

REVISIÓN DE LITERATURA

**EFFECTO DE SUPLEMENTOS MINERALES SOBRE EL DESARROLLO CORPORAL
Y REPRODUCTIVO DE HEMBRAS BOVINAS**

Luis Alejandro Rodríguez-Campos¹, Gustavo Ruiz-Sánchez¹

RESUMEN

El presente trabajo recopila información reciente sobre los efectos de la suplementación de minerales vía oral y parenteral en la ganancia de peso, desarrollo corporal y reproductivo de hembras bovinas. Aunque las respuestas encontradas son variables, parece existir una relación favorable entre la suplementación mineral oral y el crecimiento y el desarrollo corporal y sexual de las novillas. Empero, la respuesta está condicionada por el sistema en que las mismas sean desarrolladas (pastoreo, confinamiento), la fuente de minerales empleada y su biodisponibilidad y las posibles deficiencias de otros nutrientes en la dieta. El uso de suplementos inyectables, por su parte, no ha demostrado algún beneficio sobre el crecimiento, más en el ámbito reproductivo se logran ver mejorías en fertilidad, sugiriendo requerimientos diferentes para una óptima reproducción.

Palabras clave: *Bos* sp., Crecimiento, Desarrollo ovárico, Fertilidad Suplementación mineral.

ABSTRACT

Mineral supplementation effects on body development and reproduction in bovine females. The present paper reviews recent information on the effects of oral and injectable mineral supplementation on body weight gain and body and reproductive development of bovine females. Although responses are variable, it seems to exist a favourable relationship between oral supplementation and growth and sexual development of heifers. However, the response is dependent on rearing systems

¹ Universidad de Costa Rica, Escuela de Zootecnia.

Autores para correspondencia: gustavoruiz.sanchez@gmail.com, lalejandrorodriguez@yahoo.es

Recibido: 6 agosto 2014

Aceptado: 15 abril 2015

(grazing, confinement), used mineral source and its bioavailability and the possible deficiencies of other nutrients in the diet. The use of parenteral supplements, on the other hand, has not shown any beneficial effect on growth, but improvement in fertility has been obtained in the reproductive response, suggesting different mineral requirements for an optimal reproduction.

Keywords: *Bos* sp., Growth, Mineral supplements, Ovaric Development, Fertility

INTRODUCCIÓN

La ganadería bovina en Costa Rica es considerada una actividad de importancia socioeconómica, esto por el trabajo que genera y porque provee alimentos básicos a la población (Holmann et al., 2007). Según Pérez (2011), el país es un importante productor cárnico a nivel centroamericano, en donde se destacan los mejores índices productivos y se exporta tanto carne como animales para reproducción, a pesar de no ser el mayor país productor de la región. En el sector lácteo, Costa Rica es autosuficiente, y muestra una tendencia al alza en la producción (Brenes et al., 2013) Por lo tanto, esta área de la producción animal, afronta retos con el fin de aspirar a producciones más competitivas en un mercado globalizado (Holmann et al., 2007).

El aumento de la productividad por animal es importante en este proceso, ya que estos serán capaces de producir más kilos de carne y/o leche a través de su vida productiva, dejando al productor mayores ingresos. En especial, la productividad de las hembras bovinas ha sido asociada con producir más kilos de terneros o leche en su vida útil, mayor resistencia a enfermedades y características de eficiencia reproductiva como menores edades a primer parto y menores intervalos entre partos (Segura et al., 2013).

Menores edades a primer parto e intervalos entre partos permiten reducir costos de producción, mejorar la selección de reemplazos, mayor producción de terneros/leche y una vida productiva más larga (Salazar et al., 2013; Segura et al., 2013). En Costa Rica, se informan valores de edad a primer parto e intervalos entre partos en bovinos para carne de 38,1 y 13,5 meses, respectivamente en hatos de la región Atlántica (Casas y Tewolde, 2001). En hatos lecheros especializados se alcanzan edades a primer parto

de 30,7 (Salazar et al., 2013) e intervalos entre partos de 12,82-14,53 meses (Cedeño, 2003) lo cual representa oportunidades de mejora, ya que los valores deseados rondan los 24 meses para la edad al primer parto y los 365 días para el intervalo entre partos (Cedeño, 2003).

De acuerdo con Palma (2005), en los países tropicales la alimentación de la ganadería se fundamenta a base de pastos, los cuales tienen una buena producción de biomasa pero presentan niveles menores de ciertos nutrientes. Por su parte Depablos et al. (2009a), indican que los forrajes tropicales presentan deficiencias nutricionales, lo que repercute en el desarrollo de bovinos en sistemas de pastoreo y retrasa el inicio de la vida reproductiva de estos animales. Según Rúgeles (2001) estas raciones pobres en nutrientes traen consigo un retardo en el desarrollo de las novillas y un pobre reinicio de la actividad ovárica perjudicando así la productividad del sistema. Esto lo ha confirmado Campabadal (2009) afirmando que, a partir de estudios en 1280 fincas centroamericanas de ganado de carne, el 64% de los problemas reproductivos en ganadería se debían a problemas nutricionales, entre los cuales se destacan los problemas de consumo de energía, proteína y minerales.

Es sabido que la carencia de minerales en el desarrollo de novillas podría generar retrasos en la pubertad (por ende en la edad a primer parto) y crecimiento disminuido (Ahmed et al., 2002), así como aumentos en las pérdidas por transporte, rendimiento de canal y puntaje de marmoleo en bovinos de engorde (Genther y Hansen, 2012). A pesar de ello, estudios realizados por Campabadal (2009) indican que en fincas de ganado de carne, tan solo un 6% de los problemas reproductivos asociados a problemas nutricionales se podían achacar a deficiencias minerales. A pesar de lo anterior, este indicador no debe despreciarse, sino que se debe igualmente considerar las maneras de reducirlo. Por ello, la presente revisión busca colaborar con el conocimiento científico en torno a este tema, estableciendo efecto tiene la suplementación mineral parenteral sobre el crecimiento, el desarrollo corporal y la reproducción de hembras bovinas.

NECESIDAD DE SUPLEMENTACIÓN MINERAL

Brendon y Dugmore (2012) indican la existencia de al menos veintiún minerales esenciales para el ganado bovino, los cuales son requeridos por el organismo para sus funciones normales pero que no se pueden sintetizar en el mismo y deben incluirse en la dieta. Dichos minerales se clasifican en:

Macrominerales: Elementos como el calcio (Ca), fósforo (P), sodio (Na), cloro (Cl), potasio (K), azufre (S) y magnesio (Mg) son considerados macrominerales, pues se encuentran en proporciones importantes en el cuerpo de los bovinos, si bien son menores que el carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno. Por ejemplo, Almeida et al. (2009) informan valores promedio de 1,7-1,8% de Ca, 1,2-1,4% de P, 0,028% de Mg, 0,15% de Na y de 0,14-0,17% de K en el cuerpo vacío (sin vísceras) de novillos Nelore bajo pastoreo.

Microminerales: Se incluyen en esta categoría elementos como cobre (Cu), cobalto (Co), hierro (Fe), yodo (I), zinc (Zn), manganeso (Mn) y selenio (Se). Otros autores incluyen también el níquel (Ni), cromo (Cr) y molibdeno (Mo), para los cuales aún no se han establecido requerimientos (Stewart, 2013). Estos minerales son importantes para la regulación y coordinación de numerosos procesos metabólicos, ayudando a mantener un adecuado funcionamiento del organismo, sin embargo, se requieren en cantidades muy pequeñas y su exceso puede ser dañino (López, 2012).

Se señala que bovinos alimentados con pasto pueden satisfacer sus requerimientos de algunos de estos minerales (Brendon y Dugmore, 2012; Stewart, 2013), empero, debido a la variabilidad de la composición de los forrajes, que depende del suelo, clima, edad y fertilización, entre otros factores, se pueden constatar desbalances minerales que afectan el rendimiento productivo de los animales (Grace y Knowles, 2012). Por otro lado, si el ganado tiene un alto potencial productivo, presenta mayores requerimientos nutricionales, por lo cual el aporte del forraje puede ser insuficiente, dando lugar a problemas como crecimiento disminuido, infertilidad, y otros trastornos metabólicos subclínicos o clínicos (Brendon y Dugmore, 2012).

Ante esta situación, se ha fomentado la práctica de la suplementación mineral, a través de la fertilización y el encalado de las pasturas (forma indirecta) y por medio de suplir directamente al animal compuestos que su cuerpo pueda aprovechar para obtener los minerales que necesita, ya sea vía oral (en el alimento) o inyectada (Godoy, 2006).

SUPLEMENTACIÓN ORAL DE MINERALES ESPECÍFICOS

Aunque en las dietas prácticas para bovinos suelen utilizarse suplementos que permitan cubrir la mayoría de los minerales que el ganado requiere, algunos estudios se enfocan en los efectos de diferentes niveles de un único mineral con el fin de establecer cuál es la cantidad de dicho mineral que genera un mejor rendimiento del animal.

Cromo: En investigaciones realizadas en el estado de Bengala Occidental, India, Biswas et al. (2006) se encontró un efecto lineal positivo de la suplementación de cromo (0,2; 0,4 y 0,8 mg Cr/kg MS) en la digestibilidad de la materia seca, la materia orgánica, la proteína cruda y la energía, así como en las ganancias diarias de peso de novillas Holstein x Cebú en anestro, con edades entre los 24 y 27 meses, sometidas a confinamiento restrictivo y que consumían paja de arroz *ad libitum* y 2,5 kg de alimento balanceado por día. Asimismo, los animales suplementados presentaron de 2 a 4 veces más folículos preovulatorios y celos comparados con los no suplementados, indicando que su desarrollo reproductivo fue más rápido. No se hallaron diferencias entre fuentes de cromo, dado que las dosis de cromo fueron suplidas tanto en la forma de cloruro hexahidratado ($\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) como de levadura de cromo.

Aunque en forma hexavalente (Cr VI) el cromo es tóxico (por exposiciones agudas y crónicas), en forma trivalente (Cr III) es un elemento esencial en los animales (EPA 2013). Se señala su participación en el desarrollo de músculo magro (Spears, 1999), promueve la actividad de los receptores de factores de crecimiento similares a la insulina (IGFs por sus siglas en inglés) con resultados similares a los observados con la somatotropina bovina (Yang et al., 1996), reduce la cantidad de lípidos circulantes (colesterol y ácidos grasos no esterificados, por ejemplo) (Yang et al., 1996; Biswas et al., 2006) y aumenta la resistencia a enfermedades, por medio de una mejora de la inmunidad humoral (Spears, 1999). Se indica que la suplementación con cromo previene la disminución de los niveles séricos de insulina, mejorando la respuesta del

ovario ante la estimulación del eje hipotálamo-hipófisis y por ende, mejorando la ovulación (Subiyatno et al., 1996). Adicionalmente, y considerando las bajas biodisponibilidades que presentan las formas de cromo disponibles en los alimentos de origen vegetal es que se puede explicar las respuestas señaladas por Biswas et al. (2006).

Selenio: Es un elemento cuya deficiencia natural en los suelos alrededor del mundo es más común que su exceso (Kahnal y Knight, 2010). Por ello Liao et al. (2011), en Kentucky, Estados Unidos, contrapusieron la suplementación de selenio (0,48 mg/día) a novillas Angus (en forma de selenito de sodio o de levadura de selenio) contra un grupo no suplementado, que recibían una dieta de maíz quebrado, cascarilla de algodón, cascarilla de soya, harina de soya y un *premix* de minerales sin selenio (0,05 mg/kg Se en la dieta). No hubo mejoras significativas en el consumo de materia seca, ganancia diaria de peso, y la eficiencia de conversión de las novillas que consumieron selenio. Lo anterior, a pesar de que la suplementación provocó mejoras en el perfil de selenio de la sangre entera, los glóbulos rojos y el hígado de las terneras suplementadas. Además, la suplementación favoreció la transcripción de genes ligados al metabolismo de nutrientes, crecimiento y proliferación celular, respuesta inmune y desarrollo anatómico y fisiológico de tejidos.

Otro estudio de suplementación oral de selenio, en novillas con encaste Angus llevado a cabo en Kentucky por Brennan et al. (2011), evaluó dosis de 3 mg/día en forma de selenio inorgánico (Selenito de sodio), selenio orgánico (levadura enriquecida en selenio) o una mezcla 1:1 de ambas. Los autores no hallaron mejorías en las ganancias diarias de peso o la eficiencia de conversión, en comparación con el control (sin selenio suplementario, 0,08 mg/kg de materia seca). Empero, los niveles de Se en sangre entera, glóbulos rojos, plasma e hígado fueron mejorados entre un 35% y un 85% por la suplementación, donde los mejores niveles se obtuvieron al usar el selenio orgánico y la mezcla de selenio orgánico e inorgánico.

El NRC (1996) recomienda un consumo de 0,1 mg Se /kg de MS y señala que pueden detectarse deficiencias clínicas y subclínicas en animales en pastoreo consumiendo menos de 0,05 mg Se/kg de MS, pero que niveles de 0,02-0,03 mg/kg no han mostrado síntomas en sistemas en confinamiento. Esto permite suponer la causa de la falta de

respuesta productiva en los estudios de Liao et al. (2011) y Brennan et al. (2011), ya que los grupos no suplementados tenían una dieta con 0,05 y 0,08 mg/kg de Se, y además se realizaron en estabulación. Sin embargo, debido a las mejoras en los niveles de selenio en sangre y a las respuestas en la transcripción de genes, se puede esperar que las hembras suplementadas tengan una mejor respuesta ante desafíos de campo.

Fósforo: Esser et al. (2009) en Wisconsin, Estados Unidos, evaluaron el efecto de la suplementación oral de fósforo en novillas Holstein y Holstein x Jersey por alrededor de 600 días (entre los 4 y 24 meses). Las novillas tratadas recibieron 0,39% de fósforo en sus dietas y las no tratadas 0,29%. A un grupo de 32 novillas se les amputó la cola para evaluar la densidad y composición ósea de la decimotercera y decimocuarta vértebras coccígeas, respectivamente. Otro grupo de 64 novillas fue sometido a mediciones externas (peso corporal, altura de la cadera, ancho de la cadera, longitud del cuerpo, circunferencia torácica, circunferencia de los metacarpos, ancho, altura y área pélvica) así como a exámenes de osteocalcina y piridinolina séricas (indicadores de formación y resorción ósea, en el orden respectivo). Los autores informan que las novillas suplementadas no se diferenciaron de manera significativa en medidas corporales externas, densidad ósea, ni concentraciones de osteocalcina y piridinolina en sangre, en contraposición, sus huesos presentaron mayores contenidos de fósforo y cobre, pero menores contenidos de sodio al compararlas con las no suplementadas.

También en Wisconsin, un experimento similar fue realizado por López et al. (2004) quienes suplementaron vacas Holstein recién paridas con niveles recomendados de fósforo (0,37% P), o niveles en exceso (0,57% P) para determinar los efectos de esta suplementación extra en la actividad reproductiva de los animales. El reinicio de la actividad ovárica (medido como la primera concentración de progesterona en sangre mayor a 1 ng/ml) no presentó diferencias entre ambos grupos. Tampoco se encontraron diferencias en días a primer celo postparto, comportamiento y duración del celo, ni en parámetros de eficiencia reproductiva como tasa de concepción, porcentaje de pérdidas de preñez, días abiertos o servicios por concepción; usando un protocolo Ovsynch para sincronizarlas.

Ambos estudios apuntan a que los excesos de fósforo no favorecen el crecimiento ni la reproducción de las hembras bovinas. Si se considera que las novillas requieren 0,20-

0,35% de fósforo (en base a la materia seca de la dieta) (NRC, 2001), y considerando que la dieta basal suministrada por Esser et al. (2009) contenía una concentración de 0,29%, se concluye que los niveles de fósforo eran apropiados. De manera similar, el experimento de López et al. (2004) señala que los excesos de fósforo no favorecen la reproducción de las hembras, contrario a lo que popularmente se cree. Diferentes estudios citados por Beede y Davidson (1999) y Suttle (2010) fallaron en encontrar respuestas reproductivas a la suplementación de P con dietas por encima de 0,12% de P en novillas y 0,24% en vacas adultas, a menos de que dichas deficiencias se presentaran en períodos largos (más de dos años) o en conjunción con niveles altos de calcio.

Lo antes expuesto parece ser contradicho por el estudio de Soto y Garmendia (1997), en el estado de Yaracuy, Venezuela, donde evaluaron el efecto de dos fuentes fosfóricas (fosfato dicálcico y roca fosfórica), como suplemento para novillas Brahman que pastoreaban Estrella Africana (*Cynodon nlemfluensis*, 0,25% P) y consumían 25 g de urea y 175 g de melaza. Las novillas suplementadas con fosfato dicálcico fueron en promedio 17 kg más pesadas, presentaron 41% más ovarios ciclando y necesitaron 0,75 servicios por concepción menos que las hembras no suplementadas, mientras que el grupo que recibió roca fosfórica presentó valores intermedios no presentó diferencias con respecto a ninguno de los grupos anteriores. Por otra parte, los niveles de P en sangre no se diferenciaron entre los grupos. La diferencia entre las fuentes de fósforo es explicable debido a que la roca fosfórica presenta un coeficiente de absorción de 0,30, mientras el fosfato dicálcico es de 0,75 (NRC, 2001).

Sin embargo, según lo expresado por los autores (y como se deduce de las concentraciones de P en el pasto) era esperable que el mismo cubriera adecuadamente los requerimientos de las novillas. Pero la discordancia entre los resultados de Venezuela y Wisconsin puede deberse a diversos factores:

- 1) Es difícil esperar consumos de más de un 2% del peso vivo en novillas pastoreando estrella, por lo cual la ingesta de fósforo (23 g/d) puede haber sido sobreestimada.
- 2) Es posible que los niveles de calcio del pasto (no analizados en el estudio) fueran altos, afectando la absorción de P. Empero, esto es difícil, considerando que las

relaciones Ca:P normales en pasto estrella de zonas tropicales como Costa Rica ronda 1,6 (Suttle 2010).

3) Algunos factores podrían estar disminuyendo la absorción del fósforo de los pastos de la zona por parte del rumiante, por ejemplo, debido a deficiencias de sodio.

4) La dinámica del pastoreo aumenta el requerimiento o la sensibilidad a los bajos niveles de fósforo, lo cual es apoyado por Suttle (2010) al recordar que es en pastoreo donde más se encuentran casos de deficiencias de P en el ganado.

Magnesio: Al suplementar con magnesio en una dosis de 15 g/animal/día a vacas Aberdeen Angus preñadas en pastoreo, Cseh et al. (2012), en Argentina, indican que el grupo suplementado tuvo crías más pesadas al destete (165,5 contra 144,7 kg), a pesar de que los pesos al nacimiento no presentaron diferencias entre ambos grupos (27,4 versus 27,2 kg). Esto indica que las vacas produjeron una leche de mayor calidad para alimentar al ternero, lo cual recalca el papel fundamental de la nutrición de las madres para el desarrollo de sus crías.

Cobre: En Ohio, Estados Unidos, Félix et al. (2012) evaluaron la suplementación con cobre a niveles de 100 y 200 mg/kg de materia seca de la dieta, contra un grupo no suplementado, en novillos y novillas encastados Angus, en confinamiento, que recibían una dieta a base de destilados de maíz (60%), heno (10%) y cascarilla de soya (15%). Los animales recibieron implantes hormonales, monensina sódica y tilosina como promotores de crecimiento. Los animales suplementados no presentaron diferencias significativas en su ganancia de peso, consumo de materia seca, peso de canal caliente, puntaje de marmoleo, área de ojo de lomo ni profundidad de la grasa dorsal, pero resultaron más eficientes para convertir el alimento en carne (Eficiencia (%)=100*Ganancia de peso/Consumo de materia seca; 16,7; 17,7 y 17,7%, para los niveles de 0, 100 y 200 mg Cu/kg MS, respectivamente). Además se informa una mayor acumulación de Ca, Cu, S, Mn y Mg en el hígado, implicando una mejoría en la absorción y/o retención de estos minerales.

De et al. (2014) presentan datos obtenidos en Karnal, India, sobre la suplementación oral con cobre y zinc en animales de raza Karan-Fries (resultante del cruce de la raza Tharparkar, *Bos indicus*, con Holstein, *Bos taurus*). El grupo I recibió una dieta a base de forraje de maíz, trébol y avena, la cual aportaba 158,48 mg/día de Cu and 528,78

mg/día de Zn. El grupo II recibió 20 mg/kg MS de Cu adicional y el grupo III 80 mg/kg MS de Zn adicional. La suplementación se dio 45 días antes y 45 días después del parto. No se encontraron diferencias en los días a primer celo detectado (Grupo I: 73,38, Grupo II: 73,25 y Grupo III: 69,38; $p>0,05$) pero sí en los días abiertos (Grupo I: 120,33, Grupo II: 90,33 y Grupo III: 84,38; $p<0,05$) existiendo diferencias significativas entre los tres tratamientos. Los servicios por concepción no mostraron diferencias entre los grupos suplementados pero sí con respecto al control (Grupo I: 2,25, Grupo II: 1,60 y Grupo III: 1,50; $p<0,05$). Posibles explicaciones para este fenómeno fue el hallazgo de mayores concentraciones de interleukina-8 en el plasma sanguíneo de las vacas suplementadas, así como mejores niveles de índices de estimulación de linfocitos T y B, lo cual permite una recuperación uterina más rápida y el reinicio de la actividad ovárica.

Los estudios citados demuestran que la suplementación estratégica de ciertos minerales que se sabe son deficientes en las dietas podría favorecer el crecimiento mas no el desarrollo muscular de las hembras bovinas, empero, el nivel de respuesta dependerá de la ingesta de minerales. También parece importante considerar el sistema en el cual se mantienen las mismas a fin de predecir correctamente las respuestas, ya que en estabulación las respuestas parecen diferir de sistemas de pastoreo.

SUPLEMENTACIÓN MULTIMINERAL ORAL

En un estudio realizado en Venezuela por Botacio y Garmendia (1997), se midió el efecto de la suplementación oral de una mezcla de minerales sobre parámetros productivos y reproductivos en novillas de raza Criollo x Cebú en pastoreo, en comparación con un grupo que sólo consumió sal blanca. El cloruro de sodio presentó consumos más bajos que la mezcla mineral (19,8 versus 53,9 g/animal/día). Los animales que consumían la mezcla mineral ganaron numéricamente más peso (+30 g/día, $p>0,05$) que los que consumían sal blanca durante la época lluviosa, pero hubo marcadas diferencias durante la época seca, donde los animales que consumieron sal común perdieron alrededor de 73 g/día y mientras que las novillas que consumieron una mezcla mineral completa ganaron 178 g/día en promedio ($p<0,05$). Esta suplementación aumentó de manera significativa el porcentaje de preñez en novillas

respecto al testigo (de 31 a 60% en época seca y de 30 a 52% en época lluviosa, $p < 0,05$) y disminuyó los días abiertos (de 158 a 140 días, $p < 0,05$) y el porcentaje de abortos (14% a 6%, $p < 0,05$), por lo cual se puede considerar que en las condiciones de este estudio el uso de un suplemento multimineral tuvo un efecto de aumento en los parámetros productivos y reproductivos.

Zanetti et al. (2000) evaluaron el efecto de cuatro suplementos *ad libitum* en bovinos mestizos Nelore x Caracú alimentados con caña de azúcar (3,2% PC) y pastoreando *Brachiaria decumbens* (5,5% PC) en Sao Paulo, Brasil. La composición de los suplementos se describe en el Cuadro 1. Se registraron pérdidas de peso de 96 g/día en el grupo que recibía el suplemento mineral (M), mientras que hubo ganancias de 86, 207 y 357 g/día usando los suplementos mineral+proteína (MP), mineral+urea (MU) y mineral+proteína+urea (MPU), respectivamente (todas las medias son diferentes, $p < 0,05$). Dado que los forrajes utilizados presentaron niveles proteicos bajos, que incluso no eran capaces de fomentar la fermentación microbiana y el consumo de forrajes, es de esperar que al proveer nitrógeno aumentara el rendimiento animal debido a una mayor producción de ácidos grasos volátiles y proteína microbiana, además de que debió existir una mayor ingesta de materia orgánica fermentable (Rojas, 1996). Desde otra perspectiva, el consumo fue diferente entre los suplementos (M: 56 g/día, MP: 320 g/día MPU: 650 g/día, MU: 135 g/día) fomentando que los animales del grupo que recibía el suplemento MPU recibieran cantidades similares o mayores de Ca, P, Co, I, Se y Zn que los que recibieron otros tratamientos. Por otro lado, la respuesta al suplemento MU no fue mejor que con el MPU, pues aunque tenía más nivel de nitrógeno, este era fermentable y no se proveía proteína de sobrepaso.

Cuadro 1. Contenidos de macrominerales, proteína cruda (%MS) y microminerales de los diferentes suplementos utilizados en el ensayo de Zanetti et al. (2000).

Nutrientes	M	MP	MPU	MU
<i>%MS</i>				
Proteína Cruda	0,0	20,0	52,5	91,0
Calcio	8,74	1,70	1,30	7,28
Fósforo	6,84	0,93	1,15	5,37
Sodio	20,35	11,72	4,69	14,39
Magnesio	0,62	0,55	0,08	0,63
Azufre	1,25	0,87	0,57	1,25
<i>mg/kg MS</i>				
Cobre	2100	275	250	2100
Zinc	3650	1026	1080	3600
Yodo	135	20	24	135
Selenio	23	7	5	23
Cobalto	119	36	45	119

M: Sólo minerales, MP: Mineral con proteína verdadera, MPU: Mineral con proteína y urea, MU: Mineral con urea

Un trabajo similar realizado por Obispo et al. (2002) en Venezuela, en el cual suplementaron bovinos de carne en pastoreo durante tres períodos (A- 284 días entre el final de época lluviosa y toda la sequía, B- 98 días en transición de sequía a época lluviosa y C- 98 días en época lluviosa), usando una mezcla mineral *ad libitum* (15% Ca, 10% P, 17% Cl, 13% Na, 1% Mg, 1% S, 0,5% Zn, 0,3% Mn, 0,15% Fe, 0,13% Cu, 50 mg/kg I, 20 mg/kg Co, 15 mg/kg Se) o sal blanca. Los autores encontraron ganancias diarias de peso mayores en las novillas suplementadas con minerales en el período C, mientras que en el período B las novillas suplementadas perdieron peso y las que recibieron sólo cloruro de sodio ganaron 32 g/d en promedio. Por su parte en el período

A no se encontraron diferencias significativas entre ambos grupos, aunque las novillas que recibieron minerales ganaron más peso en promedio. Lo anterior sugiere que la suplementación mineral podría tener efectos diferentes según la época del año, debido a la variabilidad en la composición forrajera.

En otro ensayo, se suplementó a libre voluntad y a partir del día 90 de vida, terneros Angus criados en pastoreo en Akron, Colorado, Estados Unidos, con mezclas de minerales orgánicos o inorgánicos (ambos con 10,7% Ca; 11,4% P; 0,1% Cu; 0,32% Zn y 0,29% Mn) vs. un tratamiento control. De igual manera, las madres también recibían el mismo suplemento mineral. Los terneros suplementados presentaron menor peso al destete ajustado a 205 días en el año 1 (control 266,5 kg, mineral inorgánico 262,9 kg, mineral orgánico 247,7 kg; $p=0,04$) y en el año 2 de evaluación (control 197,1 kg, mineral inorgánico 184,3 kg, mineral orgánico 178,6 kg; $p=0,01$), repercutiendo en una menor producción de kilogramos de ternero por hembra para ambos años. No queda clara para los autores la razón de este comportamiento, ya que parece ser poco probable la existencia de interacciones entre los mismos, por lo cual sugieren la hipótesis de que al sobrepasarse los valores de deficiencia puede que exista un rango amplio de concentraciones aceptables, haciendo que los efectos de la suplementación sean poco visibles (Ahola et al., 2004).

Los mismos terneros usados en el estudio anterior, fueron evaluados en su etapa de desarrollo y engorde en estabulado, con dietas a base de maíz en hojuelas, ensilaje de maíz, heno de alfalfa y un suplemento proteico (formulado con harina de semilla de algodón, harina de semillas de girasol, harina de soya y urea). Recibieron además monensina sódica e implantes hormonales. Los no suplementados en la fase predestete continuaron sin consumir ninguna mezcla de minerales adicionada a su dieta, mientras que los demás recibieron 10 mg/kg de Cu, 30 mg/kg de Zn y 20 mg/kg de Mn por animal por día, tanto en forma de proteinatos (mineral orgánico), como en forma de sulfatos (mineral inorgánico). En ninguno de los dos años de evaluación se encontraron efectos de los tipos de minerales o la suplementación mineral sobre la ganancia diaria de peso y el consumo de materia seca en las fases de desarrollo o engorde, y sólo el primer año se encontró que los animales que consumieron minerales orgánicos fueron más eficientes en ambas fases. Tampoco las características de canal ni el perfil de lípidos de la grasa de los animales se vio afectado por los tratamientos (Ahola et al., 2005).

Por otra parte, Depablos et al. (2009b) no encontraron mejorías en ganancia de peso o condición corporal al suplementar minerales *ad libitum* (24,16% Ca, 13,63% P, 10,75% Na, 2,63% Mg, 1,01% S, 0,645% Cu, 1,54% Zn, 24 mg/kg Co, 49 mg/kg Se) en comparación con sólo ofrecer sal blanca, en novillas cruzadas *Bos taurus x Bos indicus* que pastoreaban en potreros con presencia de *Cynodon nlemfluensis*, *Brachiaria humidicola*, *B. radicans* y *B. decumbens*. Los autores, que realizaron su trabajo en Cojedes, Venezuela, no indican diferencias en los porcentajes de preñez acumulados a los días 37, 62, 85 y 103 de la época de monta, ni tampoco en la preñez al final de la misma (81,8% para el grupo con sal y 81,5% para el grupo con mezcla mineral. Este resultado puede deberse a que el contenido de minerales del pasto utilizado estaba acorde con lo requerido por este tipo de animales.

Lamb et al. (2008) evaluaron la respuesta a protocolos de superovulación de novillas Angus alimentadas por 23 días con mezclas minerales de fuentes orgánicas (O) e inorgánicas (I) con respecto a un grupo no suplementado (C) en Grand Rapids, Minnesota, Estados Unidos. No hubo respuestas en la cantidad de folículos o cuerpos lúteos por hembra, ni entre las diferentes clases de los folículos por tamaño (menores de 7 mm, de 7 a 9 mm, de 9 a 11 mm y de 11 a 13 mm); indicando que la adición de minerales a la dieta no generó ningún efecto en el desarrollo de estructuras ováricas como respuesta a un protocolo de superovulación. Además, similares cantidades de novillas ovularon en respuesta al protocolo en los tres grupos (63% en C, 69% en I y 56% en O). Aunque se recogieron similares cantidades de embriones por novilla tratada, los animales del grupo O promediaron 0,44 embriones no fertilizados por hembra tratada al momento de la colecta, siendo una cantidad inferior ($p=0,024$) con respecto a los datos del grupo I (2,34 embriones no fertilizados/hembra tratada) y del grupo C (1,56 embriones no fertilizados/hembra tratada). Sin embargo, no se encontraron diferencias en la calidad de los embriones recolectados entre los grupos.

Las diferencias entre los embriones no fertilizados por grupo se disminuyeron al excluir los datos de las novillas que no respondieron a la superovulación ($p=0,084$). También se reporta una tendencia ($p=0,087$) a menores cantidades de embriones degenerados por hembra que respondió en los grupos suplementados con minerales. El corto período de suplementación pudo haber influenciado la falta de respuestas en el desarrollo de estructuras ováricas, así como la alta variabilidad en la respuesta a la

superovulación que se reporta, a pesar de que las novillas eran medias hermanas. Asimismo, la mayor biodisponibilidad de los minerales quelados parece mejorar las condiciones para la fertilización de los óvulos.

En otro caso, no se encontraron diferencias en las ganancias de peso de vacas o novillas Brahman x Angus bajo pastoreo con concentrado, debidas a la inclusión de un suplemento multimineral oral en dos experimentos consecutivos durante la fase predestete (102 y 97 días, respectivamente) realizados en Ona, Florida (Moriel y Arthington, 2013). Posterior al destete, evaluaron las mismas novillas en condiciones de desarrollo en estabulación, por 30 días, siendo todas suplementadas con un multimineral completo, para determinar el efecto de la suplementación mineral durante la fase predestete, pero no se hallaron diferencias significativas en ninguno de los dos experimentos realizados para las ganancias de peso. Esto a pesar de que el grupo suplementado presentó concentraciones hepáticas de Co, Cu y Se (71, 64 y 70% mayores, respectivamente) en el segundo experimento.

Los estudios anteriores sugieren que la suplementación mineral oral no tendrá efecto en las ganancias de peso y el crecimiento, si los aportes de minerales en la ración son apropiados para el nivel productivo de los animales. Asimismo, si nutrientes mayores como la proteína o la energía, no se encuentran en proporciones adecuadas, poco efecto puede esperarse de un nivel alto de minerales en la ración.

COMBINACIÓN DE SUPLEMENTOS MINERALES INYECTABLES Y ORALES

Desde el punto de vista tradicional, se indica que los suplementos minerales inyectables se recomiendan en casos de deficiencia clínica de algún mineral, pues la respuesta al tratamiento se observa en el corto plazo (1 a 7 semanas) (Grace y Knowles, 2012). García et al. (2007), indican que en la actualidad, aparte de la suplementación oral, se utiliza la aplicación de suplementos parenteralmente, lo que presenta ventajas, por ejemplo, evita las interacciones a nivel del tracto digestivo, se aplican en el momento preciso y se garantiza que el animal reciba la dosis adecuada y así pueda enfrentar posibles deficiencias nutricionales durante la etapa de producción.

En la respuesta a los suplementos inyectables pueden influir, de manera importante, variables como el sitio y modo de aplicación, así como la dosis. García et al. (2006), en un primer ensayo realizado en Cuba, trataron novillas de raza siboney cubano (provenientes del cruce de Brahman con Holstein canadiense) en pastoreo con 2 ml de una solución de 25 mg/ml de CuSO_4 , vía subcutánea, cada dos meses. En un segundo ensayo confrontaron un grupo que recibió 2 ml vía subcutánea de CuSO_4 (2,5%), uno que recibió 0,1 ml de la misma solución aplicados mediante acupuntura en el espacio lumbosacro (en ambos casos los tratamientos fueron también cada dos meses) y un grupo control que no recibió suplementación con cobre.

Los resultados se presentan en el Cuadro 2. Se demuestra de manera clara que en condiciones de carencia de cobre, la suplementación parenteral con sulfato de cobre mejora los parámetros reproductivos (presentación de celo y tasa de concepción). Empero, los resultados de la aplicación de la acupuntura hacen reflexionar sobre la importancia del sitio de aplicación y de la dosis, ya que, usando menos producto, se obtuvieron los mismos resultados en términos de presentación de celos y se mejoraron las tasas de concepción.

Cuadro 2. Resultado de los experimentos de García et al. (2006) sobre la suplementación parenteral de cobre en novillas lecheras

Ensayo	Tratamiento	N	Celo (%)	Concepción (%) ^x
1	Control	60	53 ^b	69 ^b
	2 ml de CuSO_4 ^y	60	95 ^a	90 ^a
2	Control	30	60 ^b	30 ^c
	2 ml CuSO_4 ^y	30	83 ^a	60 ^b
	0,1 ml CuSO_4 , Acupuntura ^{y,z}	30	80 ^a	70 ^a

^{a,b} Letras diferentes por fila muestran diferencias significativas ($P < 0,05$)

^xTasa de concepción sobre animales que presentaron celo

^ySolución al 2,5% aplicada cada dos meses

^zAplicada subcutáneamente en el punto Pahuai (espacio lumbosacro)

Fuente: Elaboración propia con datos de García et al. (2006)

También en Cuba, Noval et al. (2012) indican diferencias significativas en las ganancias de peso y los niveles de cobre y hemoglobina en la sangre, en terneros en pastoreo y bajo amamantamiento restringido que recibieron una inyección cada dos meses con cobre o una inyección con Cu, Zn y Mn, respecto a un grupo que recibió una inyección de salina fisiológica (Cuadro 3). En este experimento es importante rescatar que aunque el nivel de zinc en sangre se vio mejorado al usar la inyección multimineral, la ganancia de peso no presentó mejorías, siendo, desde el punto de vista económico, poco rentable.

Cuadro 3. Resultado de experimentos sobre suplementación parenteral de cobre o un compuesto cobre, zinc y manganeso.

Variables		Tratamientos ¹		
		1	2	3
Concentración sérica (mg/100 ml)	Cobre	11,22 ^c	13,81 ^a	13,27 ^b
	Zinc	15,72 ^b	15,69 ^b	20,03 ^a
	Hemoglobina	105,3 ^b	119,7 ^a	117,8 ^a
Ganancia diaria de Peso (g/d)	Día 60	282 ^c	426 ^a	378 ^b
	Día 120	313 ^b	367 ^a	348 ^a
	Día 180	311 ^b	360 ^a	371 ^a

^{a,b} Letras diferentes por fila muestran diferencias significativas ($P < 0,05$)

¹Tratamiento 1: Aplicación de solución salina (Placebo), Tratamiento 2: 25 mg de Cu al día 0 y 40 mg de Cu los días 60 y 120, Tratamiento 3: 25 mg Cu, 50 mg Zn y 25 mg de Mn al día 0 y 40 mg Cu, 80 mg Zn y 40 mg Mn al día 120.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Noval et al. (2012).

García et al. (2007), en Cuba, encontraron mejorías en parámetros reproductivos y química sanguínea de vacas que recibieron una inyección de 2 ml de CuSO_4 al 2,5%, con respecto al control, así como en la química sanguínea de sus crías (Cuadro 4). Debe destacarse la reducción de un 16% en el intervalo entre partos y de un 36% en el período abierto. A su vez, se presentaron menos celos silentes, por lo cual se mejoró la detección de celos en un 18%.

Cuadro 4. Respuesta en la reproducción y química sanguínea de vacas suplementadas con cobre vía subcutánea.

VARIABLES	Controles	Tratados	Significancia
Intervalo Parto-Primer Servicio (días)	180	131	***
Período abierto (días)	225	143	***
Intervalo entre Partos (días)	506	425	***
Eficiencia de detección de celos (%)	73	86	*
Condición Corporal	3,45	3,65	NS
Cobre en suero de vacas (mmol/L)	11,06	13,5	***
Hemoglobina de vacas (g/L)	107,6	118,5	***
Cobre en suero de terneros (mmol/L)	11,3	12,6	***
Hemoglobina de terneros (g/L)	109,4	114,2	*

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de García et al. (2007)
Indicadores de significancia: * p<0,05; *** p<0,001; NS: No significativo

Al usar un suplemento fuente de fósforo (en forma de butafosfán) y cianocobalamina en vacas Gyr donadoras de embriones, Reis et al. (2012) lograron recuperar 26% más ovocitos totales, 57% más ovocitos viables y producir 59% más embriones *in vitro*, en comparación con vacas no tratadas (Cuadro 5) en Brasil. Aunque las tasas de concepción de los embriones recuperados no fueron diferentes entre los grupos (42,6% en el control vs 44,4% en el grupo tratado), se puede observar una mejoría importante en la eficiencia de la técnica, dando lugar a una mayor cantidad de preñeces con el uso del suplemento.

Cuadro 5. Resultados del uso de un suplemento de fósforo y cianocobalamina en vacas donadoras de ovocitos para un protocolo de fertilización *in vitro* (medias por animal \pm error estándar)

VARIABLES ANALIZADAS	Control	Tratados	Valor-p
Ovocitos totales recuperados	6,45 \pm 0,49	8,10 \pm 0,54	0,03
Ovocitos viables recuperados	4,13 \pm 0,39	6,50 \pm 0,47	0,001
Embriones producidos <i>in vitro</i>	1,70 \pm 0,26	2,7 \pm 0,28	0,001

Fuente: Elaboración propia con datos de Reis et al. (2012)

Narváez y Núñez (2013) en Honduras, sometieron 63 vacas a protocolos de sincronización para inseminación artificial a celo detectado entre el día 9 y 11. Los animales fueron divididos en cuatro grupos según el tratamiento que recibieron al momento de la inseminación (día 9-11 de tratamiento): Grupo 1: 100 µg GnRH (Hormona Liberadora de Gonadotropinas) + 10 ml de un suplemento mineral de butafostán y cianocobalamina, Grupo 2: 2 ml de solución salina fisiológica (control), Grupo 3: 100 µg GnRH y Grupo 4: 10 ml del suplemento mineral. No hubo diferencias ($p=0,26$) para la presentación de celos, fluctuando entre el 87 y 95%, sin embargo los valores de preñez (al primer y segundo servicio y acumulados) fueron mejorados mediante el uso del inyectable mineral, incluso por encima de la hormona liberadora de gonadotropinas (Cuadro 6). Aunque los servicios por concepción de las vacas preñadas no difirieron entre los grupos, el hecho de que existieran más preñeces en el grupo que recibió el suplemento mineral provocó que los servicios por concepción de todas las vacas fueran menores.

Cuadro 6. Resultados del uso de un suplemento mineral parenteral con butafostán y cianocobalamina en el desempeño de vacas bajo un protocolo de sincronización a celo detectado

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Valor-p
Animales por grupo	18	18	13	14	-
Presentación de celos (%)	90	94,7	86,7	93,3	0,2567
Preñez al primer servicio (%)	55,6 ^a	33,3 ^c	38,7 ^b	50,0 ^a	0,0128
Preñez al segundo servicio (%)	50,0 ^b	30,0 ^d	40,0 ^c	71,4 ^a	0,002
Preñez acumulada (%)	77,8 ^b	50,0 ^c	53,9 ^c	85,7 ^a	< 0,0001
Servicios por concepción (1)	1,3	1,2	1,3	1,4	0,1658
Servicios por concepción (2)	1,8 ^c	3,1 ^a	2,5 ^b	1,7 ^c	<0,0001

(1) Servicios por concepción de las vacas finalmente preñadas

(2) Servicios por concepción del total de vacas del grupo

^{a,b} Letras diferentes por fila muestran diferencias significativas

Fuente: Narváez y Núñez (2013)

En Brasil, Silva et al. (2009) aplicaron cuatro dosis de una solución inyectable de butafostán y cianocobalamina a 213 animales Nelore estabulados en fase de finalización, agrupados en tres tratamientos 0 ml, 10 ml y 20 ml por animal. Las

inyecciones se aplicaron a los 0, 1, 2 y 30 días del inicio del engorde. Se obtuvieron mejoras de 11 y 20% en las ganancias diarias de peso al aplicar el suplemento en dosis de 10 y 20 ml, respectivamente, en comparación con el testigo.

En Honduras, una solución parenteral de fosforilcolamina (fuente orgánica de fósforo), sulfato de zinc, yoduro de potasio y selenito de sodio fue evaluada por Matamoras y Moreno (2009) en dosis de 20 ml/animal, vía intramuscular cada dos días a partir del día 5 post-parto y hasta la presentación de celo. Encontraron mejorías en las tasas de preñez al primer, segundo y tercer servicio, así como una mayor tasa de concepción y menor cantidad de días abiertos; al comparar los animales tratados con animales sin tratar (Cuadro 7).

Cuadro 7. Resultados del uso de un suplemento mineral parenteral con fósforo, selenio, yodo y zinc en el desempeño de vacas bajo inseminación artificial

Variables evaluadas	Tratados	Controles
Número de animales	89	95
Porcentaje de preñez en el primer servicio	50.79 ^a	36.20 ^b
Porcentaje de preñez en el segundo servicio	72.41 ^a	58.33 ^b
Porcentaje de preñez en el tercer servicio	71.42 ^a	50.50 ^b
Porcentaje de preñez acumulada	92.06 ^a	84.48 ^b
Servicios por concepción de vacas preñadas	1.53	1.71
Servicios por concepción de vacas totales	1.7 ^a	2.2 ^b

^{a,b} Letras diferentes por fila muestran diferencias significativas (P<0,05)
Fuente: Matamoras y Moreno (2009).

Un experimento realizado en Colombia por Tenjo y Cardona (2008), usando vacas Brahman que recibieron tres dosis de una inyección con 12,5 mg de Zinc, 2,5 mg de Cobre, 0,25 mg de Selenio y 7,5 mg Yodo; reveló cómo al suplementar un complejo multimineral inyectado, se obtienen diferencias significativas en el buen funcionamiento ovárico de los animales tratados con respecto al grupo control al evaluar porcentaje de preñez, cuerpos lúteos y animales vacías normales.

Todos los estudios anteriores se han enfocado en parámetros reproductivos, pero poca importancia se ha dado a la presencia o ausencia de enfermedades reproductivas. Empero, resultados de Machado et al. (2013) en Ithaca, Nueva York, Estados Unidos, informan que animales que recibieron dos inyecciones (a los 230 y 260 días de gestación) con 5 ml de un suplemento con 300 mg/ml de zinc, 50 mg/ml de manganeso, 25 mg/ml de selenio y 75 mg/ml de cobre; presentaron 41% menos de riesgo de aborto y 23% menos de riesgo de presentar endometritis.

En el estado del Táchira, Venezuela, Mora et al. (2010a) compararon la respuesta en ganancia de peso y medidas corporales (altura a la cruz y perímetro torácico) en machos Brahman bajo pastoreo que recibían sólo suplementación mineral oral con otros a los cuales se les suministraba cobre, zinc y cobre más zinc vía parenteral. Los productos inyectables eran a base de gluconato de zinc y glicinato de cobre. A pesar de que los pastos eran deficientes en cobre y zinc, no se encontraron diferencias en la ganancia de peso ni en las medidas corporales entre ambos grupos, sugiriendo que el suplemento oral era suficiente para cubrir los requerimientos de estos animales. En otro estudio, Mora et al. (2010b) en un grupo de 33 hembras y 34 machos sometidos a un tratamiento similar, encontraron un efecto negativo del zinc inyectado sobre la altura de la cruz de los animales, y se careció también de respuesta en las ganancias de peso y el perímetro torácico.

Chourfi et al. (2011) no encontraron diferencias en las ganancias de peso o consumo de materia seca de novillas cruzadas Charolais x Simmental, que fueron suplementadas con selenio vía oral o vía oral y subcutánea a la vez, en un ensayo llevado a cabo en Quebec, Canadá. Sin embargo, en las novillas que recibieron la inyección se informan niveles superiores de selenio plasmático y mayor actividad de la enzima Glutación Peroxidasa (enzima que usa como cofactor Se para transformar el peróxido de hidrógeno en agua y evitar su efecto oxidativo en la célula) dos semanas después de la inyección, no habiendo diferencia al mes de la misma.

Genther y Hansen (2012) en Ames, Iowa, expusieron a novillos encastados Angus a dietas de desarrollo a base de ensilaje de maíz con los niveles recomendados de Se, Co, Mn y Cu (Control) o con niveles deficientes de estos minerales y altas concentraciones de antagonistas (Dieta Deficiente) durante 88 días. Posterior a ello los transportaron por 20 horas y midieron la merma de peso por transporte. Seguidamente

los inyectaron con una solución con 15 mg Cu, 60 mg Zn, 10 mg Mn, y 5 mg Se/ml a razón de 1 ml/68 kg de peso vivo o solución salina y los sometieron a una dieta de engorde intensivo (50% maíz molido, 20% DDGS de maíz, 15% ensilaje de maíz y 10% cascarilla de soya peletizada) suplementada con niveles recomendados de Zn, Se, Mn y Cu por 90 días. En la fase de desarrollo, novillos consumiendo la dieta control y la dieta deficiente presentaron similares ganancias de peso, pero al someterlos al estrés por transporte, los novillos del grupo deficiente presentaron mermas de peso 90% mayores ($p < 0,05$). En la fase de finalización, los novillos del grupo deficiente que recibieron suplemento parenteral presentaron ganancias de peso 15% mayores ($p < 0,05$), pero en el grupo control no se encontraron dichas diferencias. No se encontraron diferencias en el peso de la canal, el rendimiento en canal, el área de ojo de lomo, la profundidad de la grasa dorsal, la cantidad de grasa interna y el porcentaje de marmoleo debidas a la inyección con el suplemento mineral.

En otro reporte sobre el mismo estudio (Genther y Hansen, 2014) se indica que los novillos alimentados con la dieta deficiente presentaron al día 71 de la fase de desarrollo, concentraciones hepáticas de Cu y Zn que se encontraban en rango de deficiencia (79 y 1,66 mg/kg MS), mientras que los animales del grupo dieta control presentaron niveles 2,9 y 3,65 veces mayores que el grupo con dieta deficiente, respectivamente. Asimismo se determinó que los novillos del grupo control presentaron mejor respuesta anti-oxidativa, menor respuesta inflamatoria y mayor respuesta neutrofílica (inmune), en comparación con el grupo deficiente, durante la fase de desarrollo indicando una respuesta inmune mejorada y menor daño celular; empero, dichas diferencias se dejaron de observar debido al efecto de transporte, posiblemente por efecto de deshidratación.

Como efecto de la suplementación parenteral los niveles hepáticos de Cu y Se aumentaron en 18 y 20% al final de la fase de engorde ($p < 0,001$), y la actividad de la enzima manganeso-superóxido dismutasa (cataliza la transformación del anión superóxido, un fuerte oxidante celular, en agua y peróxido de hidrógeno) aumentó un 10% ($p = 0,02$) indicando que los minerales provenientes de la inyección fueron incorporados en el metabolismo y mejoraron la respuesta antioxidante. Las concentraciones de mieloperoxidasa, una enzima relacionada con la capacidad de los neutrófilos para destruir bacterias, se vio aumentada un 6% en el grupo tratado con una

inyección de minerales, en comparación al grupo control sin inyección, mientras que el grupo que deficiente presentó respuesta a la inyección, ($p=0,004$ para la interacción).

No se encontró diferencia en ganancia de peso, peso de canal caliente, marmoleo, profundidad de la grasa dorsal ni área de ojo de lomo; entre un grupo de terneros Gelbvieh x Angus que sólo recibió suplementación mineral oral (1,2% Zn, 0,4% Cu, 0,8% Mn, 0,1% Fe, 50 mg/kg Co, 200 mg/kg I, 60 mg/kg Se) y otro que recibió minerales orales y una inyección de minerales traza (60 mg Zn, 15 mg Cu, 10 mg Mn, and 5 mg Se/45 kg de peso vivo) 28 días antes del destete, en Batesville, Arkansas (Kegley et al., 2012).

Los resultados anteriores apoyan algunas consideraciones en contra del uso de soluciones minerales inyectables, pues se indica que las mismas no han mostrado los resultados deseados por que su efecto es de corto plazo y se necesita de repetidos manejos para que se evidencien resultados, aumentando los costos de mano de obra (Grace y Knowles, 2012). Se han desarrollado inyecciones de larga acción, donde los compuestos minerales se encuentran mezclados con sustancias de baja solubilidad en agua, y se evidencian algunos resultados beneficiosos en situaciones de deficiencia, lo cual es citado por Grace y Knowles (2012).

CONSIDERACIONES FINALES

La presente revisión permite establecer que se podrían esperar mejoras en el crecimiento, mas no en el desarrollo muscular de novillas suplementadas con minerales (aunque podría mejorar el puntaje de marmoleo), pero esta respuesta dependerá del nivel de los minerales suplementados en comparación con los requerimientos y las cantidades provistas por los otros materiales incluidos en la dieta, del sistema en que sean desarrolladas (pastoreo versus estabulado), y de la calidad y biodisponibilidad de los suplementos usados.

La cantidad de suplemento necesario varía según los animales y las condiciones del sistema de producción, siendo los animales de alto potencial productivo más demandantes en este tipo de nutrientes. Factores como la fertilización de pastos y

dietas balanceadas pueden suplir el requerimiento de algunos de los minerales mencionados.

Tanto los macrominerales como los microminerales son importantes para los procesos metabólicos de los animales, como lo es un adecuado desempeño del sistema inmunológico, lo cual se traduce a un mejor estado de salud del animal y se refleja en mejoras en crecimiento y en reproducción.

Dado que una parte importante del tiempo que toma el desarrollo de novillas comprende el periodo predestete, es necesario recalcar la importancia de la suplementación materna, que puede ayudar a proveer una leche en mayor cantidad y de mejor calidad, favoreciendo el desarrollo de las terneras.

La utilización de productos inyectables, si bien mejora algunas de las constantes bioquímicas sanguíneas y los perfiles minerales en el hígado, ha fallado en presentar una respuesta significativa en el crecimiento y desarrollo corporal. Empero, los estudios encontrados emplean productos con efectos de corto plazo. Con respecto a la respuesta en reproducción se encontraron suficientes datos para respaldar un efecto positivo de la suplementación parenteral en los parámetros reproductivos como tasa de preñez y servicios por concepción, principalmente en hembras maduras. Sin embargo, se necesita más investigación para determinar cuánto puede mejorar el desarrollo sexual de novillas y cuáles pueden ser las causas de las mejorías observadas, aún en condiciones de una suplementación mineral que cumple los requerimientos de los animales.

Es importante prestar atención a factores como la edad del animal, calidad de alimento y suelos e incluso la época del año, ya que como se observa en diferentes estudios realizados, los resultados obtenidos al suplementar pueden variar según estas circunstancias.

Debe rescatarse que las dosis empleadas, las vías de aplicación, las posibles interacciones con otros factores nutricionales y ambientales en el sistema y la efectividad de cada sustancia son variables importantes a considerar para predecir los

resultados de la suplementación parenteral, empero aún no se poseen datos suficientes a este respecto.

Se logró concluir que es importante conocer los requerimientos de los minerales brindados a los animales, ya que un rango menor al requerido se considera deficiencia y un exceso de los mismos no beneficia la producción sin embargo incrementa los costos del sistema productivo. Especialmente en sistemas intensivos, donde el exceso de minerales es común, la contaminación de los ecosistemas con minerales pesados está aumentando, debido a que la suplementación en exceso no tiene efectos detrimentales en el animal y normalmente es costo-efectiva. Por ello, a pesar de ser un tema analizado desde hace muchos años, sigue siendo necesario profundizar más en su estudio, a fin de determinar esquemas de suplementación mineral que sean más eficientes en el aprovechamiento de los recursos naturales (no renovables como las fuentes minerales).

LITERATURA CITADA

- Ahmed, M.M.M., Fadlalla, I.M.T., Barri, M.E.S 2002. A possible association between dietary intake of copper, zinc and phosphate and delayed puberty in heifers in Sudan. *Tropical Animal Health and Production* 34:75-80.
- Ahola, J.K., Baker, D.S., Burns, P.D., Mortimer, R.G., Enns, R.M., Whittier, J.C., Geary, T.W., Engle, T.E. 2004. Effect of copper, zinc, and manganese supplementation and source on reproduction, mineral status, and performance in grazing beef cattle over a two year period. *Journal of Animal Science* 82:2375-2383.
- Ahola, J.K., Sharpe, L.R., Dorton, K.L., Burns, P.D., Stanton, T.L., Engle, T.E. 2005. Effects of lifetime copper, zinc, and manganese supplementation and source on performance, mineral status, immunity, and carcass characteristics of feedlot cattle. *The Professional Animal Scientist* 21:305–317.
- Almeida, V.V.S., Queiroz, A.C., Silva, R.R., Silva, F.F., Oliveira, A.C., Santana Júnior, H.A. 2009. Body composition and net and dietary macrominerals requirements of Nellore steers under grazing. *Revista Brasileira de Zootecnia* 38(6):1081-1087.

- Beede, D.K., Davidson, J.A. 1999. Phosphorus: Nutritional management for Y2K and beyond (p. 51-97). In: Proceedings of the Tri-State Dairy Nutrition Conference, Fort Wayne, Indiana, Estados Unidos. 20-21 abril 1999.
- Biswas, P., Haldar, S., Pakhira, M.C., Ghosh, T.K., Biswas, C. 2006. Efficiency of nutrient utilization and reproductive performance of pre-pubertal anestrous dairy heifers supplemented with inorganic and organic chromium compounds. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 86:804–815.
- Botacio, R., Garmendia, J. 1997. Efecto de la suplementación mineral sobre el status mineral, parámetros productivos y reproductivos en bovinos a pastoreo. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*. 5(1): 245-247.
- Brendon R.M., Dugmore T.J. 2012. Mineral & Vitamin nutrition of dairy cattle (En línea). Department of Agriculture, Environmental Affairs and Rural Development, Province of KwaZulu-Natal, South Africa. Recuperado 21 de febrero 2014. Disponible en <http://agriculture.kzntl.gov.za/AgricPublications/ProductionGuidelines/DairyinginKwaZuluNatal/MineralVitaminNutritionOfDairyCattle/tabid/249/Default.aspx>
- Brenes, C., Vargas, J., Abarca, S. 2013. Modelado de un sistema de información para el manejo de lecherías en el cantón de Turrialba, Costa Rica. *Revista Intersedes*. 14(29):41-55.
- Brennan, K.M., Burris, W.R., Boling, J.A., Matthews, J.C. 2011. Selenium content in blood fractions and liver of beef heifers is greater with a mix of inorganic/organic or organic versus inorganic supplemental selenium but the time required for maximal assimilation is tissue-specific. *Biological Trace Element Research* 144:504–516
- Campabadal, C. 2009. Efecto de la nutrición sobre la reproducción del ganado de leche. In: *Memorias del Congreso Nacional Lechero*, San Carlos, Costa Rica. Noviembre 2009.
- Casas E., Tewolde A. 2001. Evaluación de características relacionadas con la eficiencia reproductiva de genotipos criollos de carne en el trópico húmedo. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal* 9(2): 68-73.
- Cedeño, D.A. 2003. Análisis de vida productiva y optimización de políticas de descarte en vacas lecheras de Costa Rica. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Costa Rica. Heredia, Costa Rica. 18 p.

- Chourfi, Y., Girard, V., Fournier, A., Couture, Y. 2011. Effect of subcutaneous selenium injection and supplementary selenium source on blood selenium and glutathione peroxidase in feedlot heifers. *Canadian Veterinary Journal* 52:1089–1094.
- Cseh, S.B., Rodríguez, M.J., Sciotti, A., Campero, C.M. 2012. Efecto de la suplementación con Mg sobre diversos parámetros en vacas con restricción alimentaria. *Archivos de Zootecnia* 61 (236):525-536.
- De, K., Pal S., Prasad S., Dang, A.K. 2014. Effect of micronutrient supplementation on the immune function of crossbred dairy cows under semi-arid tropical environment. *Tropical Animal Health and Production* 46:203–211.
- Depablos, L., Godoy, S., Chicco, C., Ordoñez, J. 2009a. Nutrición en sistemas ganaderos de las sabanas centrales de Venezuela. *Zootecnia Tropical*. 27(1): 25-37.
- Depablos, L., Ordóñez, J., Godoy, S., Chicco, C.F. 2009b. Suplementación mineral proteica de novillas a pastoreo en los Llanos Centrales de Venezuela. *Zootecnia Tropical* 27(3):249-262.
- EPA (Environmental Pollution Agency). 2013. Chromium compounds hazard summary. Consultado el 28 de enero de 2015. Disponible en <http://www.epa.gov/airtoxics/hlthef/chromium.html>
- Esser, N.M., Hoffman, P.C., Coblenz, W.K., Orth, M.W., Weigel, K.A. 2009. The effect of dietary phosphorus on bone development in dairy heifers. *Journal of Dairy Science* 92 :1741–1749.
- Felix, T.L., Weiss, W.P., Fluharty, F.L., Loerch, S.C. 2012. Effects of copper supplementation on feedlot performance, carcass characteristics, and rumen sulfur metabolism of growing cattle fed diets containing 60% dried distillers grains. *Journal of Animal Science* 90:2710–2716.
- García, J., Cuesta, M., Pedroso, R., Rodríguez, J., Gutiérrez, M., Mollineda, A., Figuredo, J., Quiñones, R. 2007. Suplementación parenteral de cobre en vacas gestantes: efecto sobre el postparto y terneros. *Revista MVZ Córdoba* 12(2): 985-995.
- García, J., Cuesta, M., Pedroso, R., Gutiérrez, M., Mollineda, A., Figueredo, J. 2006. Efecto del cobre sobre la reproducción en novillas lecheras de Cuba. *Revista MVZ Córdoba* 11(2): 790-798.
- Genther, O., Hansen, S. 2012. Investigation of the impact of mineral status and use of an injectable mineral on beef cattle performance. (En línea) Iowa State

- University Animal Industry Report – 2012. Animal Science Leaflet R2693. Consultado el 26 de febrero de 2014. Disponible en www.ans.iastate.edu/report/air/2012pdf/R2693.pdf
- Genther, O., Hansen, S. 2014. A multielement trace mineral injection improves liver copper and selenium concentrations and manganese superoxide dismutase activity in beef steers. *Journal of Animal Science* 92:695-704.
- Godoy, S. 2006. Suplementación mineral en la alimentación de rumiantes (en línea). Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Venezuela. Consultado 22 de febrero de 2014. Disponible en <http://www.revfacagronluz.org.ve/Compendio%20Digital/Ronda%20municipal/Conferencia%20Susmira%20Godoy.pdf>
- Grace, N.D., Knowles, S.O. 2012. Trace element supplementation of livestock in New Zealand: Meeting the challenges of free-range grazing systems. *Veterinary Medicine International* 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2012/639472>
- Holmann, F., Rivas, L., Pérez, E., Castro, C., Schuetz, P., Rodríguez, J. 2007. La cadena de carne bovina en Costa Rica: Identificación de temas críticos para impulsar su modernización, eficiencia y competitividad. CIAT. Cali, Colombia. 14 p.
- Kegley, E.B., Coffey, K.P., Richeson, J.T. 2012. Effects of trace mineral injection 28 days before weaning on calf health, performance and carcass characteristics. *Arkansas Agricultural Experimental Station Research Series* 597:30-33.
- Khanal, D.R., Knight, A.P. 2010. Selenium: Its role in livestock health and productivity. *The Journal of Agriculture and Environment* 11:101-106.
- Lamb, G.C., Brown, D.R, Larson, J.E., Dahlen, C.R., Dilorenzo, N., Arthington, J.D., Dicostanzo, A. 2008. Effect of organic or inorganic trace mineral supplementation on follicular response, ovulation, and embryo production in superovulated Angus heifers. *Animal Reproduction Science* 106: 221–231.
- Liao, S.F., Brown, K.R., Stromberg, A.J., Burris, W.R., Boling, J.A., Matthews, J.C., 2011. Dietary supplementation of selenium in inorganic and organic forms differentially and commonly alters blood and liver selenium concentrations and liver gene expression profiles of growing beef heifers. *Biological Trace Element Research* 140:151–169.

- Lopez H., Kanitz F.D., Moreira V.R., Satter L. D., Wiltbank M.C. 2004. Reproductive performance of dairy cows fed two concentrations of phosphorus. *Journal of Dairy Science* 87:146–157
- López, M. 2012. Trace minerals and livestock: Not too much, not too little. *Veterinary Medicine International* 2012, DOI: <http://dx.doi.org/10.5402/2012/704825>
- Machado, V.S., Bicalho, M.L.S., Pereira, R.V., Caixeta, L.S., Knauer, W.A., Oikonomou, G., Gilbert, R.O., Bicalho, R.C. 2013. Effect of an injectable trace mineral supplement containing selenium, copper, zinc, and manganese on the health and production of lactating Holstein cows. *The Veterinary Journal* 197: 451–456
- Matamoros, J.E., Moreno, J.G. 2009. Efecto de la aplicación de Calfosvit® Se sobre el comportamiento reproductivo de vacas lecheras. Tesis de Licenciatura. Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Tegucigalpa, Honduras. 17 p.
- Mora, R., Herrera, A., Sánchez, D., Chicco, C., Godoy, S., Depablos, L. 2010a. Suplementación parenteral con cobre y zinc en vacunos machos mestizos Brahman en los Llanos Occidentales de Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía (UCV)* 36(3): 83-94.
- Mora, R.E., Herrera A.M., García M.J., Chicco C.F., Pérez. R.J. 2010b. Suplementación parenteral con cobre y zinc en vacunos Brahman en crecimiento en la región sur occidental de Venezuela. *Revista Científica FCV-LUZ* 20: 519-528.
- Moriel, P., Arthington, J.D. 2013. Effects of trace mineral-fortified, limit-fed preweaning supplements on performance of pre- and postweaned beef calves. *Journal of Animal Science* 91:1371–1380.
- Narváez, M.C., Núñez, R. 2013. Porcentaje de preñez en vacas lecheras sincronizadas con dispositivos intravaginales DIV-B® y la aplicación de Butafosfano + Cianocobalamina al momento de la inseminación artificial. Tesis de Licenciatura. Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Tegucigalpa, Honduras. 15 p.
- Noval, E., García, J.R., García, R., Quiñones, R., Mollineda, A., Munyori, H. 2012. Evaluación del efecto de la suplementación parenteral de cobre y un complejo de cobre (Cu), zinc (Zn) y manganeso (Mn) sobre la hemoquímica y la ganancia de peso en terneros (En línea). *Revista Electrónica de Veterinaria* 13(10). Consultado el 4 de agosto de 2014, disponible en: <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n101012.html>
- NRC, 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. Séptima Edición Revisada. National Academies Press, Washington DC. 408 p.

- NRC, 1996. Nutrient requirements of beef cattle. Séptima Edición Revisada. National Academies Press, Washington DC. 248 p.
- Obispo, N.E., Garmendia, J., Godoy, S., Chicco, C.F., Acevedo, D. 2002. Suplementación mineral y proteica de bovinos de carne pastoreando en sabanas naturales donde ocurre el síndrome parapléjico. *Revista Científica FCV-LUZ* 12(3):161-168
- Palma, J. 2005. Los árboles en la ganadería del trópico seco. *Avances en investigación agropecuaria*. 5(1): 1-11.
- Pérez, E. 2011. La evolución reciente de la producción de carnes en Costa Rica. *ECAG informa*. 55: 64-65.
- Reis, P.O., Martins, C.M., Sales, J.N.S., Pulga, M.E., Brandeburgo, É.S., Duran, M., Vieira, L.M., Baruselli, P.S. 2012. Effect of the supplementation with injectable tonic, organic phosphorus based associated with vitamin B12 (B12 Catosal®) in the in vitro embryo production of Gyr donors. *Animal Reproduction* 9(3):562 (abstract).
- Rojas, A. 1996. Conceptos básicos en nutrición de rumiantes. Escuela de Zootecnia de la Universidad de Costa Rica. San José. 178 p.
- Rúgeles, C. 2001. Interrelaciones entre nutrición y fertilidad de bovinos. *Revista Científica de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia*. 6(1): 24-26.
- Salazar, M., Castillo, G., Murillo, J., Hueckmann, F., Romero, J.J. 2013. Edad al primer parto en vacas Holstein de lechería especializada en Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana* 24(2):233-243.
- Segura, J.C., Magaña, J.G., Centurión, F., Segura, V.M. 2013. Efecto de grupo racial y edad al primer parto sobre el número de partos durante la vida útil de vacas Cebú. *Archivos de Medicina Veterinaria* 45:41-44
- Silva, C.R., Carvalho, F.S.R., Pulga, M.R. 2009. Avaliação do ganho de peso em bovinos confinados após aplicação do produto Catosal® B12. *A Hora Veterinária* 29(169): 27-30.
- Soto, H.E., Garmendia, J.C. 1997. Uso de fuente nacional de fósforo en la suplementación de novillas brahman. *Zootecnia Tropical* 15(2):159-175.
- Spears, J.W. 1999. Reevaluation of the metabolic essentiality of the Minerals – Review. *Asian-Australian Journal of Animal Science* 12(6): 1002-1008.

- Stewart, L. 2013. Mineral supplements for beef cattle (En línea). University of Georgia Cooperative Extension Bulletin B895. Consultado el 21 de febrero 2014. Disponible en http://www.caes.uga.edu/applications/publications/files/pdf/B%20895_3.PDF
- Subiyatno, A., Mowat, D.N., Yang, W.Z. 1996. Metabolite and Hormonal Responses to Glucose or Propionate Infusions in Periparturient Dairy Cows Supplemented with Chromium. *Journal of Dairy Science* 79(8):1436 – 1445.
- Suttle, N.F. 2010. Mineral Nutrition of Livestock (4ta Edición). CAB International, Wallingford, Oxfordshire, Reino Unido. 579 p.
- Tenjo, M., Cardona, J. 2008. Efecto de la suplementación parenteral con un multimineral quelatado sobre los días abiertos en hembras tipo carne en los llanos orientales. *Revista Ciencia Animal*. (1): 77-83.
- Yang, W.Z., Mowat, D.N., Subiyatno, A., Liptrap, R.M. 1996. Effects of chromium supplementation on early lactation performance of Holstein cows. *Canadian Journal of Animal Science* 76:221-230.
- Zanetti, M.A., Resende, J.M.L., Schalch, F., Miotto, C.M. 2000. Desempenho de novilhos consumindo suplemento mineral proteinado convencional ou com uréia. *Revista Brasileira de Zootecnia* 29(3):935-939.