

Recibido 17 de diciembre de 2018 // Aceptado 01 de junio de 2020 // Publicado online 28 de abril de 2021

Niveles séricos de minerales en hembras bovinas en un establecimiento de la región del Chaco Semiárido salteño

MICHELOUD, J.F.^{1,2}; MARTÍNEZ, G.M.³; ARAOZ V.⁴; SUÁREZ, V.H.¹; ROSA, D.E.⁵; MATTIOLI, G.A.⁵

RESUMEN

Las deficiencias minerales son un problema de gran impacto productivo a nivel mundial. En el noroeste argentino la cría extensiva es una de las actividades económicas más importantes y está en franco crecimiento. En esta región los estudios sobre enfermedades carenciales son escasos y parciales. El presente trabajo tiene por objeto describir variaciones a lo largo del año de los niveles séricos de calcio, fósforo, magnesio, cobre y zinc en vacas de cría y sus terneras. En un establecimiento ganadero se seleccionaron 20 vacas y 20 terneras que fueron mantenidos en condiciones de pastoreo y sin suplementación mineral externa. Se efectuaron muestreos de sangre a intervalos de 3 meses durante un año. Las determinaciones de calcio, magnesio, cobre y zinc en plasma se efectuaron por espectrofotometría de absorción atómica y la de fósforo por espectrofotometría uv-visible. Los resultados indican la existencia de hipocupremia severa a moderada tanto en vacas (promedio: $26,6 \pm 13 \mu\text{g/dL}$) como en terneras (promedio: $26,2 \pm 14 \mu\text{g/dL}$) durante todos los períodos muestreados. Además se observaron niveles subnormales de calcio durante los muestreos invernales (junio y septiembre) en ambas categorías. Este trabajo confirma que el cobre puede comportarse como factor limitante en las condiciones evaluadas.

Palabras clave: deficiencias minerales, bovinos, noroeste argentino.

ABSTRACT

Mineral deficiencies are a problem of great productive impact worldwide. In the Argentine Northwest (NOA) extensive breeding is one of the most important economic activities and it is in frank growth. In the NOA, studies on deficiency diseases are scarce and partial. The present work aims to describe throughout the year variations of serum levels of calcium, phosphorus, magnesium, copper and zinc in beef cows and rearing calves. In a farm, 20 cows and 20 weaned heifer calves were selected, which were maintained under grazing conditions without mineral supplementation. Blood samples were taken at intervals of 3 months for one year. Serum levels of calcium, magnesium, copper and zinc were determined by atomic absorption spectrophotometry and phosphorus by UV-visible spectrophotometry. The results indicate the existence of severe or moderate hypocupremia in the calves (average= $26.6 \pm 13 \mu\text{g/dl}$) and cows (average= $26.2 \pm 14 \mu\text{g/dl}$) during all sampled periods. Subnormal levels of calcium were observed during the winter (June and September) in both groups. This work confirms that copper and calcium can behave as limiting factors in the evaluated conditions.

Keywords: Mineral deficiency, beef cattle, northwest Argentina.

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Centro de Investigaciones Agropecuarias (CIAP), Instituto de Investigación Animal del Chaco Semiárido (IIACS), Área de Investigación en Salud Animal (AISA), Salta, Ruta Nacional 68, km 72, Salta, Argentina. Correo electrónico: micheloud.juan@inta.gov.ar

²Universidad Católica de Salta (UCASAL), Facultad de Ciencias Agrarias y Veterinarias.

³Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Salta, Grupo de Producción Animal.

⁴Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), La Estanzuela, Colonia, Uruguay.

⁵Universidad Nacional de La Plata (UNLP), Facultad de Ciencias Veterinarias, Laboratorio de Nutrición Mineral.

INTRODUCCIÓN

La producción de carne bovina en el noroeste argentino (NOA) es una de las actividades más relevantes y ha cobrado aún más importancia con el desplazamiento de la ganadería hacia el norte presionada por la agricultura en el centro del país (Rearte, 2011). Actualmente, el stock ganadero nacional se elevó sustancialmente (53.400.000 cabezas) producto de un fuerte incremento del número de cabezas observado en esta región (SENASA, 2017).

En el NOA, la mayor parte de la producción ganadera se ubica en la región chaqueña semiárida y se desarrolla de forma extensiva siendo la principal fuente de alimentos, pastizales naturales y pasturas megatérmicas perennes implantadas (Barbera y Chavez, 2010). Estos sistemas, de base pastoril, suelen ser afectados por deficiencias minerales que comprometen la productividad de los rodeos debido a las variaciones estacionales que ocurren en los forrajes (McDowell, 1985; Cunha y McDowell, 2012).

Es bien conocido el impacto que tienen los desequilibrios minerales sobre el ganado; y se clasifica a estas carencias en "primarias", cuando es insuficiente la cantidad disponible en la dieta, y "secundarias" o "condicionadas", cuando ocurre por interacción o interferencia de otros elementos presentes en el alimento, que impiden la correcta absorción del mineral en cuestión (Suttle, 2010). En las "formas secundarias o condicionadas" los niveles de un mineral pueden ser correctos en la dieta, pero la interacción con uno o varios factores dietarios pueden reducir su biodisponibilidad y causar problemas. Por este motivo la interpretación de los niveles minerales en el forraje y el agua puede no ser del todo certera si no se hace teniendo en cuenta todos estos múltiples aspectos al momento del diagnóstico. Así, un correcto estudio de las carencias minerales requiere la medición del estatus mineral en los animales para tener un panorama más claro sobre las posibles carencias de un rodeo (Suttle, 2010; Mufarrije, 1999).

Al igual que ocurre con otras enfermedades, durante las etapas iniciales de las carencias minerales, existen algunas limitaciones para el diagnóstico en bovinos (Suttle, 2010); sin embargo la evaluación de los niveles sanguíneos en el rodeo de forma seriada es una alternativa viable y de gran importancia para aproximarse a estas problemáticas tal como lo muestran trabajos previos (Martinez *et al.*, 2018; Micheloud *et al.*, 2017; Wagemann *et al.*, 2014; Ramírez *et al.*, 1998). Adicionalmente los niveles séricos obtenidos pueden clasificarse en rangos de normalidad, marginalidad o deficiencia, y pueden asociarse a pérdidas productivas o problemas sanitarios en el ganado (Enjalbert *et al.*, 2006; Mattioli, 2013).

Pese a que se reconoce la limitante que significan los minerales para la producción ganadera, poco se sabe sobre estos trastornos en la región del NOA y solo se disponen de limitados trabajos al respecto (Micheloud *et al.*, 2017). En este contexto el objetivo del presente trabajo fue evaluar los niveles séricos de calcio, fósforo, magnesio, cobre y zinc en hembras adultas y terneras, durante un año, en un establecimiento ganadero localizado en la región del

Chaco semiárido y así obtener información sobre algunos desequilibrios que puedan ocurrir con estos minerales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se evaluaron vacas de 1.º parto y terneras de raza Braford de un establecimiento agroganadero ubicado en la localidad de Lajitas, departamento Anta, al centro-oeste de la provincia de Salta (24° 57' S, 63° 74' O). El establecimiento evaluado se encuentra ubicado en la ecorregión del Chaco semiárido. Esta zona es una extensa llanura ubicada en el sector oriental de la provincia de Salta, y sus actividades predominantes son la ganadería y la extracción forestal para postes, leña y carbón (Píccolo *et al.*, 2008). La vegetación está representada por el dominio chaqueño, siendo las precipitaciones inferiores a los 550 mm e insuficientes para reponer el agua del suelo, lo que impide la agricultura en seco. Las temperaturas máximas extremas son las más altas del subcontinente (48,9 °C) (Karlin *et al.*, 1994). Durante el periodo de estudio la alimentación fue a base de *Megathyrus maximus* (var Tanzania) con suplementación según la disponibilidad de oferta forrajera.

Por un lado, el pastoreo era manejado en relación con la disponibilidad de forraje según la estación, donde en el caso de las vacas se usaban cargas moderadas (3 vacas/ha) y durante invierno se las suplementó con silo de maíz. Por otro lado, las terneras pastorearon la misma especie megatérmica con suplemento de maíz molido, expeller de soja y afrechillo de trigo, siendo la carga animal en este caso de 0,3 terneras por ha. El manejo reproductivo se basa en concentrar los partos en septiembre y octubre para efectuar el destete en abril. El agua de bebida estuvo constituida por agua de lluvia retenida en represas. Lamentablemente no existe información sobre las propiedades de estas fuentes que pudieran influir en el estatus mineral del ganado.

Se realizaron 5 muestreos de sangre a lo largo de un año (15-03-16; 15-06-16; 15-09-16; 15-12-16 y 15-03-17). Se seleccionaron del rodeo 20 vacas de primer parto y 20 terneras de las destetadas en abril. Vacas y terneras fueron identificadas y mantenidas sin ningún tipo de suplementación mineral durante el ensayo. Las vacas al primer muestreo se hallaban con las terneras y en su tercer mes de gestación. El destete se llevó a cabo en abril y los partos ocurrieron de octubre a noviembre del mismo año.

Las muestras fueron colectadas por punción yugular y centrifugadas para la obtención de suero libre de hemólisis. Posteriormente se realizó la determinación de Ca, Mg, Cu y Zn por espectrofotometría de absorción atómica de llama (Perkin Elmer AAnalyst 200), y las determinaciones de P mediante espectrofotometría UV-visible (Perkin Elmer-Lambda25), según indicaciones del fabricante.

En cada fecha los niveles de Ca, P, Mg, Cu y Zn se compararon entre categorías y fechas de muestreo usando ANOVA y empleando DGC como contraste de medias. Se utilizó con tal fin el programa InfoStat. Los valores de referencia empleados son los mencionados por Underwood y Suttle (2003) para bovinos. En el caso del cobre, los resul-

tados fueron clasificados en normocupremicos (>59 µg/dL), hipocupremicos moderados (entre 59 y 30 µg/dL) o hipocupremicos severos (<29 µg/dL) según lo establecido por Ramírez *et al.* (1998).

RESULTADOS

Los resultados obtenidos en vacas se presentan en la tabla 1. En esta categoría las diferencias entre periodos fueron significativas ($p < 0,001$) para Ca, P y Cu. Los valores medios de Ca descendieron por debajo de los límites de referencia en los muestreos de junio y septiembre. Los niveles séricos de P fueron marginales solo en el muestreo de marzo. Los valores medios de cupremia fueron inferiores al límite de normalidad de 60 µg/dL en todos los muestreos. Asimismo, entre el 20 y el 100 de estas presentaron hipocupremia severa (menos de 30 µg/dL) (figura 1).

Los resultados en las terneras se exponen en la tabla 2. Esta categoría mostró valores de cobre más bajos ($p < 0,05$) que las vacas en todos los muestreos. Los valores medios fueron marginales para el Ca en el muestreo de septiembre, y lo propio ocurrió con los niveles de P en el muestreo de marzo. Los niveles de Mg y Zn fueron adecuados en terneras, mientras que sus niveles medios de Cu fueron indicativos de carencia moderada a severa, y al igual que en vacas con elevado porcentaje de animales con carencia severa se asocia a fallas productivas (figura 1).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las hipocalcemias fueron moderadas y las más bajas coincidieron con la época de partos (septiembre). La elevada demanda de Ca por el calostro (2 g/L) y luego la leche (1,2 g/L) podrían ser las responsables (Kume y Tanabe, 1993). En sistemas de cría la presentación clínica de la hipocalcemia es infrecuente, y tiene como principal condicionante las magnesemias menores a 1,7 mg/dL (Goff, 2000; 2017). Esto se debería a que el mecanismo de regulación homeostática de Ca depende de la activación renal de la vitamina D por estimulación de la PTH, y este mecanismo es dependiente de Mg (Swaminathan, 2003). Afortunada-

mente los niveles de Mg fueron adecuados durante todo el año en el presente ensayo, minimizando este riesgo.

El descenso en los niveles de P en vacas durante el muestreo de marzo coincide con que se encontraban preñadas y amamantando. La lactancia representa el momento de mayor demanda de P, debido a que la leche posee una concentración de alrededor de 0,9 g/L (Spiekers *et al.*, 1993). El mismo comportamiento se registró en las terneras de 4 meses de edad, y que coincide con los altos requerimientos de crecimiento (NRC, 2000). Esta deficiencia ha sido muy estudiada en la región mesopotámica, donde genera un gran impacto productivo (Mufarrege, 2004). En esta zona las fosfatemias se han asociado al crecimiento de los animales, con mantenimiento del peso con fosfatemias de 1,2 mg/dL y ascensos progresivos de ganancias de peso hasta fosfatemias de 7,2 mg/dL (Mufarrege, 1999). En el NOA los antecedentes son escasos, aunque en un informe INTA-FAO (1981) se mencionan valores bajos de P sérico en ausencia de evidencias clínicas en rodeos de Salta y Tucumán. Mas actualmente, un trabajo donde se efectuaron seguimientos en los niveles minerales en vacas y terneras en pastoreo en la región de selva y pastizal pedemontano detectó niveles de P sérico bajos en los meses de verano (Micheloud *et al.*, 2017). En sistemas pastoriles con aporte insuficiente de P (0,1% sobre base seca) se reduce el consumo de materia seca, la producción lechera y la eficiencia reproductiva en vacas, además de reducirse el crecimiento de los terneros (Dixon *et al.*, 2017; Anderson *et al.*, 2017). Si la situación persiste se desarrolla un cuadro clínico consuntivo (Shupe *et al.*, 1988). Cuando la carencia ocurre durante el periodo de crecimiento de forrajes de verano, como en el presente ensayo, las vacas adultas podrían movilizar hueso para sobreponerse a la mayor demanda de P de la lactancia, evitando consecuencias productivas graves (Dixon *et al.*, 2017).

Por un lado, los niveles de Cu fueron indicativos de carencia en ambas categorías. Valores similares fueron hallados en trabajos recientes (Suárez *et al.*, 2018), pero contrastan con un relevamiento sobre 10 rodeos en Salta donde hallaron valores normales (Saravia *et al.*, 2015). Teniendo en cuenta que el 80% de las vacas presentaban hipocupremia severa (< 30 µg/dL) al momento del servicio (muestreo de

Fecha de muestreo	Ca (mg/dL)	P (mg/dL)	Mg (mg/dL)	Cu (µg/dL)	Zn (µg/dL)
mar-16	9,06 ± 1,12 a	3,3 ± 0,57 a	2,25 ± 0,2 a	27 ± 17 a	79 ± 24 a
jun-16	7,9 ± 0,74 b	4,9 ± 0,55 b	2,2 ± 0,2 a	28 ± 11 a	115 ± 14 b
sep-16	7,42 ± 0,8 b	5,26 ± 0,64 b	2,2 ± 0,2 a	36 ± 11 b	91 ± 15 c
dic-16	8,31 ± 1,2 a	4,97 ± 0,80 b	2,0 ± 0,3 b	22 ± 6 a	99 ± 18 c
mar-17	8,45 ± 0,75 a	5,16 ± 0,88 b	2,0 ± 0,1 b	17 ± 5 a	132 ± 27 d
Promedio	8,22 ± 0,6	4,71 ± 0,6	2,13 ± 0,12	26 ± 7	103,2 ± 20

Tabla 1. Concentraciones minerales (valor promedio ± desvío estándar) en vacas por muestreo. Las letras distintas indican diferencias significativas entre los distintos periodos ($p < 0,05$).

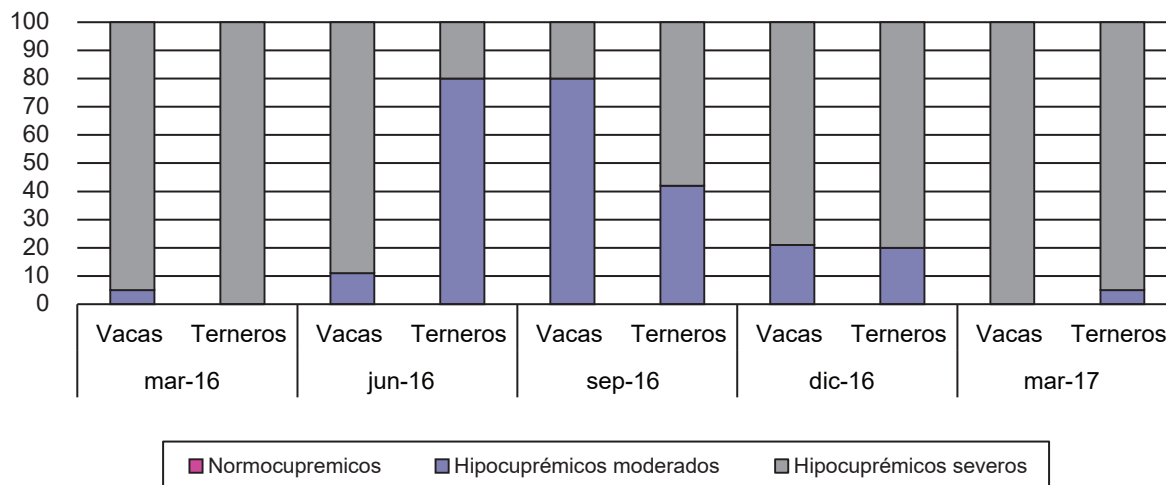


Figura 1. Distribución porcentual de cupremias en rangos para cada categoría y muestreo. Normocupremia (> 60 µg/dL), hipocupremia moderada (30-60 µg/dL) e hipocupremia severa (< 30 µg/dL) (Ramírez et al., 1998).

diciembre), el riesgo de menor fertilidad resulta elevado. En este sentido, en vacas Holstein obesas con hipocupremia moderada (entre 30 y 60 µg/dL) y niveles normales de Zn (entre 160 y 260 µg/dL), la aplicación parenteral de Cu y Zn elevó un 33% el porcentaje de preñez (González-Maldonado et al., 2017). Por otro lado, niveles de carencia moderada durante la maduración *in vitro* de ovocitos bovinos reducen la cantidad de embriones obtenidos (Picco et al., 2012). El efecto del Cu sobre la fertilidad se asocia a su participación en enzimas con capacidad antioxidante, como Cu-Zn SOD, ceruloplasmina y citocromo-c-oxidasa (Kleczkowski et al., 2004; Uriu-Adams y Keen, 2005). En embriones Cu deficientes aumenta la generación y persistencia de especies reactivas (Hawk et al., 2003), por lo que el daño oxidativo es el que genera el condicionante de la maduración del ovocito, su fertilización y la supervivencia embrionaria (Agarwal et al., 2005; Lu et al., 2018). La situación en las terneras es igualmente grave, ya que con cupremias menores a 30 µg/dL se generan menores ganancias de peso (Fazzio et al., 2010). En ambas categorías la

deficiencia de Cu se asocia con fallas inmunitarias (Kegley et al., 2016; Mattioli et al., 2018). Finalmente, bajos niveles de cupremia en terneros se asociaron a mayor carga parasitaria en dos rodeos de la provincia de Salta (Suárez et al., 2018). Considerados en conjunto, el riesgo de pérdidas productivas por el estatus de Cu en estos rodeos es elevado. Lamentablemente, en este estudio, no se determinaron los niveles de molibdeno (Mo), azufre (S), hierro (Fe) en la dieta de los animales por lo que no se puede determinar con exactitud el origen de dicha carencia.

Sin embargo, las variaciones observadas en las cupremias parecen responder a aspectos fisiológicos conocidos. Las vacas presentaron hipocupremia severa en tres periodos y solo ascendieron a niveles de hipocupremia moderada en el muestreo de septiembre, que coincidió con los partos. Esto podría deberse a que durante la gestación existe una transferencia de Cu desde la madre al feto para asegurarle una reserva hepática de Cu a su cría al nacimiento (Rosa y Mattioli, 2002). Esto es una adaptación fisiológica debido a que la leche es una fuente carente de

Fecha de muestreo	Edad al momento del muestreo (meses)	Ca (mg/dL)	P (mg/dL)	Mg (mg/dL)	Cu (µg/dL)	Zn (µg/dL)
mar-16	4	10,3±0,55a	2,5 ±0,4a	2,2 ± 0,2a	16±5,3a	135±25a
jun-16	6,5	8,1±0,53a	5,11±0,4b	2,1 ± 0,3a	38±12b	112±18b
sep-16	10	7,8±0,57b	5,75±0,6c	1,97± 0,3a	36,8±16b	95±57c
mic-16	12	8,71±1,2b	4,93±0,6b	2,05±0,25a	22 ±10a	123±32b
mar-17	15	8,26±1,8a	4,31±0,6d	2,02±0,30a	19±06a	133±16a
Promedio:		8,63±0,9	4,52±1,2	2,06±0,08	26±10	119,6±16,5

Tabla 2. Concentraciones minerales (valor promedio ± desvío estándar) en terneras por muestreo. Las letras distintas indican diferencias significativas entre los distintos periodos (p<0,05).

Cu, insuficiente para cubrir los requerimientos de su cría (Suttle, 2010). Por esta razón los requerimientos de Cu en vacas son más elevados en gestación que en lactancia, y posiblemente expliquen la elevación de las cupremias en el muestreo de primavera. En las terneras, las cupremias fueron más bajas en primavera y verano, coincidiendo con la mayor oferta de alimento. En nutrición mineral es frecuente observar que las carencias se esperan solo en momentos de bajo aporte, sin recordar que es igualmente grave un aumento en los requerimientos. Este es el caso de bovinos con alta capacidad genética, que reciben suficiente alimento como para expresar su potencial, aumentando su crecimiento y por ende también los requerimientos de cada elemento, siendo los deficitarios en la dieta los primeros en ponerse en evidencia, como ocurrió con el Cu en los muestreos de primavera y verano. En los restantes muestreos la alimentación se basó en suplementaciones de subsistencia, que al bajar los requerimientos permiten que mejore el estatus de Cu y por ende los niveles séricos de Cu.

La carencia de Mg es de gran importancia en la región central de Argentina, donde la tetania hipomagnesémica es la principal causa de muerte en vacas (Cseh y Crenovich, 1996). En esta zona la carencia se presenta asociada al rebrote de forraje de inicios de primavera y es generada por bajos niveles de Mg junto con elevados niveles de nitrógeno y de potasio (K) en el forraje (Cseh, 1994). En Salta se realizan intensas fertilizaciones con K para producir tabaco, por lo cual en explotaciones conjuntas con lechería este K podría ser un factor de interferencia para el Mg y el Ca (Martens y Schweigel, 2000; Schonewille *et al.*, 2008). En un trabajo reciente sobre explotaciones de doble propósito (tabaco-lechería) en Salta ya se evidenció el efecto de las fertilizaciones con K sobre las calcemias, y si bien no hubo efecto sobre magnesemias, esto sigue siendo un riesgo potencial en este tipo de explotaciones (Martínez *et al.*, 2018).

Otro elemento bajo estudio fue el Zn. Este es un microelemento esencial para la salud del bovino; su carencia genera problemas sanitarios asociados a fallas inmunitarias, reproductivas, de crecimiento y de integridad de la piel y pezuñas (Rosa *et al.*, 2008). En la bibliografía se considera que niveles séricos de Zn por debajo de 90 µg/dl son deficitarios (Suttle, 2010). En este trabajo tanto vacas como vaquillonas evidenciaron niveles normales para este micromineral.

Este estudio muestra la presencia temporal de niveles subnormales de P y Ca. Sin embargo la carencia más severa fue la de Cu ya que ambas categorías, y durante todos los periodos, presentaron cupremias muy inferiores a las recomendadas. Estos niveles alertan sobre su riesgo productivo y serían necesarios más estudios para reconocer las posibles consecuencias y posibilidades de su control preventivo.

AGRADECIMIENTOS

Al ingeniero agrónomo Mariano Rojo, a la empresa Los Reales S. A., al veterinario asesor y al personal del establecimiento que contribuyó a que este trabajo fuera posible.

BIBLIOGRAFÍA

- AGARWAL, A.; GUPTA, S.; SHARMA, R.K. 2005. Role of oxidative stress in female reproduction. *Reprod Biol Endocrinol* 14, 3:28.
- ANDERSON, S.T.; KIDD, L.J.; BENVENUTTI, M.A.; FLETCHER, M.T.; DIXON, R.M. 2017. New candidate markers of phosphorus status in beef breeder cows. *Anim Prod Sci* 57, 2291-2303.
- BARBERA, M.; CHAVEZ, D. 2010. Informe Técnico: Sistemas de Producción del Chaco Semiárido con Ganadería y Forestales. (Disponible: <http://eprints.natura.unsa.edu.ar/id/eprint/7> verificado: 22 de octubre de 2019).
- CSEH, S.B.; CRENOVICH, H. 1996. Hipomagnesemia en el sudeste de la provincia de Buenos Aires. *Arch Med Vet* 28, 111-116.
- CSEH, S. 1994. Hipomagnesemia en vaca de cría en la Cuenca del Salado. VII Congreso Arg. de Ciencias Veterinarias. Bs. As. 1-17 pp.
- DIXON, R.M.; KIDD, L.J.; COATES, D.B.; ANDERSON, S.T.; BENVENUTTI, M.A.; FLETCHER, M.T.; MCNEILL, D.M. 2017. Utilising mobilisation of body reserves to improve the management of phosphorus nutrition of breeder cows. *Anim Prod Sci* 57: 2280-2290.
- FAZZIO, L.E.; MATTIOLI, G.A.; PICCO, S.J.; ROSA, D.E.; MINATEL, L.; GIMENO, E.J. 2010. Diagnostic value of copper parameters to predict growth of suckling calves grazing native range in Argentina. *Pesqui Vet Bras* 10, 827-832.
- GOFF, J.P. 2017. Mineral absorption mechanisms, mineral interactions that affect acid-base and antioxidant status, and diet considerations to improve mineral status. *J Dairy Sci* 101, 2763-2813.
- GOFF, J.P. 2014. Calcium and Magnesium Disorders. *Vet Clin Food Anim* 30, 359-381.
- GONZÁLEZ-MALDONADO, J.; RANGEL-SANTOS, R.; RODRÍGUEZ-DE LARA, R.; GARCÍA-PEÑA, O. Effect of injectable trace mineral complex supplementation on development of ovarian structures and serum copper and zinc concentrations in over-conditioned Holstein cows. *Anim Reprod Sci* 181, 57-62.
- HAWK, S.N.; LANOUE, L.; KEEN, C.L.; KWIK-URIBE, C.L.; RUCKER, R.B.; URIU-ADAMS, J.Y. 2003. Copper-deficient rat embryos are characterized by low superoxide dismutase activity and elevated superoxide anions. *Biol Reprod.* 68 (3), 896-903.
- INFORME PROYECTO INTA-FAO N.º (75/023). 1981. Sanidad Animal en el NOA: Informe Final. 36-38 pp.
- KARLIN, U.O.T.; CATALÁN L.A.; COIRINI, R.O. 1994. La Naturaleza y el Hombre en el Chaco Seco. Salta, Proyecto GTZ Desarrollo Agroforestal en Comunidades rurales del Noroeste Argentino.
- KEGLEY, E.B.; BALL, J.J.; BECK, P.A. 2016. Impact of mineral and vitamin status on beef cattle immune function and health. *J Anim Sci.* 94 (12), 5401-5413.
- KLECZKOWSKI, M.; KLUCIŃSKI, W.; SIKORA, J.; ZDANOWICZ, M. 2004. Role of antioxidants in the protection against oxidative stress in cattle—trace elements and enzymatic mechanisms (Part 3). *Pol J Vet Sci.* 7(3), 233-40.
- KUME, S.; TANABE, S. 1993. Effect of parity on colostral mineral concentrations of Holstein cows and value of colostrum as a mineral source for newborn calves. *J Dairy Sci.* 76 (6), 1654-1660.
- LU, Z.; STUMPF, F.; DEINER, C.; ROSENDAHL, J.; BRAUN, H.; ABDOUN, K.; ASCHENBACH, J.R.; MARTENS, H. 2014. Modulation of sheep ruminal urea transport by ammonia and pH. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.* 307(5), 558-570.
- MCDOWELL, L.R.; KIATOKO, M.; LANG, C.E.; FONSECA, H.A.; VARGAS, E.; LOOSLI, J.K.; CONRAD, J.H. 1980. Latin American mineral research-Costa Rica. En: VERDE, L.S.; FERNANDEZ, A. (Eds.). Fourth world conference on animal production. Bs As, Argentina. 39-47 pp.

- MARTENS, H.; SCHWEIGEL, M. 2000. Pathophysiology of grass tetany and other hypomagnesemias. Implications for clinical management. *Vet Clin North Am Food Anim Pract.* 16 (2), 339-68.
- MARTINEZ, G.M.; MICHELOUD, J.F.; SUAREZ, V.H.; ROSA, D.E.; MATTIOLI, G.A. 2018. Mineral Profile of Grazing Dairy Cows Feeding in Tobacco or Dairy Farms in the North western of Argentina. *Dairy and Vet Sci J.* 6 (2). <https://doi.org/10.19080/JDVS.2018.06.555684>
- MATTIOLI, G.A.; ROSA, D.E.; TURIC, E.; TESTA, J.A.; LIZARRAGA, R.M.; FAZZIO, L.M. 2018. Effect of Injectable Copper and Zinc Supplementation on Weight, Hematological Parameters, and Immune Response in Pre-weaning Beef Calves. *Biological Trace Element Research.* <https://doi.org/10.1007/s12011-018-1493-9>
- MICHELOUD, J.F.; SUÁREZ, V.H.; MARTÍNEZ, G.M.; ROSA, D.E.; VENTURA, M.B.; MATTIOLI, G.A. 2017. Niveles séricos de minerales en hembras de cría bovina en un establecimiento de la región de selva y pastizal pedemontano del norte de Salta. *Revista FAVE, Sección Cs, Vet.* 16: 97-100
- MUFARREGE, D.J. 1999. Los minerales en la alimentación de vacunos para carne en la Argentina. Trabajo de divulgación técnica INTA, Mercedes, Corrientes. Argentina.
- MUFARREGE, D.M. 2004. El fósforo en los pastizales de la región NEA. *Noticias y Comentarios N.º 388.* EEA Mercedes, INTA. Corrientes, Argentina.
- NRC. 2000. National Research Council. *Nutrient Requirements of Beef Cattle.* 7th ed. National Academy Press, Washington D.C., EUA.
- PICCO, S.J.; ROSA, D.E.; ANCHORDOQUY, J.P.; ANCHORDOQUY, J.M.; SEOANEA, A.; MATTIOLI, G.A.; FURNUS, C.C. 2012. Effect of copper sulphate concentration during in vitro maturation of bovine oocytes. *Theriogenology.* 77(2), 373-81.
- PÍCCOLO, A.; GIORGETTI, M.; CHAVEZ, D. 2008. Zonas Agro-económicas Homogéneas Salta-Jujuy. Estudios socioeconómicos de la sustentabilidad de los sistemas de producción, N.º 7. Ediciones INTA.
- RAMÍREZ, C.E.; MATTIOLI, G.A.; TITTARELLI, C.M.; GIULIODORI, M.J.; YANO, H. 1998. Cattle hypocuprosis in Argentina associated with periodically flooded soils. *Livest Prod Sci.* 55, 47-52.
- ROSA, D.E.; MATTIOLI, G.A. 2002. Metabolismo y deficiencia de cobre en los bovinos. *Analecta Vet.* 22, 7-16.
- ROSA, D.E.; FAZZIO, L.E.; PICCO, S.J.; FURNUS, C.C.; MATTIOLI, G.A. 2008. Metabolismo y deficiencia de zinc en bovinos. *Analecta Vet.* 28, 34-44.
- SARAVIA F.C.; MARTÍNEZ, M.V.; ÁVILA, G.N. 2015. Relevamiento de la cupremia en rodeos de cría bovina del chaco semiárido salteño (Argentina). *Rev vet.* 26, 59-62.
- SCHONEWILLE, J.T.; EVERTS, H.; JITTAKHOT, S.; BEYNEN, A.C. 2008. Quantitative prediction of magnesium absorption in dairy cows. *J Dairy Sci.* 91 (1), 271-278.
- SENASA 2017. Dirección de Control de Gestión y Programas Especiales.
- SHUPE, J.L.; BUTCHER, J.E.; CALL, J.W.; OLSON, A.E.; BLAKE, J.T. 1988. Clinical signs and bone changes associated with phosphorus deficiency in beef cattle. *Am J Vet Res.* 49 (9):1629-36.
- SPIEKERS, H.; BINTRUP, R.; BALMELLI, M.; PFEFFER, E. 1993. Influence of dry matter intake on faecal phosphorus losses in dairy cows fed rations low in phosphorus. *J Anim Physiol Anim Nutr.* 69, 37-43.
- SUÁREZ, V.H.; MICHELOUD, J.F.; ARAOZ, V.; MARTÍNEZ, G.M.; ROSA, D.E.; MATTIOLI, G.A. 2018. Effect of gastrointestinal nematodes on serum copper and phosphorus of growing beef calves in northwestern Argentina. *Trop Anim Health Prod.* <https://doi.org/10.1007/s11250-018-1729-x>
- SUTTLE, N.F. 2010. *The mineral nutrition of livestock.* CABI Publishing. 4 th Edition. Wallingford, Reino Unido.
- UNDERWOOD, E.J., SUTTLE, N.F. 2003. *Los Minerales en la Nutrición del Ganado.* Editorial Acirbia. Zaragoza. España.
- SWAMINATHAN, R. 2003. Magnesium Metabolism and its Disorders. *Clin Biochem Rev.* 24: 47-66.
- URIU-ADAMS, J.Y.; KEEN, C.L. 2005. Copper, oxidative stress, and human health. *Mol Aspects Med.* 26:268-98.
- WAGEMANN, C.; WITTWER, F.; CHIHUAILAF, R.; NORO, M. 2014. Estudio retrospectivo de la prevalencia de desbalances minerales en grupos de vacas lecheras en el sur de Chile: a retrospective study. *Arch. Med. Vet.* 46: 363-373.