

NUEVA TECNOLOGÍA PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE LOS MINERALES TRAZA

Spears, Jerry W.*. 2015. AMVEB Laguna 15° Congreso Internacional. Presentado en EXPOLECHE 2015. Patrocinado por Priority IAC, Inc. y Prioridad Lechera SA de CV.
*Professor Emerita, Departamento de Ciencias Animales, North Carolina State University.
www.produccion-animal.com.ar

Volver a: [Minerales](#)

INTRODUCCIÓN

Para el funcionamiento normal de todos los procesos metabólicos de los animales, se requiere de uno o más minerales traza. A pesar de sus bajos requerimientos, deficiencias severas o incluso marginales de minerales traza pueden causar pérdidas económicas sustanciales en la productividad animal.

Los minerales traza suministrados de manera natural en los alimentos utilizados en las dietas de los rumiantes, normalmente son deficientes. Por esta razón, los minerales traza normalmente son suplementados a las dietas para asegurarse que los requerimientos sean cubiertos.

Los requerimientos de minerales traza son ampliamente afectados por su biodisponibilidad en los alimentos y en las fuentes de suplemento. En el presente artículo se discutirá la biodisponibilidad de diferentes fuentes de minerales traza, así como los factores de las dietas que afectan esa biodisponibilidad.

ANTAGONISTAS DE LOS MINERALES TRAZA

A principios de los 50's, Dick, en Australia, describió una potente interacción entre el cobre, el molibdeno y el sulfato (McDowell, 2003). Desde ese entonces, se ha hecho claro que los antagonistas de los minerales pueden afectar de manera importante la absorción y, por lo tanto, los requerimientos de ciertos minerales traza. Un antagonista es un mineral u otra sustancia que reduce la absorción o utilización de otro mineral.

Algunos antagonistas pueden reaccionar con ciertos minerales traza para formar complejos insolubles o complejos que son demasiado grandes para ser absorbidos. También pueden ocurrir interacciones antagónicas entre minerales traza debido a la competencia por un transportador involucrado en la absorción.

AZUFRE

El azufre, a niveles normalmente encontrados en las dietas de los rumiantes (0.200.50%), puede ser un importante antagonista del cobre. En años recientes, la concentración de azufre en las dietas de los rumiantes ha aumentado debido a un incremento en el uso de subproductos como granos secos de destilería con solubles o gluten de maíz, los cuales son altos en azufre. Se cree que el azufre en forma de sulfuro reduce la absorción del cobre debido a la formación de sulfuro de cobre en el intestino, el cual es insoluble (Seattle, 1974).

En el ambiente ruminal, el sulfuro se produce de la reducción de fuentes inorgánicas de azufre y la degradación de aminoácidos sulfurados. El aumentar el azufre de la dieta en forma inorgánica (sulfato) u orgánica (metionina) de un nivel bajo (0.10) a 0.40% redujo la biodisponibilidad del cobre en borregos en 30 a 56% (Seattle, 1974).

Aunque es más probable que el azufre sea de importancia práctica en el ganado al que se le ofrecen dietas marginales en cobre, altas cantidades de azufre reducen el almacenamiento de cobre en el hígado en ganado suplementado con concentraciones normales de cobre (Spears et al., 2011).

MOLIBDENO-AZUFRE-COBRE

En los rumiantes ocurre una interacción triple muy importante entre el molibdeno, el azufre y el cobre. Esta interacción puede ocurrir con concentraciones de molibdeno y azufre que normalmente ocurren de manera natural en los ingredientes, y esta compleja interacción se centra alrededor de la formación de ti molibdatos (mono, di, tris y tetra molibdatos) en el rumen (Gooneratne et al., 1989).

Los ti molibdatos están formados de un molibdato que reacciona con un sulfuro, producido durante la fermentación ruminal. Los ti molibdatos asociados con la digesta ruminal sólida (bacterias, protozoarios y partículas no digeridas de alimento) forman complejos insolubles con el cobre que no liberan el cobre incluso bajo condiciones ácidas (Allen y Gawthorne, 1987).

Además de reducir la absorción del cobre, ciertos tiomolibdatos pueden absorberse y producir efectos sistémicos en el metabolismo del cobre como un aumento en la excreción del cobre de la bilis de las reservas hepáticas y la remoción de cobre de enzimas que lo contienen (Suttle, 1991).

Cuando el azufre de la dieta es bajo (0.10%), el molibdeno tienen muy poco o nulo efecto en la biodisponibilidad del cobre (Suttle, 1975). Sin embargo, la adición de 0.30% de azufre y 4 mg de molibdeno por Kg de dieta a una dieta basal que contenga 0.10% de azufre y 0.50 mg de molibdeno por Kg de la dieta redujo la biodisponibilidad del cobre en 40 a 70% en borregos (Suttle, 1975).

HIERRO

Es común que las dietas de los rumiantes tengan excedentes de 5 veces o más en los requerimientos de hierro. Los heno y el ensilado son altos en hierro de una manera variable, pero pueden exceder 1,000 mg Fe/Kg. Muchos subproductos también son muy altos en hierro. El uso de suplementos de fosfato aumenta de manera importante el hierro en la dieta, ya que los fosfatos monocálcicos y dicálcicos comerciales contienen aproximadamente 10,000 mg Fe/Kg.

El ganado en pastoreo puede estar expuesto a altas cantidades de hierro por medio del forraje y/o la ingestión de tierra. Varios estudios han indicado que altas cantidades de hierro en la dieta son antagonistas del cobre. La adición de altas cantidades de hierro (250 - 1,000 mg Fe/Kg) a partir de carbonato ferroso (Bremner et al., 1987) o sulfato ferroso (Mullis et al., 2003) a las dietas del ganado reduce de manera importante el cobre.

El hierro también es un antagonista del manganeso. Se ha demostrado que altas cantidades de hierro en la dieta regulan el transportador divalente de metal 1 (DMT1, por sus siglas en inglés), la principal proteína transportadora involucrada en la absorción del hierro por las células intestinales (Hansen et al., 2010).

Aunque el DMT1 está regulado por el hierro, también transporta otros metales incluyendo el manganeso (Miret et al., 2003). Altas cantidades de hierro pueden reducir la absorción de manganeso compitiendo por el DMT1, así como reduciendo la cantidad de proteína transportadora presente en el intestino.

Se sabe poco sobre la biodisponibilidad del hierro presente de forma natural en los ingredientes. Un alto contenido de hierro en la dieta puede que no cause efectos adversos en el desempeño de los animales o en la salud, si ese hierro es de baja biodisponibilidad. Sin embargo, si el hierro presente en la dieta es razonablemente biodisponible, es más probable que se observen efectos adversos debidos al alto contenido de hierro.

Cuando se detectan concentraciones altas de hierro en los forrajes, no está claro qué cantidad de hierro está presente de manera natural en el forraje y cuánto se debe a contaminación por tierra. En la mayoría de los suelos, el hierro es extremadamente alto. El hierro en el suelo generalmente tiene una baja solubilidad y probablemente es mal absorbido por el ganado cuando lo ingiere.

Investigación reciente sugiere que las condiciones ácidas que ocurren durante la fermentación del ensilado o el ensilado de heno aumenta de manera importante la biodisponibilidad del hierro proveniente de contaminación con tierra (Hansen y Spears, 2009).

Las leguminosas también pueden representar una fuente importante de hierro disponible en las dietas de los rumiantes. Se ha demostrado que mucho del hierro en la soya está presente en forma de ferritina. Los estudios han indicado que el hierro en forma de ferritina en la soya se absorbe igual de bien que el sulfato ferroso en los humanos (Lonnerdal et al., 2006).

Si la ferritina es la forma principal de hierro en otras leguminosas como la alfalfa y el trébol, esto podría representar una forma altamente biodisponible de hierro en las dietas de los rumiantes.

MINERALES TRAZA INORGÁNICOS

Los minerales traza inorgánicos (principalmente sulfato y óxidos) son las fuentes más baratas de minerales traza suplementarios y han sido utilizados en las dietas del ganado desde los años 30's. La suplementación de minerales traza inorgánicos ha sido efectiva en la corrección y prevención de la deficiencia de los mismos en el ganado.

Sin embargo, en la presencia de ciertos antagonistas, la biodisponibilidad de las fuentes de minerales traza inorgánicos puede ser baja. Varias fuentes de metales particulares de grado alimenticio (óxidos, sulfatos, etc.) también pueden tener distintos grados de pureza y otros factores que pueden afectar la biodisponibilidad del mineral.

Normalmente se considera que las fuentes de minerales traza de sulfato tienen una mayor biodisponibilidad que las fuentes de óxido (especialmente el óxido de cobre). Se ha demostrado que el óxido de cobre de grado alimenticio tiene muy baja biodisponibilidad cuando se suplementa en las dietas del ganado (Kegley et al., 1994).

Debido a su alta solubilidad en el agua, los minerales traza sulfatos pueden actuar como un agente oxidante en las dietas y los suplementos, lo cual puede resultar en la oxidación de los lípidos y la destrucción de las vitaminas solubles en grasa de dietas y suplementos.

MINERALES TRAZA ORGÁNICOS

Existe considerable interés en el uso de minerales traza orgánicos para mejorar la disponibilidad de los minerales traza en la presencia de antagonistas. Los minerales traza orgánicos son quelados a ligandos (aminoácidos, péptidos o polisacáridos). El uso de fuentes de minerales traza orgánicos para reemplazar por lo menos una porción de los minerales traza inorgánicos suplementarios ha aumentado de manera importante en los últimos veinte años.

En teoría, las ligaduras químicas formadas entre el metal y el o los ligandos debe permitir que los minerales traza orgánicos resistan algunas de las interacciones encontradas por los minerales traza inorgánicos en el lumen intestinal. En algunos estudios se ha observado que las fuentes orgánicas de minerales traza son más biodisponibles en la presencia de antagonistas que las fuentes inorgánicas.

En vaquillas a las que se les ofreció molibdeno y azufre, los cuales son antagonistas del cobre, el cobre del plasma e hígado disminuyó en ganado suplementado con 5 ppm de cobre proveniente de sulfato de cobre (Ward et al., 1996).

La adición de un nivel similar de cobre a partir del proteinato de cobre mantuvo las concentraciones plasmáticas de cobre y resultó en una menor disminución de las concentraciones de cobre hepático durante los 56 días que duró el estudio.

Se encontró que la biodisponibilidad del cobre a partir del glicinato de cobre fue mayor (144 a 157%) que a partir del sulfato de cobre en novillos a los que se les ofreció una dieta basada en ensilado suplementada con 6 ppm de molibdeno y 0.15% de azufre (Hansen et al., 2008).

Liu et al. (2014) compararon recientemente la absorción de sulfato y fuentes de minerales traza orgánicos en cerdos en crecimiento a los que se les ofreció un concentrado de sémola de maíz y harina de soya o una dieta de maíz y harina de soya. La dieta de maíz y harina de soya contenía el doble de fitato (antagonista) que la dieta de sémola de maíz.

La absorción aparente del zinc, el cobre y el manganeso fue más alta en las fuentes orgánicas en los cerdos a los que se les ofreció la dieta de maíz y harina de soya. En los cerdos a los que se les ofreció la dieta baja en fitato (sémola de maíz), sólo la absorción aparente del zinc fue más alta para la fuente orgánica que la fuente de sulfato.

En pollos de engorda la biodisponibilidad del zinc a partir de zinc orgánico fue de 164% en comparación con el sulfato de zinc (100%; Star et al., 2012). En contraste, otros estudios (Wedekind et al., 1994; Revy et al., 2004) no han observado una mayor biodisponibilidad de minerales traza de fuentes orgánicas vs. inorgánicas.

Existen varias fuentes de minerales traza orgánicos disponibles comercialmente. Algunos estudios han comparado las características químicas y la biodisponibilidad relativa de distintas fuentes comerciales disponibles de zinc (Cao et al., 2000; Huang et al., 2009), cobre (Guo et al., 2001) y manganeso (Li et al., 2004; Li et al., 2005). Se encontró que las fuentes orgánicas difieren con respecto a los indicadores químicos de efectividad quelante y solubilidad del zinc en soluciones amortiguadores ("buffers") de pH 2.0 o 5.0 (Cao et al., 2000).

La biodisponibilidad de fuentes de zinc también fue evaluada cuando se suplementó a niveles altos en dietas de pollos y borregos. Los estimados de la disponibilidad de zinc de diferentes fuentes orgánicas en animales no se relacionaron con los estimados del grado de quelación llevados a cabo en laboratorio, pero estuvieron inversamente relacionados con la solubilidad del zinc en un buffer de pH 5.0 en pollos y un buffer de pH 2.0 en borregos (Cao et al., 2000).

De las seis fuentes de zinc orgánicas evaluadas en este estudio, sólo una fuente tuvo una biodisponibilidad más alta que el sulfato de zinc grado reactivo. También se encontró que las fuentes de cobre orgánico difieren en relación con la efectividad de los indicadores químicos de eficiencia de quelación y solubilidad en un buffer de pH 5.0 (Guo et al., 2001).

Sin embargo, las diferencias en la biodisponibilidad cuando se ofrecieron a pollos no fueron evidentes. Li et al. (2004) compararon las características químicas de 12 distintas fuentes de manganeso (cinco complejos manganeso-metionina, dos proteinatos de manganeso y cinco fuentes de manganeso de aminoácidos). Los autores encontraron que la fuerza de quelación (Qf) de las distintas fuentes varió de débil (1.9 Qf) a fuerte (115.4 Qf).

Los complejos de manganeso-metionina y dos de las cinco fuentes de manganeso de aminoácidos tuvieron las menores fuerzas de quelación. Se evaluó la biodisponibilidad de tres de las fuentes orgánicas que tuvieron la mayor variación en la fuerza de quelación (Qf de 3.2, 45.3 y 115.4) en pollos.

La biodisponibilidad de manganeso pareció ser la más alta para la fuente de manganeso orgánico con un fuerza de quelación moderada (45.3) (Li, 2004; Li et al., 2005).

MINERALES TRAZA HIDROXIGENADOS

Los minerales traza hidroxigenados es la categoría más reciente de minerales traza. El cloruro de cobre básico ($\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$) fue introducido en 1995. El hidroxicloruro de zinc ($\text{Zn}_5(\text{OH})_8\text{Cl}_2$) y el hidroxicloruro de manganeso ($\text{Mn}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$) fueron introducidos al mercado en el 2012.

En contraste con los sulfatos, en los que el metal está unido a un sulfato por medio de ligaduras iónicas débiles, los metales en los minerales traza hidroxigenados están unidos de manera covalente a varios grupos hidroxigenados. Las ligaduras en los minerales traza hidroxigenados son similares a las ligaduras covalentes en los minerales traza orgánicos.

Los minerales orgánicos hidroxigenados son relativamente solubles en agua pero se vuelven solubles en condiciones ácidas típicamente encontradas en el abomaso de los rumiantes. La baja solubilidad en agua tiene como resultado que los minerales traza hidroxigenados no sean higroscópicos y que sean menos reactivos en el alimento y en premezclas que los sulfatos, lo cual resulta en una mejor estabilidad de la proteína (Lu et al., 2010) y una menor oxidación de las grasas (Miles et al., 1998).

Muchas de las interacciones entre los minerales traza en los rumiantes ocurren en el ambiente ruminal. Una ventaja de los minerales hidroxigenados es su habilidad de pasar a través del rumen, minimizando las interacciones que normalmente ocurren en el rumen.

Su habilidad de evitar las interacciones en el rumen puede, al menos en parte, explicar la mayor biodisponibilidad de los minerales hidroxigenados en comparación con las fuentes de sulfato que han sido reportadas en el ganado.

La biodisponibilidad del cloruro de cobre básico en relación con el sulfato de cobre fue de 132 a 196% en ganado al que se le ofreció dietas altas en azufre y molibdeno (Spears et al., 2004). Estos autores postularon que la baja solubilidad de cloruro de cobre básico bajo condiciones ácidas débiles encontradas en el rumen previno la formación de complejos estables de cobre en el rumen, aumentando la absorción del cobre en el intestino delgado.

En novillos en crecimiento, la biodisponibilidad de cobre del cloruro de cobre básico fue similar a la del cobre orgánico, en base a concentraciones hepáticas de cobre (Arthington et al., 2003).

El cloruro de cobre básico y la lisina de cobre tuvieron una biodisponibilidad similar cuando se agregaron a dietas de borregos en crecimiento (Cheng et al., 2011). Novillos suplementados con hidroxicloriguro de zinc tuvieron una mejor ($P < 0.01$) absorción aparente (19.8 vs. 9.9%) y retención de zinc (77 vs. 35 mg/día) que novillos a los que se les ofreció sulfato de zinc (Shaeffer, 2006).

Genther y Hansen (2015) recientemente compararon los efectos de niveles de minerales traza y su fuente (sulfatos vs. hidroxigenados) en la fermentación ruminal y en el metabolismo de los minerales en novillos a los que se les colocaron cánulas ruminales.

Los novillos se alimentaron con una dieta control sin suplementos de zinc, cobre y manganeso, o la dieta control suplementada con bajas (30 ppm de zinc, 5 ppm de cobre, 15 ppm manganeso), o altas (120 ppm de zinc, 25 ppm de cobre, 60 ppm manganeso) concentraciones de minerales traza. Después de 10 días de adaptación a la dieta, se insertaron en el rumen bolsas de dacrón conteniendo la dieta control.

Las bolsas se retiraron después de exponerse a las condiciones ruminales durante 6, 12, 24 y 36 horas para determinar la digestión de materia seca. La desaparición in situ de la materia seca fue menor en los novillos suplementados con minerales traza sulfatados en comparación con los novillos que recibieron la dieta control no suplementada con minerales traza. La desaparición de materia seca en novillos alimentados con los minerales traza hidroxigenados no fue diferente a la del tratamiento control.

El día 12 del estudio de obtuvieron muestras de fluido ruminal. Las concentraciones ruminales solubles de cobre y manganeso fueron más bajas en los novillos a los que se les ofrecieron los minerales traza hidroxigenados en comparación con los minerales sulfatados. Esto refleja la baja solubilidad de los minerales traza hidroxigenados bajo condiciones neutrales o ligeramente ácidas.

En un estudio reciente, (Yasui et al., 2014) vacas Holstein multíparas fueron suplementadas con distintas fuentes de zinc, cobre y manganeso durante 21 días antes de la fecha probable de parto y hasta 84 días post-parto. El zinc, el cobre y el manganeso fueron suplementados a partir de: 1) Formas sulfatadas, 2) Una mezcla orgánica de sulfatos (75% de sulfatos y 25% de complejos de minerales traza orgánicos), o 3) Minerales traza hidroxigenados.

La producción de leche fue afectada por una interacción entre el tratamiento y la semana. Las vacas que recibieron los minerales traza hidroxigenados produjeron significativamente más leche en 5 semanas de lactancia.

Durante los 84 días en los que se les ofrecieron a las vacas los minerales traza hidroxigenados, produjeron un promedio de 1.3 Kg más leche que las vacas que recibieron los sulfatos y 0.9 Kg/ día más leche que aquellas suplementadas con la mezcla orgánica de sulfatos. La composición de la leche y el conteo de células somáticas no estuvieron afectados por la fuente de minerales traza. Las variables plasmáticas medidas durante el estudio también sugirieron que las vacas suplementadas con los minerales traza hidroxigenados estuvieron bajo un estrés oxidativo menor que aquellas a las que se les ofrecieron los sulfatos.

REFERENCIAS

- Allen, J.D. y J.W. Gawthorne. (1987). Involvement of the solid phase of rumen digesta in the interaction between copper, molybdenum and sulphur in sheep. *Br. J. Nutr.* 58:265-276.

2. Arthington, J.D., F.M. Pate y J.W. Spears. (2003). Effect of copper source and level on performance and copper status of cattle consuming molasses-based supplements. *J. Anim. Sci.* 81:1357-1362.
3. Bremner, I, W.R. Humphries, M. Phillippo, M.J. Walker y P.C. Morrice. (1987). Iron-induced copper deficiency in calves: dose response relationships and interactions with molybdenum and sulphur. *Anim. Prod.* 45:403-414.
4. Cao, J., P.R. Henry, R. Guo, R.A. Holwerda, J.P. Toth, R.C. Littell, R.D. Miles y C.B. Ammerman. (2000). Chemical characteristics and relative bioavailability of supplemental organic zinc sources for poultry and ruminants. *J. Anim. Sci.* 78:2039-2054.
5. Cheg, J., H. Ma, C. Fan, Z. Zhang, Z. Jia, X. Zhu y L. Wang. (2011). Effects of different copper sources and levels on plasma superoxide dismutase, lipid peroxidation, and copper status of lambs. *Biol. Trace Elem. Res.* 144:570-579.
6. Genter, O.N. y S.L. Hansen. (2015). The effect of trace mineral source and concentration on ruminal digestion and mineral solubility. *J. Dairy Sci.* 98:566-573.
7. Gooneratne, S.R., S.T. Buckley y D.A. Christensen. (1989). Review of copper deficiency and metabolism in ruminants. *Can. J. Anim. Sci.* 69:819-845.
8. Guo, R., P.R. Henry, R.A. Holwerda, J. Cao, R.C. Littell, R.D. Miles y C.B. Ammerman. (2001). Chemical characteristics and relative bioavailability of supplemental organic copper sources for poultry. *J. Anim. Sci.* 79:1132-1141.
9. Hansen, S.L. y J.W. Spears. (2009). Bioaccessibility of iron from soil is increased by silage fermentation. *J. Dairy Sci.* 92:2896-2905.
10. Hansen, S.L., P. Schlegel, L.R. Legleiter, K.E. Lloyd y J.W. Spears. (2008). Bioavailability of copper from copper glycinate in steers fed high dietary sulfur and molybdenum. *J. Anim. Sci.* 86:173-179.
11. Hansen, S.L., M.S. Ashwell, A.J. Moeser, R.S. Fry, M.D. Knutson y J.W. Spears. (2010). High dietary iron reduces transporters involved in iron and manganese metabolism and increases intestinal permeability in calves. *J. Dairy Sci.* 93:656-665.
12. Huang, Y.L., L. Lu, S.F. Li, X.G. Luo y B. Liu. (2009). Relative bioavailabilities of organic zinc sources with different chelation strengths for broilers fed a conventional corn-soybean meal diet. *J. Anim. Sci.* 87:2038-2046.
13. Li, S.F., X.G. Luo, L. Lu, T.D. Crenshaw, Y.Q. Bu, B. Liu, X. Kuang, G.Z. Shao y S.X. Yu. (2005). Bioavailability of organic manganese sources in broilers fed high dietary calcium. *Anim. Feed Sci. Technol.* 123-124:703-715.
14. Liu, Y., Y.L. Ma, J.M. Zhao, M. Vazquez-Anon y H.H. Stein. (2014). Digestibility and retention of zinc, copper, manganese, iron, calcium, and phosphorus in pigs fed diets containing inorganic or organic minerals. *J. Anim. Sci.* 92:3407-3415.
15. Lonnerdal, B., A. Bryant, X. Liu y E.C. Theil. (2006). Iron absorption from soybean ferritin in nonanemic women. *Am. J. Clin. Nutr.* 83:103-107.
16. Lu, L., R.L. Wang, Z.J. Zhang, F.A. Steward, X. Luo y B. Liu. (2010). Effect of dietary supplementation with copper sulfate or tribasic copper chloride on the growth performance, liver copper concentrations of broilers fed in floor pens, and stabilities of vitamin E and phytase in feeds. *Biol. Trace Element Res.* 138:181-189.
17. McDowell, L.R. (2003). *Minerals in Animal and Human Nutrition*. 2nd edition. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
18. Miles, R.D., S.F. O'Keefe, P.R. Henry, C.B. Ammerman y X.G. Luo. (1998). The effect of dietary supplementation with copper sulfate or tribasic copper chloride on broiler performance, relative copper bioavailability, and dietary prooxidant activity. *Poultry Sci.* 77:416-425.
19. Miret, S.R., J. Simpson y A. T. McKie. (2003). Physiology and molecular biology of dietary iron absorption. *Annu. Rev. Nutr.* 23:283-301.
20. Mullis, L.A., J.W. Spears y R.L. McCraw. (2003). Effect of breed (Angus vs. Simmental) and copper and zinc source on mineral status of steers fed high dietary iron. *J. Anim. Sci.* 81:318-322.
21. Revy, P.S., C. Jondreville, J.Y. Dourmad y Y. Nys. (2004). Effect of zinc supplemented as either an organic or an inorganic source and of microbial phytase on zinc and other minerals utilisation by weanling pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 116:93-112.
22. Shaeffer, G.L. (2006). Evaluation of basic zinc chloride as a zinc source for cattle. MS Thesis. North Carolina State University. Raleigh, NC. Spears, J. W., E. B. Kegley, and L. A. Mullis. 2004. Bioavailability of copper from tribasic copper chloride and copper sulfate in growing cattle. *Anim. Feed Sci. Technol.* 116:1-13.
23. Spears, J.W., K.E. Lloyd y R.S. Fry. (2011). Tolerance of cattle to increased dietary sulfur and effect of dietary cation-anion balance. *J. Anim. Sci.* 89:2502-2509.
24. Star, L., J. D. van der Klis, C. Rapp, and T. L. Ward. Bioavailability of organic and inorganic zinc sources in male broilers. *Poult. Sci.* 91:3115-3120.
25. Suttle, N.F. (1974). Effects of organic and inorganic sulphur on the availability of dietary copper in sheep. *Br. J. Nutr.* 32:559-568.
26. Suttle, N.F. (1975). The role of organic sulphur in the copper-molybdenum-S interrelationship in ruminant nutrition. *Br. J. Nutr.* 34:411-420.
27. Suttle, N.F. (1991). The interaction between copper, molybdenum, and sulphur in ruminant nutrition. *Annu. Rev. Nutr.* 11:121-140.
28. Ward, J.D., J.W. Spears y E.B. Kegley. (1996). Bioavailability of copper proteinate and copper carbonate relative to copper sulfate in cattle. *J. Dairy Sci.* 79:127-132.
29. Wedekind, K.J., A.J. Lewis, M.A. Giesemann y P.S. Miller. (1994). Bioavailability of zinc from inorganic and organic sources for pigs fed corn-soybean meal diets. *J. Anim. Sci.* 72:2681-2689.
30. Yasui, T., C.M. Ryan, R.O. Gilbert, K.R. Perryman T.R. Overton. (2014). Effects of hydroxy trace minerals on oxidative metabolism, cytological endometritis, and performance of transition dairy cows. *J. Dairy Sci.* 97:3728-3738.

Volver a: [Minerales](#)