginales, para actividades de bajo retorno económico.

Frente a este escenario la cría bovina como actividad empresarial necesita incorporar tecnologías de producción que estén integradas dentro de la estructura de manejo de los recursos disponibles y que permitan mejorar los parámetros zootécnicos y los resultados económicos, teniendo como objetivo la obtención de un producto con las características que el mercado quiere y está dispuesto a pagar.

El objetivo de este trabajo es presentar algunos tópicos sobre el efecto de la utilización de la suplementación mineral y protéica en el desempeño productivo y reproductivo en la cría bovina.

CARACTERÍSTICAS DE LA CRIA BOVINA

Los cuatro principales países integrantes del MERCOSUR concentran aproximadamente 240 millones de cabezas que representan 23% de la población mundial bovina de los cuales 70% se encuentran en Brasil, 21% en Argentina, 5% en Uruguay y 4% en Paraguay (Anualpec, 2006).

Aproximadamente 53% de este efectivo bovino se encuentra en los rebaños del noreste Argentino (22% del rebaño nacional), en el centro-sur Brasileño (63% del rebaño nacional) y en los campos naturales del Uruguay (8% del rebaño nacional). Este rebaño se encuentra establecido en regiones subtropicales las cuales, a pesar de las diferencias que existen entre países, presentan como característica común la existencia de suelos de baja fertilidad y menor potencial agrícola. La opción productiva en estas áreas fue durante mucho tiempo la cría bovina pero ahora con la presión ejercida por cultivos agrícolas más rentables y competitivos, esta actividad está siendo paulatinamente relegada a áreas marginales. Este ambiente productivo adverso hace prominente la introducción de tecnologías que garanticen la optimización de los factores de producción y el aumento en la renta de los productores rurales (suplementación, mejoramiento genético, inseminación artificial, etc).

La fase de la cría es una de las más complejas en la producción de ganado de carne ya que incluye la reproducción de hembras adultas, la producción y desmame de los terneros y la cría de las terneras de reposición. En un tipo de explotación integrada de cría, recría y engorda, la cría puede representar hasta 60% de la estructura del rebaño.

A pesar de todas las dificultades productivas que presenta, la cría juega un papel importante para mantener la productividad y competitividad de la ganadería de carne a través de la disponibilización de la materia prima para engorde en regiones con pasturas mejoradas o con mayor disponibilidad de granos e subproductos de la agroindustria. Si por un lado la cría es un tipo de explotación de progresos lentos y retornos económicos de medio plazo por otro lado es una actividad de menor riesgo financiero que representa un seguro para los productores. Además de esto puede ser considerada una actividad pionera en el aumento de la frontera agrícola como un todo y juega un papel importante en el aumento del diferencial genético de los rebaños.

FACTORES QUE AFECTAN LA RENTABILIDAD EN LA CRIA BOVINA

Así como en otros sectores de la ganadería la rentabilidad de la cría depende de la diferencia entre los ingresos y los costos de producción. Los ingresos son determinados por los kg de terneros destetados, el peso de los terneros al destete (kg de terneros vendidos) y por el precio de venta de los terneros.

La matriz de costos, uno de los componentes impor-

tantes de la rentabilidad en una empresa de cría, tiene que ser muy bien analizada en la hora de tomar decisiones de manejo. La utilización de tecnologías avanzadas, en un sector donde las respuestas económicas son lentas, puede afectar profundamente el flujo de caja y comprometer la sustentabilidad económica de la empresa. Actualmente se sugiere que el manejo de los factores de producción se haga a través de sistemas integrados de gestión, utilizando herramientas tecnológicas que permitan hacer el ajuste fino de la utilización de insumos y el análisis financiero del proceso (análisis del punto de equilibrio y análisis de sensibilidad) (Barcellos et al., 2000).

El precio de venta del ternero es la variable que tiene menor posibilidad de ser efectivamente alterada por el productor para mejorar los ingresos en una empresa ganadera de cría. Esta tendencia podrá ser cambiada en la medida que las empresas dedicadas a la cría direccionen los sistemas hacia la producción de terneros con un biotipo especializado para mercados específicos para engorde de mayor valor agregado.

Por otro lado las otras variables que participan en la definición de los ingresos pueden ser integradas en la variables kg de ternero desmamado por unidad de superficie de pastoreo, que considera el peso de los terneros al destete, la tasa de destete y la carga (Simeone y Beretta, 2002). Esta variable es considerada la que mejor representa la eficiencia de la cría y sobre la que los productores tendrán que trabajar en la busca de mayor eficiencia bioeconómica.

El peso al destete es una respuesta que depende del crecimiento que ocurre entre la concepción y el destete, el cual puede ser dividido en dos fases: crecimiento prenatal y crecimiento posparto.

CRECIMIENTO PRENATAL

El crecimiento prenatal corresponde al desarrollo embrionario el cual ocurre con mayor intensidad en los tres

últimos meses de la gestación. Este crecimiento es responsable al por 6 a 8% del peso adulto y es una característica determinada genéticamente. En la Tabla 1 se puede observar que vacas de biotipos mayores producen terneros de mayor peso al parto.

La suplementación de vacas de carne antes del parto no es una práctica muy utilizada a pesar de algunos trabajos (Marston et al., 1995) que han demostrado que puede aumentar el peso del ternero al parto y al destete.

CRECIMIENTO POST PARTO

El crecimiento posparto comprende el período entre el parto y el destete, que en condiciones normales dura 6 a 7 meses. La tasa de crecimiento en este período está determinada básicamente por la producción de leche de la vaca, la cual varía entre razas (Tabla 1).

El factor que más afecta la eficiencia de producción en esta fase (kg de ternero desmamados por kg de vaca expuesta) es el consumo de alimento. En situaciones con elevados niveles nutricionales y alto consumo, las vacas de biotipo mayor presentan altas tasas de concepción, producen más leche y destetan terneros más pesados. Por el contrario en situaciones típicas de campos de cría, donde los niveles nutricionales y el consumo de alimento son menores, las vacas de biotipos menores son más eficientes pues a pesar de destetar terneros más leves presentan mayores tasas de re-concepción. Como puede ser observado en la Figura 1, a bajos niveles de consumo de MS las vacas de razas británicas fueron más eficientes que las de razas continentales, pero cuando el consumo de MS superó los 6000 kg/vaca/año estas últimas mostraron mayor potencial productivo.

El papel fundamental de una vaca en los sistemas de cría es producir un ternero pesado por año y las variables que determinan esta respuesta son la tasa de natalidad y la

Tabla 1. Peso de terneros al parto y producción de leche de algunas razas bovinas de carne (Adaptado del NRC, 1996)

Raza	Peso del Ternero (kg)	Producción de leche (kg/día)
Angus	31	8
Braford	36	7
Brahman	31	8
Brangus	33	8
Charolês	39	9
Devon	32	8
Hereford	36	7
Limousin	37	9
Nelore	40	7
Polled Hereford	33	7
Santa Gertudis	33	8
Simmental	39	12



mortalidad de terneros entre el parto y el destete.

Sistemas de producción pastoriles que trabajan con vacas de mayor tamaño y producción de leche y que tienen elevados requerimientos nutricionales pueden tener la meta anual de producción comprometida. El desequilibrio entre la demanda nutricional de los animales y la oferta de nutrientes de las pasturas causan un prolongado anestro post parto, el cual afecta negativamente la tasa de natalidad y la eficiencia reproductiva del rebaño.

EFFECTOS DE LA NUTRICIÓN SOBRE LA FISIOLÓGIA REPRODUCTIVA

Desde el punto de vista de la fisiología reproductiva no es posible intervenir en la duración del período de gestación, por lo que la duración y el manejo del período post parto son los responsables por el adecuado intervalo entre partos. En general, los padrones endocrinos que suceden en el post parto son similares para todos los animales no importando ni la raza, ni el número de partos anteriores, ni el efecto estacional, sin embargo, es conocido que se presentan alteraciones en el restablecimiento de los ciclos estrales normales postparto.

Bajo circunstancias normales el período post parto se caracteriza por:

1. Recuperación anatómica e histológica del aparato reproductivo post gestación.
2. Ondas periódicas de desarrollo y maduración folicular.
3. Aumento en la liberación pulsátil de GnRH y de LH.
4. Ovulación con aumento temporal de las concentraciones séricas de progesterona.

5. Ovulación seguida de regularidad en la duración y en la intensidad de los ciclos estrales.

El consumo ineficiente de energía, proteína, vitaminas o minerales es asociado por diversos autores a desempeños productivos y reproductivos insatisfactorios. De todos los factores nutricionales el que en mayor grado afecta la reproducción es el balance energético, pues el está íntimamente ligado a la reactivación ovárica y a la reanudación de la actividad reproductiva cíclica en el postparto. Short y Adams (1988) clasifican los eventos fisiológicos de los rumiantes de acuerdo a sus prioridades energéticas de la siguiente manera:

1. Metabolismo basal
2. Actividad y desplazamiento
3. Crecimiento
4. Acumulo de reservas de energía (glicógeno)
5. Gestación
6. Lactancia
7. Reservas adicionales de energía (tejido adiposo)
8. Ciclos estrales y reinicio de la preñez

Dado que la actividad reproductiva es una actividad de baja prioridad nutricional se entiende porque el balance energético negativo afecta severamente el desempeño reproductivo. El eje hipotálamo-hipófisis-gónada es el encargado de la regulación del crecimiento y desarrollo folicular, ovulación y secreción hormonal específica para cada una de las fases del ciclo estral, bien sea ésta folicular y por ende bajo actividad estrogénica o de actividad luteal y por ende con liberación de progesterona. La actividad neuroendocrina en los mamíferos se regula a nivel de hipotálamo mediante

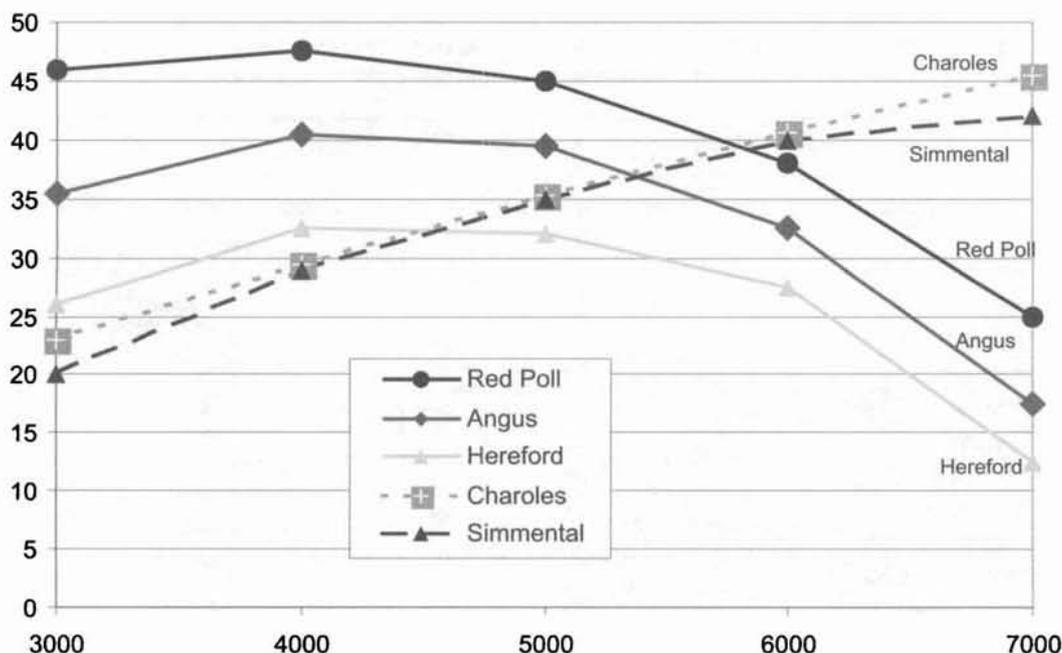


Figura 1. Eficiencia biológica (g ternero desmamado/kg MS consumida/vaca expuesta)(Jenkins y Ferrell, 1994)



intrincadas conexiones neurales que registran los estímulos exógenos (temperatura, horas luz, amenazas y peligros) y los estímulos internos (aumento de constantes fisiológicas, hambre, dolor, amamantamiento, etc). El hipotálamo contiene un alto número de núcleos celulares específicos encargados de la traducción de la información neural en secreciones endocrinas capaces de regular mediante bloqueo o activación, vías bioquímicas específicas para alcanzar la homeostasia (sobrevivencia) o la homeorresis (perpetuación en el tiempo) (Sauvant, 1992).

El hipotálamo libera GnRH, hormona de control central que actúa sobre grupos celulares de la hipófisis, quien a su vez, libera LH y FSH, fundamentales para la dinámica en el tejido gonadal. El conocimiento detallado de esta sincrónica actividad neuroendocrina ha permitido el avance de la fisiología reproductiva y el uso masivo de técnicas bioreproductivas como sincronización e inducción de celo. Sin embargo y debido a que el hipotálamo registra situaciones internas de déficit o desconfor, el déficit de energía es rápidamente registrado por los núcleos nerviosos y la actividad de liberación de GnRH es bloqueada para permitir una distribución mejor de la escasa energía que posee el animal, toda vez que las actividades de tipos reproductiva no son prioritarias para el organismo. Se conocen un gran número de compuestos de alta especificidad encargados de bloqueos puntuales en grupos celulares del sistema nervioso central, básicamente del hipotálamo. Estos compuestos genéricamente recibieron en la década de los 80, el nombre de opiodes endógenos. Sobre los opiodes se ha demostrado que poseen estructura química similar a la morfina y la melanocortina, entre los principales compuestos están: proopiomelanocortina (POMC), b-endorfinas, dinorfinas y etilenodimorfina, todas ellas capaces de frenar la liberación de GnRH. Mediante el uso de bloqueadores sintéticos de estas sustancias, tipo naloxona se ha comprobado el papel de los opiodes en la regulación de la actividad reproductiva (Rivier & Rivest, 1991).

A finales de la década del 90 fue descubierta la leptina. Este hallazgo originado en el estudio del gen ob de animales de experimentación y responsabilizado por la regulación del tejido adiposo abrió una nueva posibilidad de entender la regulación de las reservas energéticas del animal. La densidad energética de las moléculas lipídicas es considerablemente mayor que la densidad de carbohidratos simples, esta es la razón por la cual se ha intentado el uso de grasa protegida (by pass), para aumentar la densidad energética de animales de alta producción. Infelizmente los estudios sobre leptina en bovinos no son concluyentes y muchas de las situaciones estudiadas no han conseguido ser aisladas de los efectos de otras hormonas como insulina y somatotrofina. El estudio de la regulación de la función ovárica y su relación con la leptina, puede considerarse como una prometedora fuente de investigación en los próximos años.

Parece claro que existe un efecto positivo entre el desarrollo folicular, las ondas de crecimiento folicular, los niveles de hormonas secretadas por las estructuras ováricas y los niveles de factores insulínicos de crecimiento, conocidos también como IGF. Al parecer estos factores modulan la expresión de receptores específicos para diferentes hormo-

nas a nivel celular. No ha sido probado en forma directa que algún tipo de manipulación nutricional mejoren los niveles de IGF. De esta forma, el papel de la suplementación energética actuaría en forma indirecta favoreciendo la síntesis de IGF, para este fin, una adecuada nutrición proteica que haga disponibles los aminoácidos requeridos para la síntesis de los IGF, lo mismo que para la síntesis de los receptores que los mismos modulan.

A partir del mejoramiento de los sistemas de determinación hormonal, se han desarrollado un alto número de estudios en los cuales se ha investigado la relación entre el balance energético y hormonas como insulina y glucagón. Los resultados son controvertidos. Es posible, que el elevado control homeostático de la glucosa, sustrato básico de la insulina y el glucagón impida una evidencia clara. Adicionalmente, el bovino mantiene una absorción permanente de precursores glicogénicos desde el rúmen, esta podría ser otra limitante clara en el estudio. El análisis del balance energético considerado como positivo o negativo, es producto de los cálculos de requerimientos y oferta, y no por la determinación de metabolitos específicos. Ni la glucosa, ni el BOH, ni los NEFA (ácidos grasos no esterificados) dan respuestas únicas y concluyentes. Así por ejemplo los NEFA pueden estar aumentados en ayuno, en la movilización de grasa o en dietas con alto contenido de fibra. El BOH no solo se libera por la movilización de grasa, normalmente es producido en el rumen. En forma general, la insulina es una hormona lipogénica en los rumiantes.

La suplementación de terneros en lactación utilizando comederos privados donde solamente el ternero puede entrar (creep-feeding) además de permitir mayor peso al destete puede mejorar el desempeño reproductivo de las vacas. La leche producida por la vaca es de vital importancia para el desarrollo del ternero hasta los 60 días post parto. Apartir de los 90 días el ambiente ruminal del ternero se encuentra plenamente capacitado para digerir forrajes pero su capacidad de consumo todavía es limitada. En este periodo su tasa de crecimiento depende principalmente del nivel de consumo y de la calidad del pasto y muy poco de la leche materna consumida. La utilización del creep-feeding apartir de los 60 días de edad tiene como objetivo estimular el desarrollo de la capacidad fermentativa ruminal y contribuir con nutrientes para el crecimiento del ternero.

Las principales ventajas del creep-feeding están relacionadas con el mayor peso de los terneros al destete, la posibilidad de utilizarlo cuando el precio de los terneros es mayor que el precio de los suplementos, permite la expresión del potencial genético de crecimiento particularmente para animales terminados en confinamiento, disminuye el estrés del ternero al destete e evita la pérdida de condición corporal en las vacas, posibilitando mejoras en los índices de fertilidad. (Taylor, 1994).

La utilización de creep-feeding permite mayores pesos al destete (20 a 40 kg) en relación al destete convencional (Tabla 2). Los suplementos normalmente utilizados en el creep-feeding contienen 17 a 18% de PC y 75 a 80% de NDT, ofrecidos en cantidades equivalentes a 1% del peso corporal (aproximadamente 1,0 kg/animal/día), esperando una



Tabla 2. Efecto de la suplementación de terneros en lactación sobre el peso al desame, peso al sacrificio y el rendimiento de canal (Adaptado de Sancevero, 2000)

	Tratamientos	
	Con creep-feeding	Sin creep-feeding
Nº animales	80	80
Peso al destete (kg)	250	208
Peso al sacrificio (kg)	445	410
Rendimiento canal (%)	57,7	55,5
Índice	113	100

conversión alimentar de 2:1 en ausencia de efectos asociativos substitutivos.

Una de las mayores preocupaciones para los productores es la viabilidad económicamente del creep-feeding principalmente en lo tocante al consumo de suplemento por parte del ternero. En este sentido es importante monitoriar la conversión alimentar de modo a evitar que la adición de nutrientes a la dieta de los terneros no sustituya los que ellos naturalmente obtienen de la leche y del forraje consumido. Como fue demostrado por Sampaio et al. (2002), la adición de 10% de NaCl al suplemento ofrecido em el creep-feeding, disminuyo el consumo de suplemento y proporciona mayor ganancia de peso en relación a los animales que no recibieran suplemento, viabilizando económicamente la aplicación de esta técnica de suplementación.

Souza y Lobato (2005) evaluarón los efectos de la utilización del creep-feeding en la alimentación de terneros sobre el desempeño productivo y reproductivo de vacas primiparas y sus terneros. Utilizarón 64 vacas primiparas cruzadas Braford con edad media inicial de 24 meses y 100 ha de pasturas en final de ciclo con Lolium multiflorum, Lam, Trifolium repens L. y Lotus corniculatus L. cv. São Gabriel. Los terneros recibieron un suplemento con 17,5% PC y 73,6% NDT, elaborado a base de maiz (60%), torta de soya (30%), cloruro de sódio (8%) y premix mineral (2%). El suplemento fue ofrecido a los terneros durante 140 días iniciando a los 70 días post parto (noviembre) y terminando a los 210 días post parto (abril). En la Tabla 3 es posible observar que la utilización de creep-feeding en la suplementación de terneros aumento significativamente el peso vivo, el escore de condición corporal y la ganancia de peso de las vacas, en relación a las vacas cuyos terneros no recibían suplementación. Sin embargo esta mejor condición de las vacas no fue suficiente para alterar significativamente la tasa de preñes, debido probablemente a que las vacas no fueron desafiadas nutricionalmente dada la buena disponibilidad (2717 kg MS/ha) y calidad (11% PC y 66.5% FDN) de las pasturas utilizadas. Por otro lado los terneros suplementados presentarón ganancias diarias de peso 20% superiores a las presentadas por los terneros sin suplementación (Tabla 3), con eficiencias de conversión de 1,7.

Otro aspecto importante a ser considerado al evaluar la eficiencia en la cria bovina es la tasa de crecimiento post destete de las terneras de reposición y su efecto sobre el peso y la edad al primer servicio y al primer parto. La edad al primer parto es una variable fundamental porque incide directamente sobre la vida productiva de la vaca y sobre la eficiencia reproductiva, determina el número de animales de reemplazo y el progreso genético anual del rebaño.

El crecimiento en las hembras bovinas podría ser definido como el aumento coordinado de la masa muscular y ósea por hiperplasia celular y junto a ésta el desarrollo y maduración del sistema reproductivo en un tiempo determinado. Para que esto ocurra son necesarias la acción hormonal asociada al potencial genético del animal, y su interacción con los efectos ambientales, particularmente nutricionales y sanitarios (Heinrichs & Hargrove, 1987). Desde finales de la década de los ochenta, fue claramente dilucidado que el crecimiento es un proceso fisiológico que depende da disponibilidad de nutrientes y no simplemente de factores cronológicos. En general, las principales hormonas que participan en el crecimiento son el conjunto de hormonas somatotróficas, entre las cuales se encuentran: hormona del crecimiento o somatotrofina, prolactina, factores insulínicos de crecimiento (IGF-I, IGF-II), factores de crecimiento epidérmico y otras hormonas como la tiroxina (T4), triyodotironina (T3) e insulina.

La precocidad puede ser definida como la rapidez de desarrollo o tasa de crecimiento de los tejidos, que permite alcanzar una determinada proporción del peso adulto (Lana, 1997) y la expresión de las características relacionadas con la pubertad tales como la ovulación en las hembras y la producción de semen con un número suficiente de espermatozoides maduros para fertilizar un óvulo en el macho (Lawrence y Fowler, 1997). En esta fase las actividades endócrinas responsables por el crecimiento de los tejidos óseo y muscular dejan de ser controladas por las hormonas del crecimiento y pasan a ser controladas por las hormonas sexuales.

La precocidad es una característica animal que puede ser encontrada en cada uno de los tres componentes del sistema de producción de ganado de carne: cria, recría y

Tabla 3. Efecto de la utilización de creep-feeding en la suplementación de vacas primiparas sobre algunos parámetros productivos y reproductivos (Adaptado de Souza y Lobato, 2005).

Parámetros	Sin creep-feeding	Con creep-feeding
Vacas		
Peso vivo inicial (kg)	335.7 ^a	335.2 ^a
Peso vivo final (kg)	398.6 ^b	412.0 ^a
ECC inicial	3.05 ^a	3.16 ^a
ECC final	3.77 ^b	3.94 ^a
Ganancia peso (kg/día)	0.449 ^b	0.549 ^a
Tasa preñes (%)	75.0 ^a	78.1 ^a
Terneros		
Consumo suplemento (kg/día)		0.5
Peso inicial (kg)	75.62 ^a	76.59 ^a
Peso final (kg)	173.78 ^b	194.47 ^a
Ganancia peso (kg/día)	0.701 ^b	0.843 ^a

engorde. La precocidad sexual, encontrada en la cría es considerada la herramienta de manejo que podrá, de forma más rápida, aumentar la eficiencia, rentabilidad y competitividad de la ganadería de carne, a través de aumentos en la tasa de disfrute (Potter, 1997). Se consideramos que la cría utiliza en el mantenimiento más de 70% del total de nutrientes requeridos por un animal en terminación, la precocidad sexual permitirá acortar el período improductivo en que los animales presentan elevadas demandas nutricionales sin retorno productivo.

Normalmente, a partir de la pubertad la actividad reproductiva se torna cíclica y continua, pasando a hacer parte de la serie de eventos fisiológicos que genéricamente se denominan ciclo ovárico. En este ciclo, el reclutamiento de folículos primarios para iniciar su fase de maduración y selección hasta lograr un tamaño ideal para ser ovulado, son llamadas de ondas de crecimiento folicular. Actualmente es aceptado que el número de ondas de crecimiento sucedidas por cada ciclo ovárico es de tres. Al inicio de la vida reproductiva, estas ondas no son sincrónicas, ni tampoco son iguales en duración, es posible encontrar animales púberes que sus primeros ciclos son de 17 días, y solo exhiben dos ondas de crecimiento folicular. A medida que el animal finaliza la fase de crecimiento exponencial y comienza el plató del crecimiento, las funciones reproductivas se estabilizan.

Un complejo juego de relaciones entre el hipotálamo y la gónadas marcan el inicio, estabilización y ciclicidad reproductiva. A nivel central, los sensores de hipotálamo detectan señales metabólicas originadas en diversos tejidos (hígado, TGI, páncreas), que inducen una retroalimentación

negativa para la hormona del crecimiento y un estímulo para la liberación de pequeñas ondas de GnRH, las que a su vez, estimulan en el ovario, a través de la FSH. El reclutamiento y desarrollo de folículos primarios ocurre bajo el estímulo de la gonadotropina, sintetizando y liberando estrógenos, la principal fuente de la retroalimentación para la liberación de mayor tono y pulsatilidad de la GnRH, haciendo que la función reproductiva sea más regular e intensa a medida que mayores niveles hormonales entran en circulación. En principio, en la pubertad no hay un ciclo estral definido, solo se presentan ondas foliculares, que no alcanza la ovulación, los niveles de estrógenos son erráticos al comienzo y paulatinamente aumentan y se estabilizan hasta producir ondas foliculares dinámicas que finalizan con la ovulación, momento este definido por la secreción adecuada de LH.

Durante la pubertad y en las fases de crecimiento, el factor insulínico de crecimiento IGF-I, producido en el hígado, favorece la lipogénesis, ahorra insulina a los tejidos y actúa como modulador e inductor del crecimiento mediante activación de las tasas mitóticas en la mayoría de tejidos. En la esfera reproductiva, favorece el reclutamiento y crecimiento folicular por desarrollo de las células de la granulosa en el ovario.

Cuando las condiciones nutricionales favorecen el desarrollo fisiológico, la pubertad se presenta antes de los 15 meses de edad. Animales con tasas de crecimiento altas, presentan primero la pubertad, que aquellos animales con menor velocidad en su desarrollo. Esta relación permite considerar que posiblemente el peso, influye más que la edad, en el inicio de la actividad reproductiva. Podría generalizarse, que cuando una hembra alcanza entre el 50 al 60% del peso



adulto, la pubertad se presenta, obviamente, con las claras diferencias entre razas.

La determinación de la edad de pubertad es importante para iniciar el manejo reproductivo. Empíricamente los productores relacionan crecimiento y pubertad, cuando deciden que el primer servicio se efectúe cuando es alcanzado cierto porcentaje del peso vivo de una vaca adulta de la raza de interés, peso que normalmente depende del nivel nutricional disponible (Tabla 4).

En sistema pastoriles de cria que presentan niveles nutricionales entre medios y bajos, los pesos recomendados para servicio están entre 65 y 75% del peso adulto, lo que significa tener pesos entre 300 y 350 para razas británicas de carne. Es claro, que la edad y el peso al primer servicio depende no solo de la ganancia diaria de peso entre el destete y el servicio, si no también del peso y la edad al destete. Para alcanzar un peso ideal medio de 325 kilos, y asumiendo un peso al destete a los siete meses de 170 kilos, será necesario alcanzar una media de ganancia de peso superior a 700 g/día, esto para poder efectuar el primer servicio entorno de los 15 meses y así lograr el primer parto a los 24 meses de edad.

Recientemente Gasser et al (2006 a, b) mostraron que es posible inducir la pubertad en novillas a través de la combinación de desmame precoz y suplementación energética. Según los autores la pubertad de las novillas puede ser disminuida a 10 meses de edad permitiendo múltiples ciclos estrales antes de la primera estación de monta y potencializando el mejoramiento de las tasas de natalidad. Aparentemente el manejo y la nutrición en el periodo antes del destete convencional tienen un papel importante en los cambios fisiológicos y hormonales responsables por la manifestación de la pubertad.

Alcanzar la pubertad a una edad adecuada con un peso y desarrollo ideal para los patrones de la raza, requiere de una nutrición de alto nivel pues en esta fase de crecimiento la demanda de nutrientes es alta y la dieta debe garantizar una oferta que no limite ni el crecimiento, ni el desarrollo sexual. Estos sistemas de manejo alimentar intensivos de las novillas solamente se justifican en situaciones donde la tasa de natalidad es alta. En la mayoría de los sistemas pastoriles de producción de la cria bovina donde la edad al primer parto es 3 años y la tasa de natalidad está entre 50 y 60%, la eficiencia reproductiva de los rebaños está limitada

por la intrínseca estacionalidad en la producción y calidad presentada por las pasturas. En estas condiciones se pueden utilizar prácticas de manejo para aumentar a tasa de natalidad más baratas para mejorar la eficiencia reproductiva (Beretta et al., 2001).

Entonces a pesar de la cria ser considerado un proceso donde la eficiencia conversión de la energía consumida en producto es baja y donde las actividades reproductiva ocupan el último lugar dentro de las prioridades nutricionales, también es cierto que es en esta actividad donde es posible transformar pasturas de bajo valor nutritivo (pobres en proteína y ricas en celulosa) en productos de alto valor nutritivo (ternero). El desafío es utilizar estrategias de manejo nutricional y reproductivo que permitan optimizar los procesos naturales existentes en los animales para capturar, digerir y metabolizar los nutrientes contenidos en las pasturas, buscando mejores resultados bioeconómicos.

CONCEPTOS BÁSICOS DE LA NUTRICIÓN DE RUMIANTES EN PASTOREO

Una de las principales características de los rumiantes es su potencial para convertir alimentos ricos en fibra, que no pueden ser eficientemente aprovechados por animales no rumiantes (entre ellos el hombre), en productos de alto valor nutricional, apreciados y bien pagos por la población humana. Esto es posible gracias a que los procesos evolutivos han equipado a los rumiantes domésticos con una serie de adaptaciones fisiológicas que les han permitido lidiar con alimentos fibrosos, como las pasturas (Ospina et al., 1999). El conocimiento de algunos mecanismos de funcionamiento de tales adaptaciones que regulan los procesos de digestión y metabolismo, las estrategias reproductivas y los hábitos de pastoreo, pueden ayudar a optimizar la productividad y biodiversidad de los sistemas pastoriles.

En un nivel de agregación mayor los rumiantes hacen parte de un sistema ecológico en el cual la producción depende básicamente de la eficiencia con la cual la energía es transferida entre los niveles tróficos. El principal objetivo en estos sistemas de producción es convertir la mayor cantidad de energía solar en energía contenida en la biomasa vegetal y posteriormente transferir la mayor cantidad posible de esta energía y otros nutrientes para el animal.

A la luz de las leyes de la termodinámica el flujo de

Tabla 4. Pesos recomendados para novillas en el inicio de la estación de monta de acuerdo al nivel nutricional de la dieta (Andrade, 2001).

Nivel nutricional de la dieta	Peso recomendado en la novillas % del peso adulto
Alto	50 - 55
Medio	60 - 70
Bajo	75 - 80



energía en el ecosistema pastoril es un proceso de baja eficiencia debido a las pérdidas de energía que ocurren durante la transferencia de energía entre los niveles tróficos que lo componen. Datos de algunos trabajos han mostrado que la eficiencia de conversión de energía solar en producción primaria y de la parte aérea de las plantas en producción secundaria son de 0,5 y 2,0%, respectivamente los cuales rinden una eficiencia de conversión de energía solar en producto animal entre 0,002 y 0,005 %. (Briske y Heitschmidt, 1991; Viglizzo, 1981). En condiciones de pasturas nativas de Río Grande do Sul - Brasil, Nabinger (1997) presenta datos relacionando la disponibilidad de pasto con el flujo y la eficiencia de transferencia de energía. Según este autor una práctica de manejo tan simple como el ajuste de carga puede aumentar la eficiencia de transformación de la energía, que en los 12 millones de hectáreas de pasturas nativas de la región sur de Brasil, posibilitaría una producción 850.000 ton carne/año.

El principal desafío en el manejo de los sistemas pastoriles es la necesidad de balancear la relación antagonista entre la captura de energía solar (planta) y la eficiencia del proceso de colheita (animal) de modo a maximizar la productividad sobre una base sustentable. El principio fundamental del manejo de las pasturas es controlar la frecuencia e intensidad de la desfoliación en el espacio y en el tiempo, dirigiendo la sucesión vegetal para garantizar la sustentabilidad del recurso forrajero a largo plazo. Para alcanzar estas metas es necesario superar barreras relacionadas con las condiciones limitantes a la producción de pasto, a la inherente variación espacial y temporal de las condiciones climáticas y al consumo selectivo presentado por rumiantes en pastoreo (Piaggio, 1995). La herramienta de manejo de mayor utilidad para alcanzar la sustentabilidad de las pasturas es la presión de pastoreo, definida como la relación entre la demanda y la disponibilidad de forraje en un instante determinado. La presión de pastoreo debe variar con el tiempo, acompañando la natural variación temporal en la disponibilidad de forraje como consecuencia de las diferencias en la producción y dinámica del crecimiento estacional de las pasturas.

La relativamente baja eficiencia de conversión de la energía consumida en producto animal, aproximadamente 10% (Briske y Heitschmidt, 1991), demuestra el potencial existente para mejorar la eficiencia productiva del ecosistema pastoril, a través de la disminución de las pérdidas metabólicas del rumiante. Esta eficiencia es determinada por los factores que afectan la optimización de las reacciones en el ambiente ruminal y por las relaciones de los nutrientes absorbidos y disponibles para trabajo celular. Cualquier abordaje nutricional sobre la eficiencia de utilización de energía por rumiantes en pastoreo tendrá que incluir los dos aspectos anteriormente citados.

En sistemas en pastoreo donde el animal consume un alimento que depende del complejo ecosistema ruminal para la digestión y metabolismo de los nutrientes es fundamental conocer y predecir los resultados de las acciones que ocurren en él, porque son la clave para estimar el valor nutritivo de las dietas y diseñar sistemas de producción más eficien-

tes tanto biológica como económicamente. Alteraciones físico-químicas en este ecosistema (osmolaridad, tasa de dilución, pH, AGV, N-NH₄, etc.) determinan el nivel y eficiencia de producción debido a las alteraciones en la calidad y/o cantidad de nutrientes disponibles para absorción e metabolismo a nivel microbioal y/o celular.

En la práctica mejorar la eficiencia de los sistemas pastoriles no es una tarea muy fácil porque estos sistemas están compuestos por tres componentes que funcionan de forma integrada, dificultando su estudio: los requerimientos nutricionales del animal, los requerimientos del ambiente ruminal y la oferta de nutrientes por parte de la pastura. Hoy es ampliamente reconocido que la mejor de las pasturas presenta limitaciones nutricionales, principalmente en el contenido de energía neta, que impiden la plena expresión del potencial genético de los animales (Minson, 1990). Raramente los requerimientos para máxima producción animal son llenados y en la mayoría de los casos esto se debe a la diferencia existente entre la disponibilidad de nutrientes en la pastura y la variabilidad (calidad y cantidad) de los nutrientes disponibilizados al tejido animal. Algunos de los factores responsables por esta diferencia están presentados en la Tabla 5.

Como puede ser observado en la Tabla 5 los beneficios de la utilización de suplementos (proteico - minerales) sobre la eficiencia de producción de rumiantes en pastoreo solamente aparecen cuando otros factores productivos no están limitando el desempeño de los animales. La suplementación no corrige los problemas relacionados con la falta de gerencia en el manejo productivo, reproductivo y sanitario de los rebaños, que ocasiona baja disponibilidad y/o calidad de la dieta (energía y proteína), bajo desempeño y rentabilidad.

NUTRICIÓN MINERAL DE RUMIANTES

Los minerales existen en las células y tejidos del cuerpo de los animales en una gran variedad de formas funcionales, combinaciones y concentraciones. En condiciones normales las concentraciones de los minerales son bien reguladas para asegurar la integridad estructural y funcional de los tejidos y garantizar que el crecimiento, la salud y la productividad de los animales no sean perjudicadas. El consumo de dietas deficientes o mal balanceadas en minerales, produce cambios en su forma o en la concentración en los tejidos y fluidos corporales. En tales circunstancias los mecanismos homeostáticos son accionados para intentar minimizar los efectos de los cambios inducidos por la dieta. Cuando esto no es posible aparecen problemas bioquímicos y las funciones fisiológicas son perjudicadas, ocasionando lesiones estructurales cuya magnitud depende del mineral, el grado y duración de la deficiencia / exceso, edad y sexo de los animales.

En muchas partes del mundo una gran cantidad de animales domésticos consumen dietas que no son adecuadas para llenar los requerimientos nutricionales de minerales, manifestándose, en la mayoría de los casos, como de-



Tabla 5. Factores que afectan la oferta y utilización de nutrientes por rumiantes en pastoreo

FACTOR	COMPONENTES
Contenido de nutrientes en la pastura disponible	Fertilidad del suelo Estación del año Especie vegetal Partes de la planta
Componentes de la pastura seleccionados por el animal	Especie animal Estructura de la pastura
Cantidad consumida de cada componente seleccionado	Disponibilidad y digestibilidad Potencial animal para utilizar nutrientes Llenado ruminal Tasa de digestión y tránsito Comportamiento ingestivo
Modificación ruminal de los nutrientes consumidos	Carbohidratos (AGV) Proteína Minerales
Eficiencia de utilización de los nutrientes absorbidos	Glucosa Aminoácidos Lípidos Minerales

ficiencias leves y momentáneas y determinando cuadros de subproductividad de los animales. Además de esto, las deficiencias de minerales generalmente están confundidas con problemas de subalimentación, deficiencias de energía y proteína e infestación con parásitos, lo que torna difícil la realización de un diagnóstico adecuado. En la medida que los sistemas de producción van ganando en eficiencia y los problemas básicos de manejo (nutrición, reproducción y sanidad) son solucionados, las deficiencias y desbalances de minerales adquieren mayor importancia (Suttle, 1991).

Los minerales desempeñan variadas funciones en el organismo de los animales las cuales pueden ser clasificadas en cuatro grandes grupos: estructurales, fisiológicas, catalíticas e de regulación (Underwood y Suttle, 1990). En la Tabla 6 son presentadas las funciones en algunos procesos y los minerales que participan.

Según el NRC (1996) los bovinos de carne requieren de por lo menos 17 minerales los cuales pueden ser dividi-

dos en dos grandes grupos: macro y micro minerales, en función de las cantidades exigidas diariamente. Dentro de los macro minerales encontramos: calcio, fósforo, magnesio, sodio, potasio, cloro y azufre. Dentro de los micro minerales encontramos: cromo, cobalto, cobre, hierro, manganeso, molibdeno, níquel, selenio, yodo y zinc. Mientras los requerimientos diarios de los macro minerales son expresados en gramos, los requerimientos de los micro minerales son expresados en miligramos por día. La división en macro y micro minerales tiene un objetivo meramente didáctico porque la importancia de cada uno de estos minerales depende mucho más de la función desempeñada que de las cantidades.

En las últimas décadas se han hecho importantes avances en aspectos relacionados con: la determinación de los requerimientos nutricionales, interacciones entre minerales, nuevos minerales y formas de suplementación. Muchos de estos avances han ocurrido por la necesidad de que la suplementación mineral presente relaciones costo-beneficio

Tabla 6. Principales funciones de los minerales

FUNCIÓN	PROCESOS	MINERALES
Estructural	Estructura de los huesos y dientes, proteínas de los músculos, membranas celulares	Ca, P, Mg, F, S, Zn
Fisiológicas	Presión osmótica, equilibrio ácido básico, permeabilidad de las membranas, irritabilidad de los tejidos	Na, K, Cl, Ca, Mg, S
Catalíticas	Metaloenzimas, Hormonas	Fe, Cu, Zn, Mn, Mo, Se
Regulación	Replicación y diferenciación celular	Ca, Zn, I

ajustadas a los escenarios de producción e comercialización de carne más exigente e competitiva. Sin embargo el grande desafío continúa a ser la incorporación de la información generada en sistemas de evaluación que permitan realizar el ajuste fino de la suplementación pues en algunas situaciones el uso de sales mineralizados completos no ha sido suficiente para prevenir el apareamiento de deficiencias y bajos índices productivos y reproductivos (Prestes et al., 2004).

LA SUPLEMENTACIÓN MINERAL

Hoy es plenamente reconocido que la optimización de la suplementación mineral es uno de los aspectos claves en sistemas eficientes de producción de carne. Los dos principales componentes a ser considerados en esta optimización son los requerimientos nutricionales y la forma como estos pueden ser llenados por los suplementos minerales.

REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES

A pesar de todavía existir muchos vacíos en el conocimiento básico sobre la estimación de los requerimientos de minerales para bovinos de carne en pastoreo, el método factorial continúa a ser la técnica preferida para determinar tales requerimientos.

Como puede ser observado en la Tabla 7 las estimativas de los requerimientos líquidos para Ca y P varían muy poco entre los diversos sistemas existentes. Según Ternouth et

al. (1996) bovinos de carne en crecimiento consumiendo dietas a base de forrajes en la faja de 1,0 a 2,5% del peso vivo tienen un requerimiento de fósforo para mantenimiento (perdidas endógenas) entre 9 y 17 mg/kg PV muy próximos de los valores presentados el Cuadro 2.

Trabajos hechos en Brasil (Véras et al., 2001) con machos Nelore sin castrar (400 kg de peso vivo) alimentados con dietas de confinamiento han mostrado que los requerimientos líquidos (mantenimiento y ganancia de peso) de Ca son 37% menores y los de P 18% mayores que los valores sugeridos por el NRC (1996) para este tipo de animal.

Little (1980) trabajando con bovinos de carne con peso entre 200 e 400 kg determinó que el requerimiento de P para el crecimiento de este tipo de animales era de 5,8 g P/kg ganancia de peso, valor este 38% menor que el valor propuesto por el NRC (1996).

De manera general es posible afirmar que los sistemas de determinación de los requerimientos líquidos de macro y micro minerales (NRC, 1996; SCARM, 1990; AFRC, 1991) superestiman tales requerimientos entre 20 y 30% para animales en condiciones tropicales, principalmente con relación al fósforo.

Una de las grandes dificultades con el método factorial para estimar los requerimientos de minerales es que al utilizar un coeficiente de absorción medio supone que el mineral absorbido es utilizado con la misma eficiencia en todas las situaciones. Este coeficiente es estimado en experimentos de metabolismo donde los animales reciben dietas con nive-

Tabla 7. Estimativas de los requerimientos de Ca y P para cubrir las pérdidas endógenas y del crecimiento en bovinos de carne.

FUNCIÓN	PROCESOS	MINERALES
Estructural	Estructura de los huesos y dientes, proteínas de los músculos, membranas celulares	Ca, P, Mg, F, S, Zn
Fisiológicas	Presión osmótica, equilibrio ácido básico, permeabilidad de las membranas, irritabilidad de los tejidos	Na, K, Cl, Ca, Mg, S
Catalíticas	Metaloenzimas, Hormonas	Fe, Cu, Zn, Mn, Mo, Se
Regulación	Replicación y diferenciación celular	Ca, Zn, I

*mg/g proteína retenida en la ganancia de peso



les del mineral próximos o abajo de los requerimientos. Algunos modernos sistemas de cálculo de los requerimientos nutricionales, tales como el NRC (2001) de ganado de leche, han intentado resolver este problema asignando un coeficiente de absorción para grupos de ingredientes (concentrados, forrajes e fuentes de minerales) de la dieta y comparando la cantidad total de mineral disponible de la dieta con los requerimientos netos del animal.

Como puede ser observado en la Tabla 8 3 los valores de los coeficientes de absorción son muy similares entre los sistemas de cálculo de los requerimientos. En la práctica, estos coeficientes son considerados conservativos y actúan como factores de seguridad para corregir probables errores en las estimativas de los requerimientos. Para los sistemas analizados se puede ver que cuando los requerimientos son mayores los coeficientes de absorción son menores, resultando al final en requerimientos brutos similares (Tabla 9). Algunos trabajos (Ternouth et al., 1996) han mostrado que para bovinos de carne en pastoreo y consumiendo entre 10 y 60 mg P/kg de peso vivo, el coeficiente de absorción de este mineral fue de 0,77, pero los autores sugieren la utilización de 0,75 por ser un coeficiente más conservativo.

Los requerimientos presentados en la Tabla 9 son de-

finidos como las cantidades mínimas de los minerales, necesarias para optimizar la producción (determinada por el nivel de energía de la dieta). En la práctica estos requerimientos pueden ser considerados máximos debido a que tanto en la estimación de los requerimientos líquidos, como en los valores utilizados en los coeficientes de absorción están incorporados factores de seguridad

Un punto polémico del método factorial es el hecho de producir estimativas de los requerimientos que no consideran un aspecto tan importante para rumiantes en pastoreo como los requerimientos de los microorganismos rúmiales (P, S, Co),

La adecuada suplementación mineral para optimizar el ambiente ruminal es un asunto poco estudiado a pesar de la importancia que tiene para animales en pastoreo. En parte esto es una consecuencia del concepto que llenando los requerimientos nutricionales del animal automáticamente los requerimientos de los microorganismos rúmiales estarán cubiertos.

El papel de los minerales dentro del rumen puede ser dividido en funciones relacionadas con alteraciones del ambiente ruminal (presión osmótica, capacidad tamponante y tasa de dilución), con la sobrevivencia y crecimiento de los microorganismos rúmiales (papel estructural y bioquímico) y con el metabolismo ruminal (digestibilidad, producción de

Tabla 8. Coeficientes de absorción utilizados para algunos minerales

SISTEMA	MINERALES			
	Ca	P	Cu	Zn
GRACE (1983)	0,68	0,58	0,05	0,30
SCARM (1990)	0,60	0,70	0,06	0,40
NRC (1996)	0,50	0,68		

Tabla 9. Requerimientos de minerales para ganado de carne.

MACROMINERALES g/kg MS	NRC (1996)	SCARM (1990)	GRACE (1983)
Ca	1,7 – 5,3	1,9 – 4,0	4,4
P	1,8 – 3,6	1,8 – 3,2	3,2
Mg	1,0	1,9	1,9
K	6,0	5,0	5,8
Na	0,6 – 0,8	0,8 – 1,2	1,2
S	1,5	1,5	1,8
MICROMINERALES mg/kg MS			
Co	0,10	0,11	0,09
Cu	10	7 – 10	7 – 10
I	0,50	0,50	0,50
Fé	50	40	40
Mn	20	15 – 25	25
Se	0,10	0,05	0,03
Zn	30	20 – 30	25

ácidos grasos volátiles, etc.) (Ospina et al., 1999).

Actualmente es considerado que de la misma forma como se hace con el nitrógeno, para optimizar la digestión de los carbohidratos contenidos en los forrajes y la síntesis de proteína microbiana, la oferta de minerales al rumen tiene que considerar la energía disponible para fermentación. Considerando una producción de proteína microbiana de 30 g N/kg MO fermentada en el rumen (MOFR) o 19,5 g N/kg MO digerida en el tracto digestivo (MOD) (65% da MOD é digerida en el rumen) y asumiendo una relación N/P de 7 los requerimientos de fósforo para el crecimiento microbiano son 4,3 g P/kg MOFR o 2,8 g P/kg MOD. A pesar de la elevada recirculación de fósforo a través de la saliva los microorganismos rumiales tienen que tener como mínimo 7,7 g P/kg MOFR o 5 g P/kg MOD para optimizar la degradación de la pared celular y la síntesis de proteína microbiana (Komisarczuk-Bony y Durand, 1991).

El mismo cálculo puede ser hecho para el azufre utilizando una relación N/S de 15 para obtener un requerimiento de 2 g S/kg MOFR o 1,3 g S/kg MOD. La contribución endógena es muy pequeña (0,2-0,4 g S/kg MOD) y existen pérdidas considerables por la eructación de gases (H₂S) y durante la síntesis de proteína. Considerando estas pérdidas los requerimientos de S disponible para los microorganismos deben ser 2,8 g S/kg MOFR o 1,8 g S/kg MOD y en la práctica esto es posible con dietas que tengan entre 2,5 e 3,1 g S/kg MOD (Komisarczuk-Bony y Durand, 1991).

Para el Mg, Durand y Komisarczuk (1988) estimaron los requerimientos de Mg en 2,3 a 3,8 g Mg/kg MOFR o 1,5 a 2,5 g Mg/kg MOD. La disponibilidad de Mg es afectada por la solubilidad ruminal que depende de varios factores: pH rumen, concentración de NH₃, concentración de PO₄ y presencia de ácidos orgánicos que prenden el Mg evitando su utilización por los microorganismos.

Con relación a los micro minerales el método de cálculo de los requerimientos anteriormente detallado no puede ser utilizado debido a la grande variabilidad del contenido de minerales en los microorganismos por lo que los valores encontrados en la literatura están relacionados con la concentración en el líquido ruminal (Tabla 10).

FORMULACIÓN Y UTILIZACIÓN DE SUPLEMENTOS MINERALES PARA BOVINOS DE CARNE EN PASTOREO

La correcta suplementación mineral de bovinos en pastoreo no es una tarea fácil debido a que el diagnóstico de la

deficiencia de uno o más minerales, el impacto real que estas deficiencias nutricionales tienen sobre la producción animal y la respuesta esperada frente a la suplementación no son aspectos claramente definidos. Independiente de las dificultades y considerando que en los modernos sistemas de producción en pastoreo la precocidad es una característica fundamental, es imposible no considerar la suplementación mineral como una práctica estructural del manejo alimentar.

Una de las ideas más difundida en la utilización y formulación de suplementos minerales para rumiantes es que existiría una sabiduría nutricional instintiva que haría con que los animales consumiesen la cantidad necesaria de una mezcla mineral determinada puesta a su disposición para llenar sus requerimientos, principalmente de fósforo. Este concepto fue establecido por Theiler et al. (1924) y todavía continúa utilizándose para justificar la formulación y fabricación de mezclas minerales completas, durante todo el año y sin ningún tipo de ajuste. Varios trabajos han demostrado que no es el hambre específica por algún mineral que determina el consumo de una mezcla mineral (Coppock et al., 1976) y si una serie de factores relacionados con la palatabilidad, la fertilidad del suelo, el tipo de forraje, los requerimientos individuales de minerales, la concentración de sodio en el agua de bebida y otros factores relacionados con el manejo de los animales (Villalba et al, 2006)

De los factores mencionados, individualmente, la palatabilidad es considerado el más importante en la determinación del consumo de las mezclas minerales y el cloruro de sodio es el ingrediente utilizado para estimular y controlar tal consumo. Además del efecto palatabilizante, el cloruro de sodio ayuda a llenar los requerimientos de Na, un elemento que no es almacenado en cuerpo de los animales y que presenta bajas concentraciones en la mayoría de las especies forrajeras. Por tanto es importante que en situaciones donde los forrajes o el agua de bebida presenten altas concentraciones de Na (agua salobre), las mezclas sean ajustadas para evitar bajos consumos.

Recientemente Ortolani (1999) mostró con novillos cruzados Nelore x Charoláis (24 meses) en pasturas de *Brachiaria decumbens* (8,2% PC, 77,7% FDN, 0,09% Ca, 0,01% P y 0,17% Na en la MS) el efecto del nivel de NaCl sobre el consumo de sal mineralizada y desempeño de los animales. Como puede ser observado en la Tabla 11 los mejores consumos de sal mineralizada y ganancias de peso fueron obtenidos con mezclas conteniendo entre 40 e 60% de NaCl.

En la fabricación y utilización de mezclas minerales

Tabla 10. Contenido de micro minerales en el líquido ruminal y en la dieta (Adaptado de Durand y Kawashima, 1980; NRC, 1996)

	Fe	Mn	Zn	Co	Cu	Mo
Líquido ruminal (mg/l)	1-10	1-10	0,2-1	0,1-5	0,01-0,25	1-10
Dieta (mg/kg)	120	120	50	0,5-1	5-10	
Dieta (NRC, 1996) (mg/kg)	50	40	30	0,10	10	



cada vez es más evidente la necesidad de utilizar informaciones locales o por lo menos regionales sobre la composición mineral de los forrajes para elaborar mezclas diferenciadas que permitan atender de forma más racional y económica las necesidades minerales de bovinos en pastoreo.

Los especies forrajes son fisiológicamente muy diferentes con relación a sus requerimientos de los nutrientes presentes en el suelo y a la capacidad de extraerlos y almacenarlos en la planta. De forma general los forrajes adaptados para crecer en ambientes tropicales y suelos de menor fertilidad presentan bajas concentraciones de minerales y por lo tanto necesitan suplementos minerales mejor balanceados (calidad y cantidad). Datos de algunos trabajos (Cavalheiro y Trindade, 1992; Senger et al., 1996; Senger et al., 1997; Ospina, 2006) han mostrado que los forrajes presentes en las pasturas nativas de Rio Grande do Sul presentan serias limitaciones con relación a las concentraciones de P, Na, Zn y Cu cuando son comparadas con los requerimientos nutricionales del sistema Australiano (SCARM, 1990) y que se traducen en tasas de natalidad entre 40 y 56% en rebaños pobremente suplementados (Valle et al., 2003).

Por otro lado minerales como Ca, Mg, Fe y Mn están en concentraciones adecuadas para llenar los requerimientos y no necesitan ser incorporados en las formulaciones, a menos que existan lugares con deficiencias específicas. La utilización de mezclas que contienen minerales que ya están presentes en cantidades suficientes en la dieta de los animales, además de encarecer la mezcla pueden aumentar el riesgo de producir interrelaciones negativas con otros nutrientes o minerales.

La variación del valor nutritivo entre géneros, especies y cultivares de las forrajes es pequeñas cuando comparado con las variaciones entre edades fisiológicas. Con la maduración de los forrajes la disponibilidad de componentes potencialmente digestibles disminuye (carbohidratos solubles, proteínas, minerales y otros contenidos celulares) y paralelamente aumenta la proporción de componentes indigestibles (celulosa y hemicelulosa protegidas, lignina, cutícula y sílice). Además de esto ocurren alteraciones morfológicas en las pasturas que ocasionan disminución en la relación hoja / tallo debido al acumulo de material muerto producto de la senescencia de las plantas (Euclides, 1995). Las consecuencias directas de estos eventos son reducciones en la digestibilidad, consumo y desempeño de los animales. (Ta-

bla 12).

Estas fluctuaciones estacionales en valor nutritivo y disponibilidad de minerales es mayor en pasturas naturales en cuya composición botánica participa un número mayor de especies vegetales. En estas condiciones la utilización de informaciones locales o regionales es más importante cuando el objetivo es optimizar la suplementación mineral de bovinos en pastoreo.

En la implementación de un programa de suplementación otro aspecto importante a ser considerado es el consumo diario de materia seca. Generalmente el llenado de los requerimientos de minerales de los animales es hecho asumiendo un consumo de materia seca entre 2 y 3% del peso vivo. Pero en condiciones de pastoreo este consumo es variable y depende de muchos factores (época del año, disponibilidad y calidad de los forrajes, temperatura ambiente, etc.). En la Tabla 13 pueden ser observadas las concentraciones de P (%) en la mezcla mineral necesarias para llenar los requerimientos de novillos pesando 250 kg, ganando peso a una tasa de 500g/día y con un requerimiento de 11 g P/día. Los datos sobre el consumo de materia seca y la concentración de P en los forrajes fueron obtenidos de Euclides (1995). Además fue asumido un consumo de mezcla mineral equivalente a 50 g/animal/día. Claramente puede ser observado que dependiendo de la especie y de la época del año el tipo de mezcla mineral a ser utilizado puede ser muy diferente.

Milles (1999) presentó recientemente los resultados de un programa de suplementación mineral ajustado a las condiciones de pasturas naturales en los llanos orientales de Colombia. Básicamente este autor mejoró la formulación de los suplementos minerales existentes, utilizando información disponible sobre los requerimientos nutricionales del ganado de cría y sobre el contenido de minerales de los pastos. Como puede ser observado en la Tabla 14, el ajuste de la suplementación mineral permitió un aumento de 58% en la tasa de natalidad, 8% en el peso al destete y 92% en los kg de ternero producidos anualmente por vaca.

Para concluir puede ser afirmado que hoy el grande desafío en la formulación y utilización dos suplementos minerales para ruminantes en pastoreo es saber utilizar la gran cantidad de información disponible para que este proceso sea hecho de forma más racional y económica.

Tabla 11. Influencia del contenido de NaCl en el suplemento mineral sobre el consumo y la ganancia de peso (Ortolani, 1999)

NaCl % mistura	Consumo Sal g/animal/día	Consumo Na g/animal/día	Ganancia peso Kg/animl/día
100	37± 10 bc	14,5	0,412b
80	41± 6 b	12,9	0,427bc
60	43± 8 b	10,1	0,439a
40	56±7a	7,4	0,475a
20	27±13c	2,1	0,396b

a,b,c medias en la misma columna con letras diferentes son significativamente diferentes (P<0,05)

Tabla 12. Medias de los consumos de materia seca (CMS, % PV), de los tiempos de pastoreo (TP, min/día) y de las ganancias de peso (GPD, g/animal/día) de novillos pastando cinco gramíneas durante el invierno y el verano (Euclides, 1995).

	EPOCA DEL AÑO					
	INVIERNO			VERANO		
GRAMINEAS	CMS	TP	GPD	CMS	TP	GPD
Colonião	2,16	610	0,089	2,88	520	0,701
Tobiatã	1,92	580	0,052	2,77	490	0,617
Tanzânia	2,10	590	0,231	2,83	525	0,732
B. decumbens	1,98	595	0,262	2,65	565	0,547
B. brizantha	2,01	605	0,167	2,76	465	0,625

Tabla 13. Contenido de fósforo en el suplemento mineral necesario para llenar los requerimientos nutricionales de novillos consumiendo *Panicum* o *Brachiaria* en dos épocas del año.

	EPOCA DEL AÑO							
	INVIERNO				VERANO			
Especie	CMS % PV	P g/kgMS	P g/día	% P mistura	CMS % PV	P g/kgMS	P g/día	% P mistura
<i>Panicum</i>	2,1	0,92	4,8	12,4	2,8	1,22	8,5	5,0
<i>Brachiaria</i>	1,9	1,00	4,8	12,4	2,7	1,17	7,9	6,2

Tabla 14. Impacto de la mejoría de la nutrición mineral sobre la producción de ganado de cría (Milles, 1999).

SUPLEMENTO MINERAL	TASA NATALIDAD (%)	PESO AL DESTETE (kg)	TERNERO/VACA/AÑO kg
NaCl	31,5	131	41,26
Mixtura antigua	61,0	167	90,6
Mixtura nueva	96,6	180	173,9

UTILIZACIÓN DE QUELATOS O COMPLEJOS ORGÁNICOS DE MINERALES

Los minerales quelados y complejados son el resultado de procesos industriales que unen uno o más metales a una o más moléculas orgánicas (aminoácidos, proteínas parcialmente hidrolizadas o polisacáridos). La justificativa para su utilización es que este tipo de minerales tienen mayor solubilidad, estabilidad y biodisponibilidad con relación a fuentes inorgánicas de minerales, principalmente de micro minerales.

Según Ammerman y Henry (1999) la Asociación Americana de Funcionarios del Control de Raciones (AFFCO) define los siguientes complejos orgánicos de minerales: quelato metal-aminoácido, complejo metal-aminoácido, complejo metal-aminoácido específico, proteinato de metal y complejo metal-polisacárido. Todos estos compuestos están caracterizados químicamente pero todavía faltan técnicas simples y fáciles de usar para verificar la especificación y el grado de unión de los componentes orgánicos.

La quelación puede ser definida como un proceso es-

pecial de complejación entre un ion metálico y un agente quelante, donde este último debe contener por lo menos dos grupos funcionales (oxígeno, nitrógeno, fósforo y azufre) que sean capaces de donar un par de electrones para combinarse covalentemente con un metal. Además debe formar una estructura de anillo heterocíclico con el metal (Kratzer & Vohra, 1986, citados por Spears, 1996). Varias moléculas orgánicas pueden ser utilizadas como agentes quelante: aminoácidos, proteínas y polisacáridos. La complejación es un fenómeno de naturaleza bioquímica que está presente en prácticamente todos los seres vivos. En las plantas, por ejemplo, los fitatos son complejos formados entre el ácido fitico, algunos aminoácidos, fósforo, cobre, zinc y otros iones bivalentes. Una de las justificativas para utilizar minerales complejados o quelatados es que, como ocurre en la naturaleza, ellos son absorbidos por vías metabólicas diferenciadas (como aminoácido, dipéptido o carbohidratos) y una vez en el sistema circulatorio son absorbidos con mayor facilidad debido a la facilidad con que se unen a las proteínas de transporte. Además de esto alcanzan el órgano blanco debido a la identificación por receptores específicos que existen el tracto digestivo y en la corriente sanguínea (Malleto, 1997). Este proceso de absorción y transporte diferenciado es ventajoso cuando las moléculas son absorbidas ya formadas,



evitando ciclos fútiles y gastos energéticos desnecesarios. En el organismo animal existen sustancias tales como la hemoglobina, los glicosaminoglucanos, las glucoproteínas y las metaloenzimas que funcionan en conjunto, incluyendo metales, aminoácidos, péptidos y carbohidratos. Sin embargo todavía no fue demostrado cual es el mecanismo responsable por la absorción, identificación y utilización de los minerales complejados suministrados a los animales.

Los resultados con la utilización de los complejos orgánicos de minerales han sido contradictorios debido, en parte, a que un gran número de productos comercializados como minerales orgánicos son simples minerales en la forma iónica. Brown & Zeringue (1994) evaluaron 15 productos comerciales de minerales quelatados y complejados con relación a la solubilidad de los metales a concentraciones de 0, 125, 0,25, 0,5, 2,5 e 12,5 mg/ml en medios tamponados con pH de 5 y 2. Además evaluaron la relación física entre los metales solubles y los aminoácidos o material proteico presentes en el filtrado, mediante la técnica de cromatografía en gel. Estos autores encontraron que prácticamente todos los productos comerciales presentaron alta solubilidad y que los minerales solubilizados aparentemente no estaban quelatados. Actualmente testes preliminares y rápidos tales como verificar la relación metal/proteína en el producto comercial y en la parte soluble e insoluble en agua, están siendo utilizados (Leach & Paton 1997).

Los complejos orgánicos de minerales más utilizados son: zinc-lisina, manganeso-metionina, hierro-metionina, cobre-lisina y zinc-metionina, esta última la más estudiada de todas. Algunos trabajos han mostrado que a pesar de la porción metionina del complejo ser poco degradada en el rumen (Heinrichs & Conrad (1983) la concentración de Zinc en el rumen de novillos recibiendo este complejo fue mayor que en el rumen de novillos recibiendo óxido o sulfato de Zn (Ward et al., 1992) y sugieren que el complejo Zn-metionina es poco afectado por los microorganismos del rumen, evi-

tando la formación complejos insolubles con partículas del alimento (Spears, 1996).

Algunos trabajos han mostrado que la utilización de Zn-metionina aumenta significativamente la biodisponibilidad y retención aparente de Zn, como consecuencia de la disminución en la excreción fecal y urinaria, así como causa diferencias en la dinámica del Zn en el plasma sanguíneo (Spears, 1989) sugiriendo que las dos fuentes de Zn son metabolizadas de forma diferente (Tabla 15).

Algunos autores han sugerido que mezclas de minerales (Zn, Mn, Cu o Co) en forma complejada con aminoácidos puede estimular el consumo de alimento y el crecimiento durante el período inicial de estrés de novillos de engorde (Ward et al., 1992) o aumentar el peso de terneros desmamados (Spears & Keagley, 1991)

Poore et al. (1995) utilizaron 84 terneros durante 126 días para evaluar el efecto de incluir Zn-metionina en la dieta y a pesar de la ganancia de peso no haber sido afectada por el uso de la fuente orgánica de Zn, el balance económico favoreció su utilización (Tabla 16).

En condiciones de pastoreo es común encontrar situaciones donde el exceso de Mo y la presencia de S crean una deficiencia inducida de Cu, por la formación de un compuesto insoluble denominado tiomolibdato de Cu. Con el objetivo de evaluar la formación de este complejo insoluble, Ward et al. (1996) suplementaron novillas con varias fuentes de Cu (carbonato, proteinato e sulfato) y verificaron su biodisponibilidad (niveles plasmáticos y hepáticos de Cu) en dietas con niveles de Mo altos (suplementación de 5 ppm). Los autores mostraron que de forma diferente a lo que hacen las fuentes inorgánicas de Cu, la utilización de una fuente orgánica no disminuye los niveles plasmáticos y hepáticos (Tabla 17). Los mismos resultados fueron encontrados por Kincaid et al. (1986) trabajando con terneros en crecimiento

Tabla 15. Comparación entre dos fuentes de Zinc con relación a la excreción y retención en el organismo (Spears, 1989)

Parámetros	Óxido de Zinc	Zinc-Metionina
Consumo, mg/día	19,7	18,9
Excreción fecal, mg/día	12,7 ^a	11,9 ^b
Excreción urinaria, mg/día	5,4	3,0
Absorción aparente, %	35,4	36,5
Retención, mg/día	1,6 ^a	4,4 ^b

Tabla 16. Desempeño, consumo de sal mineral y análisis económica de la utilización de zinc-metionina (Zn-met) y un grupo control (Adaptado de Poore, et al.), 1995)

	Control	Zn-Met
Costo del mineral, US\$/kg	0,45	0,55
Consumo de mineral, g/día	77,13	78,68
Costo del mineral, US\$/cabeça	4,41	5,42
Ganancia peso total, kg/cabeça	81,27	87,09
Ganancia média diaria, kg/día	1,42	1,52
Aumento no retorno, US\$	-	5,29

Tabla 17. Niveles plasmáticos y hepáticos de cobre en novillas alimentadas con diversas fuentes de Cobre y suplementadas o no con Molibdeno (Ward et al., 1996)

Tratamientos	Control	CuSO ₄	CuCO ₃	Proteinato A
Plasma, ppm				
Dia 0	0,88	0,93	0,82	0,76
Dia 21	0,40	0,61	0,70	0,80
Hígado, ppm				
Inicial	35,98	66,21	90,67	42,50
Final	22,79	27,18	20,09	44,17

y forrajes ricos en Molibdeno (3,1 ppm) y bajas en Cobre (2,8 ppm).

Otra forma de mineral orgánico disponible es la denominada metal-levadura deshidratada que consiste en un producto seco compuesto de levadura de un género no modificado de *Saccharomyces* y el medio en el cual creció. Los ejemplos más importantes de este tipo de minerales son selenio-levadura y cromo-levadura.

En rumiantes las fuentes orgánicas de Se presentan mayor absorción y biodisponibilidad que las fuentes inorgánicas (Pehrson et al., 1989) y las mejores respuestas a su utilización han sido obtenidas con vacas de leche en términos de consumo y conteo de células somáticas (Gemiqueen et al., 1998).

El cromo y níquel son dos minerales considerados como micro elementos nuevos debido a que su esencialidad ha sido demostrada experimentalmente y a pesar de que deficiencias específicas todavía no han sido observadas en los animales domésticos, estos minerales están siendo incorporados en misturas minerales.

La principal función del Cr es potencializar la acción de la insulina a través de su presencia en un compuesto denominado factor de tolerancia a la glucosa (FGT - Factor Glucose Tolerance). Además de esto estimula la conversión de tiroxina en una forma más activa la triiodotironina, que estimula el metabolismo en general (Burton, 1995). La mayoría de los resultados positivos de la suplementación con Cr han sido encontrados en la presencia de factores estresantes. Yang et al. (1996) encontraron aumentos entre 7 e 13% en la producción de leche de vacas de primer parto en el inicio de lactación cuando comparadas a las no suplementadas. Chang & Mowat (1992) encontraron que la suplementación de 0,4 ppm de cromo-levadura aumento en 30% la ganancia de peso (0,61 vs. 0,79 kg/día) en terneros estresados. A pesar de estos resultados autores, como Lopes y Tomich (2001) alertan sobre el hecho de no existir suficientes trabajos científicos que claramente justifiquen la inclusión de Cr en suplemento minerales para rumiantes y sobre el riesgo de intoxicaciones con este mineral en animales jóvenes que consumen suplementos de alta palatabilidad (creep feeding).

Los carboaminofosfoquelatos o carboquelatos pueden ser definidos como complejos de quelación y transquelación con minerales, mediante un proceso de fosforilación, que no

modifica su estructura molecular de coordinación. La estructura molecular de estos nuevos complejos no fue totalmente identificada y hasta ahora, sus reales potencialidades son desconocidas. Sin embargo, algunos datos prácticos han mostrado que su utilización mejora el desempeño productivo y reproductivo de los rumiantes. La hipótesis para explicar estos resultados es que los carboquelatos son potentes activadores metabólicos tanto para los microorganismos rúmales como para todas las células del organismo, debido a su elevada biodisponibilidad y baja toxicidad. Aparentemente estos carboquelatos presentan una estructura del tipo punta de racimos que evitan la interacción entre componentes de la dieta, aumentando la disponibilidad y niveles plasmáticos en situaciones de dietas con antagonistas.

Ospina et al. (2000) utilizaron niveles de carboquelatos (0, 10, 15 e 20 %) en la mixtura mineral de terneros alimentados con heno de baja calidad (6,26% PC, 79,77% FDN, 47,97% FDA y 7% LDA) y observaron tendencias de aumento no consumo (Tabla 18) y en la digestibilidad (Tabla 19) con niveles de carboquelatos entre 10 e 15%. Los resultados encontrados sugieren que el efecto de los carboquelatos solamente se observa cuando nutrientes tan importantes como la proteína y la energía no sean los primeros limitantes.

Para comprobar esta hipótesis Langwinski et al. (2001) efectuaron un trabajo con terneros Hereford, pesando en media 80 kg, desmamados precozmente y alimentados con heno de coast-cross de baja calidad y dos niveles (1,0 y 1,5% PV) de un suplemento proteico (21% PC). Los autores detectaron que la utilización de 10% de carboquelatos en la mixtura mineral aumento el consumo de heno y de MO digestible (Tabla 20).

En otro trabajo con terneros Hereford alimentados con heno de Coast cross ad libitum, 0,75% del peso vivo como cascara de soja y mixtura mineral con cuatro niveles de carboquelatos (0, 10, 20 e 30%) fue detectado que niveles de incorporación de carboquelatos entre 10 y 20% en la mixtura mineral tendieron a aumentar la digestibilidad de la fibra (FDN) y el consumo de materia orgánica digestible (CMOD) (Tabla 21). Estas respuestas pueden ser explicada por el estímulo de los carboquelatos a la actividad fermentativa en el rumen.

En este último trabajo también se evaluó la absorción aparente de fósforo, nitrógeno, cobre y zinc. Con la utiliza-



Tabla 18. Medias del consumo de MS, sal, PB e EM en los cuatro niveles de carboquelatos (Ospina, et. al.2000).

	% carboquelatos			
Consumo	0	10	15	20
MS (kg/día)	1,92	2,00	2,09	1,82
MS (% PV)	1,69	1,85	1,90	1,74
Sal (g/día)	56,00	53,62	43,86	42,28
PC (g/día)	115,48	122,10	130,90	112,48
EM (Mcal/día)	4,12	4,87	4,51	3,94

Tabla 19. Coeficientes de digestibilidad de la MS, MO, FDN, FDA y de la hemicelulosa (Ospina, et al., 2000).

	% carboquelatos			
Digestibilidad	0	10	15	20
MO (%)	61,40	64,87	62,04	60,22
FDN (%)	62,47	65,94	63,60	62,34
FDA (%)	55,83	58,33	57,65	55,98
Hemicelulosa (%)	72,08	77,16	72,05	71,84

Tabla 20. Medias ajustadas del consumo de materia seca (MS) de heno, de materia orgánica (MO), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y hemicelulosa (Hem) digestibles para dos tipos de sales mineralizados (Langwinski et al., 2001).

Consumo (kg/día)	Sin CQLT	con CQLT
MS de Heno	1,33	1,55
MO digestible **	1,29	1,42
FDN digestible ***	0,70	0,80
FDA digestible ****	0,26	0,31

ción de 10% de carboquelatos en la mistura mineral hubo un aumento en la absorción aparente de N, Cu e Zn (Tabla 22). No fue detectada diferencia en relación a la absorción aparente de P lo que contrasta con las reducciones de aproximadamente 20% en la excreción fecal detectadas cuando se utilizaron carboquelatos en dietas con elevadas proporciones de concentrado (Langwinski y Ospina, 2001).

A pesar de que todavía falta mucho por saber acerca de los complejos orgánicos de minerales (selectividad de los agentes quelantes, tipo, cantidad, respuesta en las diversas especies y categorías de animales), la presión por

sistemas de producción de rumiantes en pastoreo más eficientes y con bajo impacto ambiental deberán estimular los estudios en esta área. Con este tipo de minerales es posible disminuir la concentración de minerales en la dieta pero es necesario que sea precedido de un análisis de la relación costo: beneficio.

LA SUPLEMENTACIÓN PROTÉICA

La principal característica presentada por las praderas naturales e su gran biodiversidad siendo consideradas

Tabla 21. Medias de los coeficientes de digestibilidad de la Fibra Detergente Neutro (CDFDN) y de la materia orgánica (CDMO) y consumo de materia orgánica digestible (CMOD) para cuatro niveles de carboquelatos en la mistura mineral (Langwinski et al., 2001b)

Niveles de CQLT(%)	CDFDN (%) ¹	CDMO (%) ¹	CMOD (g/utm)
0	70,33	65,14	46,99
10	72,47	67,06	48,39
20	71,54	65,73	48,94
30	70,58	65,40	49,19
EPE	0,74	0,65	1,40

EPE. Error estandar de la estimativa; 1. P<0,2.

Tabla 22. Absorción aparente de fósforo, nitrógeno, cobre e zinc

Minerales	CQLT (%)			
	0	10	20	30
N (%) ¹	65,15b	68,89a	67,76a	67,53ab
P (%)	48,50	48,15	48,10	55,60
Cu (%) ¹	-26,39c	6,25a	-9,29b	-8,96b
Zn (%) ¹	3,66b	16,35a	10,83 ab	11,48ab

1. Médias seguidas por letras diferentes en la misma línea son diferentes ($p < 0,05$).

pasturas estivales que concentran su mayor producción y calidad en el verano-otoño (Tabla 23).

Desde el punto de vista nutricional, el invierno es el período más crítico para los sistemas de producción fundamentados en la utilización de pasturas, en virtud de los bajos niveles de proteína cruda (PC) y los altos tenores de fibra, presentados por las pasturas en esta época del año. El bajo nivel de proteína es un factor limitante al crecimiento de los microorganismos ruminales, causando una lenta degradación del forraje ingerido, mayor tiempo de retención del alimento en el rumen y menor consumo de nutrientes por los animales. Tanto la baja disponibilidad de MS como el bajo nivel nutricional de las pasturas hacen con que en la mayoría de las propiedades sean observados bajos índices zootécnicos con pérdidas de peso que pueden alcanzar hasta 30% de la ganancia de peso obtenida en el invierno, baja tasa de natalidad, aumento en la edad de sacrificio, peor calidad del producto final, reducción del ingreso al productor e ineficiencia del sistema de producción.

Una de las alternativas existentes para solucionar el problema anteriormente definido es utilizar la suplementación estratégica durante el verano. Las respuestas positivas encontradas con la utilización de suplementos proteicos durante el verano ocurren porque en esta época la calidad de los pastos no permite que exista una alta disponibilidad ruminal de nutrientes tan importantes, como nitrógeno y fósforo, para el crecimiento y trabajo de la microflora ruminal que digiere la fibra de los forrajes y que tiene como resultado disminución del consumo y la digestibilidad. Así, con la utilización de suplementos proteicos es posible estimular la fermentación ruminal, aumentando la oferta de energía y

proteína para el animal, a través del mayor consumo de materia orgánica digestible y mayor síntesis de biomasa microbiana que en conjunto permiten aumentar la oferta de aminoácidos al duodeno.

Las mezclas minerales múltiples (MMM) o sales proteínicas son suplementos proteicos compuestos por una fuente de nitrógeno no proteico (urea, amiréa), una fuente de proteína verdadera (torta de soja, afrechillo de arroz, afrechillo de trigo, expeller de girasol, etc.), una fuente de carbohidratos solubles (maíz, sorgo, etc.), un regulador de consumo (NaCl: 15-30%) y una mezcla mineral. Este tipo de suplemento permite consumos entre 0,1 e 0,2% del peso vivo y ganancias de peso entre 200 y 300 gramos / animal / día.

El suceso de la suplementación proteica de bovinos de carne en pastoreo depende de la disponibilidad de pasto y de la relación de nutrientes existente en los suplementos. Normalmente es observado que el mejor desempeño de los animales suplementados con MMM ocurre en pasturas excluidas del pastoreo, que presentan disponibilidades de materia seca entre 2000 e 2800 kg/MS/ha. La exclusión consiste en cerrar los potreros al pastoreo durante períodos que pueden variar entre 30 y 90 días al fin del invierno de modo a permitir que el acumulo de pasto en su fase final de crecimiento permita su utilización durante el verano. Independiente de la duración del período, la exclusión ocasiona una caída gradual en la calidad del pasto disponible cuya intensidad depende del acumulo de forraje y de las condiciones climáticas. La duración del período de exclusión también depende de la categoría animal que utilizará la pastura. Para animales con mayores requerimientos nutricionales (terneros, novillas) es sugerido que los períodos de exclusión no pasen de 60 días y para vacas adultas o novillos es posible

Tabla 23. Producción y valor nutritivo de pasturas nativas del RS - Brasil

Parámetros	Total	Estación del año		
		Primavera	Verano-Otoño	Invierno
Crecimiento (kg MS/ha/día)	10,7	13,1	13,9	5,0
Producción (kg MS/ha)	3529	1064	1726	739
%	100	30	49	21
PB (%)	8,7	10,3	9,8	6,0
DIVMO (%)	48,6	51,4	49,5	45,0



utilizar períodos de exclusión de hasta 90 días.

En la Tabla 24 es posible observar que la calidad de una pastura nativa excluida durante 60 días tuvo pequeñas variaciones, pero con períodos de exclusión entre 90 y 120 días el forraje tuvo una acentuada disminución en la calidad.

Uno de los factores más importantes para optimizar la utilización de las MMM es la relación entre el consumo de proteína cruda degradable en el rumen y el consumo de materia orgánica digestible en la dieta consumida por los animales. El nivel de nitrógeno degradable en el rumen presente en la dieta debe ser equivalente a 8 a 11% del consumo total de materia orgánica digestible (energía) para dietas a base de forrajes de baja calidad y entre 12 y 13% para dietas de mejor calidad (confinamiento, forrajes templadas). En la Tabla 25 es posible observar que la utilización de MMM mejoró la relación entre el consumo de proteína degradable en el rumen y el consumo de materia orgánica digestible (CPDR/CMOD) permitiendo un aumento de 29% en el consumo de materia orgánica digestible (energía) en novillos (peso de 188 kg) alimentados con heno de *Cynodon dactylon* de baja calidad (7,6% PB; 78,4% FDN; 42,5% FDA).

Entonces, se puede concluir que la optimización del uso de MMM formuladas con fuentes de N de rápida disponibilidad ruminal, depende de la disponibilidad de energía (MO degradable en el rumen) para el trabajo de síntesis de la microflora ruminal y, por consiguiente es temerario querer formular suplementos proteicos con relaciones de CPDR/CMOD cercanas a 13% sin considerar el tipo y la calidad de las pasturas. Este esquema posibilita una mayor utilización de urea en los suplementos y un mayor tenor de proteína en los mismos, pero en estas condiciones el exceso de amonio ruminal tendrá que ser metabolizado en el hígado y excretado

en la forma de urea por los riñones, con el consiguiente gasto de energía la cual podría estar siendo utilizada para llenar los requerimientos de mantenimiento y ganancia de peso de los animales.

Trabajos realizados en el Laboratorio de Nutrición de Rumiantes (LANUR) de la UFRGS - Brasil (Mallmann, Ospina et al., 2006) con el objetivo de evaluar el efecto del nivel de inclusión de nitrógeno no proteico en suplementos ofrecidos a toritos Hereford (peso vivo de 220 kg) alimentados con heno de baja calidad (4,2% PC, 48,8% FDA y 7,9% LDA) mostraron que el consumo de materia orgánica digestible fue maximizado cuando el nivel de inclusión de N degradable en el rumen permitió una relación CPDR/CMOD equivalente a 8,1% (Figura 2). Estos trabajos confirman la hipótesis que la eficiente utilización de la suplementación proteica de forrajes de baja calidad necesita considerar la optimización de las relaciones nutricionales que favorecen el desarrollo, crecimiento y trabajo de los microorganismos ruminales. La eficiencia de síntesis de proteína microbiana, más que trabajar con cantidades de nutrientes, depende de la adecuada relación entre ellos (nitrógeno, energía y fósforo).

Por otro lado no podemos olvidar que la optimización de la utilización de forrajes de baja calidad a través de la suplementación proteica con fuentes de N degradable (NNP o verdadero) debe considerar que las bacterias celulolíticas precisan de factores de crecimiento (isoácidos) generados durante la desaminación ruminal de la proteína verdadera presente en los alimentos consumidos por el animal. Algunos trabajos han demostrado que los suplementos proteicos precisan tener por lo menos 25% del nitrógeno total en la forma de proteína verdadera para optimizar la digestión y el consumo de forrajes de baja calidad e indirectamente limitar la oferta de urea.

Tabla 24. Calidad de forraje en pasturas nativas excluidas del pastoreo durante varios periodos (Ayala et al., 1993)

	Nº días de exclusión			
	30	60	90	120
DIVMO (%)	47,4	47,9	45,9	40,2
PC (%)	10,7	10,3	7,6	7,4
FDA (%)	37,2	39,0	42,5	44,3

Tabla 25. Efecto del tipo de suplemento sobre el consumo y la digestibilidad de novillos alimentados con heno de baja calidad (Ospina et al., 2002).

Suplementos	Consumo			Digestibilidad	
	Heno (kg/día)	Suplemento (g/día)	MOD (g/UTM/día)	MO (%)	CPDR/CMOD (%)
Sal Mineral	3,64	35,66	37,25	54,51	7,8
MMM	4,27	256,16	48,03	58,64	11,6

Además de las relaciones nutricionales anteriormente citadas las Misturas Minerales Múltiplas modernas están incorporando en sus formulaciones conceptos de nutrición de precisión y componentes tecnológicos (urea protegida, gordura protegida, levaduras, ionóforos, etc.) que además de permitir optimizar el ambiente ruminal para digestión de la fibra contenida en los forrajes y mejorar el desempeño productivo y reproductivo de los animales, garanticen mayor seguridad en su utilización.

En la Tabla 26 son presentados resultados de trabajos de investigación realizados en el LANUR - UFRGS sobre la utilización de MMM en la suplementación de bovinos en pastoreo y donde la formulación de los suplementos utilizó los conceptos anteriormente abordados.

La utilización de MMM adecuadamente formuladas para suplementar ruminantes en pastoreo es una herramienta de manejo alimentar que permite driblar los problemas ocasionados por la estacionalidad en la producción y calidad de las pasturas, garantizando buenos desempeños productivos y reproductivos y una buena relación costo: beneficio. Ciertamente la suplementación de animales en pasturas de baja calidad utilizando suplementos milagrosos que conjugan elevadas concentraciones de nitrógeno con bajo consumo precisa ser cuidadosamente evaluadas antes de ser implementada.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

AFRC, Agricultural and Food Research Council. Technical Committee on Responses to Nutrients: a Reappraisal of the calcium and phosphorus requirements of sheep and cattle. Nutrition Abstract and Reviews. Series B:

Livestock Feed and Feeding. Vol. 61. N°9. p. 573-612. 1991.

Ammerman, C.B.; Henry, P.R. Biodisponibilidade de fontes suplementares de minerais para ruminantes em pastejo. In: Barcellos, J.O.J.; Ospina, H.; Prates, E.R. (Eds). Suplementação mineral de bovinos de corte. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 1999. p. 61-80.

Barcellos, J.O.J. O papel do fósforo na nutrição de bovinos de corte. In: Diaz Gonzalez, Felix H., Ospina, H., Barcellos, J.O.J. (Eds). Nutrição Mineral em Ruminantes. 2. Ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 1998. p. 23-72.

Barcellos, J.O.J.; Ospina, H.; Prates, E.R. Suplementação mineral de ruminantes nos campos nativos do RS: uma abordagem aplicada a pecuária de corte. In: BARCELLOS, J.O.J.; OSPINA, H.; PRATES, E.R.(Eds.). Suplementação Mineral de Bovinos de Corte, Ed. UFRGS, Porto Alegre, RS- Brasil, p. 2000.

Brown, T.F.; Zeringue, L.K. Laboratory evaluations of solubility and structural integrity of complexed and chelated trace mineral supplements. J Dairy Sci 77: 181-189, 1994.

Chang, X.; Mowat, D.N. Supplemental chromium for stressed and growing feeder calves, J. Anim. Sci., 70:559, 1992.

Coppock, C.E.; Everett, R.W.; Belyea, R.L. Effect of low calcium or low phosphorus diets on free choice consumption of dicalcium phosphate by lactating dairy cows. J. Dairy Sci. 59: 571. 1976

Durand, M.; Kawashima, R. Influence of minerals in rumen microbial digestion. In: Ruckebusch, Y; Thivend, P. (Eds.) Digestive Physiology and Metabolism in Ruminants. MTP Press, Lancaster, UK. pp. 375-408.1980.

Euclides, V.P.B. Valor alimenticio de espécies forrageiras do gênero Panicum. In: Peixoto, A.M.; Moura, J.C.; Faria, V.P. (Eds). Anais do 12° Simpósio sobre Manejo de Pastagens. FEALQ: Piracicaba. p. 245-273. 1995.

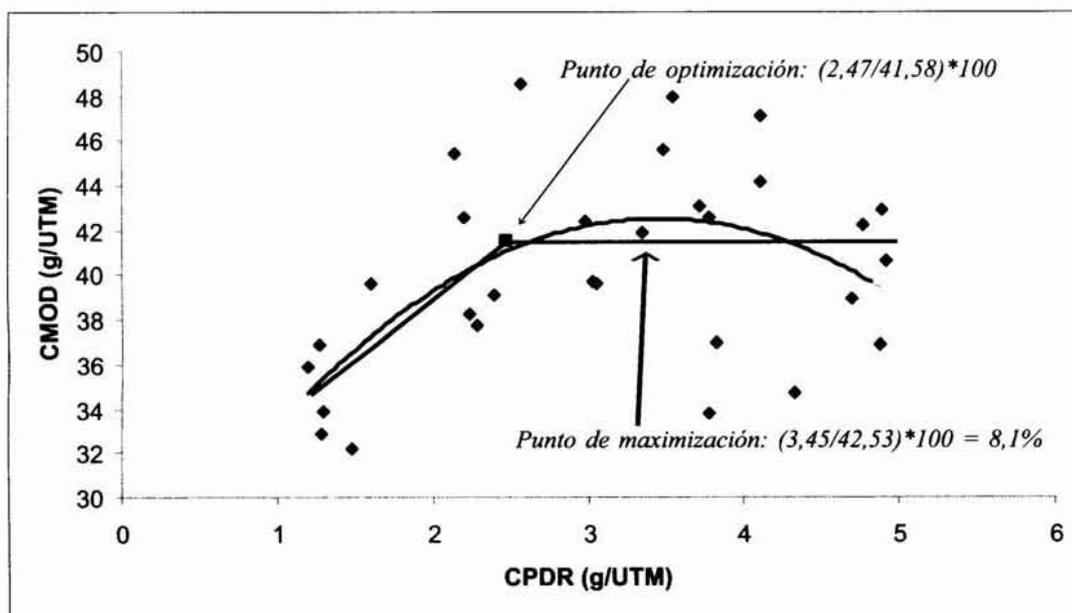


Figura 2. Relación entre el consumo total de materia orgánica digestible y el consumo de proteína degradable en el rumen con heno de baja calidad (Mallmann, Ospina et al. 2006)



Tabla 26. Resultados de la utilización de misturas minerales múltiples (MMM) en ganado de carne en pastoreo.

Categoría	DMST kg/ha	Período días	Consumo Suplemento (g)	PVI kg	PVF kg	GMP g/día	Referencia
Novillas	3.100	202	169	259	276	84,2	Lima y
			148	261	276	74,2	Ospina
			116	262	282	99,0	(2002)
Novillos	2.645	90	391	263	276	159	Knorr,
			412	254	265	124	Ospina et
			418	258	284	287	al. (2005)
Vacas primíparas	2.174	60	581	378		218	Riccó y
			612	373		194	Ospina (2006)

Field, A.C.; Suttle, N.F.; Nisbet, D.I. Effect of diets low in calcium and phosphorus on the development of growing lamb. *J. Agric. Sci., Camb.*, 85: 435-442. 1975

Formigone, S. et al., Valutazione degli effetti del sugarphós sulle fermentazioni ruminali: osservazioni in vitro. Università di Bologna, Itália. 2000.

Garcia, O. S. Minerais orgânicos - um avanço na nutrição animal, In: Diaz Gonzalez, F.H., Ospina, H., Barcellos, J.O.J. (Eds). *Nutrição mineral em ruminantes*. 2. Ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 1998. p. 133-148.

Grace, N.D. The mineral requirements of grazing ruminants. *New Zealand Society of Animal Production. Occasional Publication n°9*. 150p. 1983.

Heinrichs, A.J.; Conrad, H.R. Rumen solubility and breakdown of metal proteinate compounds. *J Dairy Sci*, 66 (Supl. 1): 147. 1983.

Kegley, E.B.; Galloway, D.L.; Fakler, T.M. Effect of dietary chromium-L-methionine on glucose metabolism of beef steers. *J. Anim. Sci*. 78: 3177-3183, 2000.

Komisarczuk-Bony, S.; Durand, M. Effects of minerals on microbial metabolism. In: Jouany, J.P. (Ed.) *Rumen microbial metabolism and ruminant digestion*. INRA, Paris. p. 179-197. 1991.

Komisarczuk-Bony, S.; Merry, R.J.; McAllan, B. Effect of different levels of phosphorus on rumen microbial fermentation and synthesis determined using a continuous culture technique. *British Journal of Nutrition* 57: 279-290. 1987.

Langwinski, D.; Ospina, H. Efeito da inclusão de quatro níveis de carboquelatos no sal mineralizado sobre o consumo, a digestibilidade y a absorção aparente de alguns minerais em bezerros. *Dissertação de Mestrado, UFRGS. Porto Alegre, Brasil*. 2001.

Langwinski, D., Ospina, H., Silveira, A.L.F., Silva,

N.L.Q., Cavalca, M., Knorr, M. O Efeito de dois níveis de suplementação e da inclusão de carboquelatos em misturas minerais sobre o consumo de nutrientes digestíveis de bezerros desmamados precocemente. Trabalho aceito para apresentação e publicação na REUNION DA ASSOCIACION LATINOAMERICANA DE PRODUCCION ANIMAL, 17. Cuba. Anais... 2001a

Langwinski, D., Ospina, H., Silveira, A.L.F., Cavalca, M., Knorr, M. Quatro níveis de inclusão de carboquelatos em uma mistura mineral e seus reflexos sobre o consumo de matéria orgânica digestível em bezerros desmamados precocemente. REUNION DA ASSOCIACION LATINOAMERICANA DE PRODUCCION ANIMAL, 17. Cuba. Anais... 2001b.

Langwinski, D., Ospina, H., Knorr, M. O Efeito de dois níveis de suplementação e da inclusão de carboquelatos em misturas minerais sobre a excreção fecal de fósforo, nitrogênio, cobre e zinco. REUNION DA ASSOCIACION LATINOAMERICANA DE PRODUCCION ANIMAL, 17. Cuba. Anais... 2001c.

Leach, G.A.; Paton, R.S. *Chelated Mineral Analysis Techniques Evaluated*. Feedstuffs, 1997.

Lee, J.; Masters, D.G.; White, C.L.; Grace, N.D.; Judson, G.J. Current issues in trace element nutrition of grazing livestock in Australia and New Zealand. *Aust. J. Agric. Res.* 50: 1341-1364, 1999.

Little, D.A. Observations on the phosphorus requirements of cattle for growth. *Research in Veterinary Science*. 28: 258-260. 1980.

Lopes, H.O.S.; Leite, G.G.; Pereira, E.A.; Pereira, G.; Soares, W.V. Suplementação de bovinos com misturas múltiplas em pastagem de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu no período da seca. *Pasturas Tropicales* 21: 54-58.

Lopes, H.O.S.; Tornich, T.R. Avanços recentes na



nutrição mineral de bovinos. In: MATTOS, W.R.S. (Ed). A produção animal na visão dos brasileiros. Piracicaba: FEALQ, p. 205-234. 2001.

Macedo, M.C.M., Euclides, V.P.B., Oliveira, M.P. Seasonal changes in chemical composition of cultivated tropical in the savannas of Brazil. In: International Grassland Congress, 17. 1993. Palmerston North. Proceedings... Palmerston North: New Zealand Grassland Association. 1993. p. 2000-2002.

Malleto, S. Organic compound of minerals in cattle feeding. In: Pereira, J. C. (Ed.) Simpósio Internacional sobre exigências nutricionais de ruminantes. Viçosa: JARD. p. 177-191. 1995.

Milles, H.W. Benefícios de la suplementación de minerales para Ganado vacuno en los llanos de Colombia, Sur América. Memorias de la Conferencia Internacional sobre Ganaderia en los Trópicos. Universidad de Florida. Gainesville. pp. 51-56. 1999.

Minson, D.J. Forage in ruminant nutrition. Academic Press Inc. 483p. 1990.

Mowat, D.N. 1996. Feed organic chromium in receiving and preslaughter diets. Proc. Purina Cattle Conf., Verona Agr. Fair. Verona, Italy. March.

NRC, National Research Council. Nutrient requirements of beef cattle. 7th Ed. National Academy Press, Washington, D.C. 1996.

NRC, National Research Council. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th Ed. National Academy Press, Washington, D.C. , 2001

Ortolani, E.L. The mineral consumption and weight gain of grazing steers feed mineral supplements with different sodium contents and physical forms. *Ciência Rural*. Vol 29 n°4: 711-716, 1999.

Ospina, H.; Barcellos, J.O.J.; Freitas, S.P.G. O molibdênio e sua relação com a deficiência de cobre. In: Gonzales, F.D.; Ospina, H.; Barcellos, J.O.J. (Eds.) *Nutrição mineral em ruminantes*. UFRGS, Porto Alegre. Pp. 149-167. 1998.

Ospina, H.; Prates, E.R.; Barcellos, J.O.J. A Suplementação mineral e o desafio de otimizar o ambiente ruminal para digestão de fibra. In: Barcellos, J.O.J., Ospina, H., Prates, E.R. (Eds). *Suplementação mineral de bovinos de corte*. Porto Alegre: UFRGS, p. 37-60. 1999.

Ospina, H.; Freitas, S.P.G.; Mühlbach, P.R.F.; Prates, E.R.; Barcellos, J.O.J.; Pavoni, T.; Chaves, L. Efeito de quatro níveis de carboquelatos sobre o consumo e digestibilidade de feno de baixa qualidade em bezerras. *Anais da XXXVII Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, Viçosa, 2000*.

Ospina, H. Resultado sobre a avaliação da utilização de carboaminofosfoquelatos em ensaios de digestibilidade. *Comunicação Pessoal*. 2001.

Poore, M.H., Allison, B.C., McCraw, R.L., Spears, J.W. Zinc methionine in a mineral supplement for summer stocker calves, In: 1995 Annual Report, Department of Animal Science, North Carolina State University. 1995.

Rosa, I.V. Suplementación mineral de bovinos sob pastejo. *Anais Simpósio C.B.N.A, Campinas-SP*. p. 213-243. 1994

SCARM, Studing Committee on Agricultural and Resource Management. Ruminants Subcommittee. Feeding Standards for Australia Livestock. Ruminants. CSIRO Australia. 266p. 1990.

Senger, C.C.D. Composição mineral das pastagens naturais em diferentes solos e épocas do ano no Rio Grande do Sul. *Dissertação de Mestrado.UFSM*. Brasil.

Spears, J.W. Organic trace minerals in ruminant nutrition. *Animal Feed Science and Technology*, 58: 151-163, 1996.

Spears, J.W. Reevaluation of the metabolic essentiality of the minerals - Review. *Asian-Aus. J. Anim. Sci.* Vol. 12, n. 6, p. 1002-1008.. 1999

Spears, J.W. Zinc methionine for ruminants: relative bioavailability of zinc in lambs and effects of growth and performance of growing heifers. *J. Anim. Sci.* 67: 835-843, 1989.

Theiler, A.G.; Green, H.H.; Du Toit, D.J. Phosphorus in the livestock industry. *J. Dep. Agr. Union. South Africa*, v. 8, p. 460. 1924.

Tkernouth, J.H.; Bortolussi, G.; Goates, D.B.; Hendricksen, R.E.; McLean, R.W. The phosphorus requirements of growing cattle consuming forage diet. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*. 126: 503-510. 1996.

Underwoods, E.J., Suttle, N.F. *The Mineral Nutrition of Livestock*. 3rd Edition. CABI, Wallingford. 614p. 1999.

Veras, A.S.C.; Filho, S.C.V.; Silva, J.F.C.; Paulino, M.F.; Cecon, P.R.; Valadares, R.F.D.; Ferreira, M.A.; Paulino, P.V.R.; Rocha, C.V. Composição corporal e requisitos líquidos e dietéticos de macroelementos minerais de bovinos Nelore não-castrados. *Rev. Bras. Zootec.*, 30(3): 1106-111. 2001. (suplemento 1).

Ward, J.D.; Spears, J.W.; Kegley, E.B. Bioavailability of copper proteinate and copper carbonate relative to copper sulfate in cattle. *J Dairy Sci*, 79: 127-132, 1996.

Ward, J.D.; Spears, J.W.; Kegley, E.B. Effect of trace mineral source on mineral metabolism, performance and immune response in stressed cattle. *J. Anim. Sci*, 70 (Supl. 1): 300, 1992.

Wernken, R.W.; Harmon, R.J.; Trammell, S. Selenium for Dairy cattle: a role for organic selenium. In: *Biotechnology in the Feed Industry - Proceedings of Alltech's 14th. Annual Symposium*. Nottingham: Nottingham University Press, 1998.

YANG, W.Z., MOWAT, D.N., SUBIYATNO, A., LIPTRAP, R. Effects of chromium supplementation on early lactation performance of Holstein cows. *Canadian Journal of Animal Science*. v. 76. N° 2. p. 221-230. 1996.