

# Bolos intrarruminales para suplementar minerales traza en rumiantes. Revisión

## Intrarruminal Bolus to Supplement Trace Minerals in Ruminants. Review

José Orlando Jiménez Paez,<sup>1</sup> Maximino Huerta Bravo,<sup>1\*</sup> Raquel López Arellano,<sup>2</sup> Agustín Ruíz Flores<sup>1</sup> y Gabriela Rodríguez Patiño<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Zootecnia. Posgrado en Producción Animal. Km 38.5 Carretera México-Texcoco. Chapingo, Estado de México, México. C.P. 56230.

<sup>2</sup> Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México. Carretera Cuautitlán-Teoloyucan. Km. 2.5, San Sebastián Xhala, Cuautitlán Izcalli, Estado de México, México. C.P. 54714.

\*Autor de correspondencia: maximino\_h@hotmail.com

### Resumen

El objetivo del estudio fue revisar resultados de investigación sobre el uso de bolos intrarruminales con minerales traza en rumiantes. Los minerales traza cumplen diferentes funciones en el organismo de estos animales. En diversas regiones del mundo, las deficiencias de minerales pueden causar grandes pérdidas económicas para los productores, por limitaciones en el desempeño, muerte de los animales o porque la estrategia que se elige para contrarrestar las deficiencias es inapropiada. Existen varios tipos de suplementos, uno de ellos son los bolos intrarruminales de liberación controlada, que son una forma útil de dosificación para rumiantes y que aseguran el suministro de la cantidad necesaria de minerales traza en los animales. Estos bolos les proporcionan dichos minerales por periodos más prolongados que cuando se administran vía parenteral, por lo que se puede proporcionar mayor seguridad en la prevención de deficiencias. Diversos estudios han evalua-

### Abstract

The objective was to review results of research on the use of intraruminal boluses with trace minerals in ruminants. These elements perform different functions in ruminants. Around the world, trace mineral deficiencies could cause large economic losses for producers, by limiting animal performance, death of animals or because the strategy chosen to correct trace mineral deficiencies is inappropriate. There are different types of mineral supplements. One of them is intraruminal boluses of controlled release, which is a useful form to dose for ruminants to make sure the administration of the right amount of trace minerals they need. These boluses provide trace minerals for longer periods than when they administered parenterally, so greater safety could be provided to prevent trace mineral deficiencies. Several studies have evaluated the use of intraruminal boluses as a strategy of mineral supplementation in ruminants. There are different forms,

do la utilización de bolos intrarruminales como estrategia de suplementación de minerales en rumiantes, en diferentes formas, dimensiones, peso y contenido de los bolos. Densidades mayores que  $1.8 \text{ g cm}^{-3}$  aseguran la retención del bolo en el retículo-rumen del animal, lugar donde se aloja el bolo y se liberan lentamente los minerales. En México, en la mayoría de los estudios se han utilizado bolos no comerciales fabricados por la metodología de granulación por fusión, la cual asegura densidades mayores que  $2.0 \text{ g cm}^{-3}$  y una liberación controlada de los minerales por hasta 180 d. Debido al diseño, forma y dimensiones, los bolos intrarruminales representan una oportunidad para suplementar los minerales que se requieren en cantidades pequeñas por los rumiantes, tales como el Se, I y Co.

### *Palabras clave*

Deficiencias, selenio, tecnologías.

dimensions, weight and mineral content of the bolus. Densities greater than  $1.8 \text{ g cm}^{-3}$  help to bolus retention in the reticle-rumen of the animal, where the bolus is retained, and minerals are slowly released. In Mexico, most studies use non-commercial boluses manufactured by the fusion granulation methodology. This technique ensures densities greater than  $2.0 \text{ g cm}^{-3}$  and a controlled release of minerals for up to 180 d. Due to design, shape, and dimensions, the use of intraruminal boluses represents an opportunity to supplement minerals required in low quantities by ruminants, such as Se, I, and Co.

### *Keywords*

deficiencies, selenium, technologies.

## Introducción

Los minerales traza (MT), también conocidos como oligoelementos o microelementos, se encuentran en pequeñas cantidades en el organismo de los rumiantes, frecuentemente menor a  $2 \text{ mg/kg}^{-1}$  (Iqbal *et al.*, 2013) though required in minute quantities (less than  $100 \text{ mg/kg}$  dry matter. A pesar de esto, tienen efectos importantes en parámetros reproductivos, productivos, inmunológicos y sanitarios; además, son parte importante de diferentes enzimas y de estructuras moleculares esenciales para el funcionamiento del metabolismo del ganado (Andrieu, 2008; Hidiroglou, 1979; López, 2012; Overton y Yasui, 2014) cobalt, selenium, manganese, iodine, zinc, and iron.

Las deficiencias de MT en rumiantes son comunes, principalmente en sistemas en pastoreo, debido a que afectan el potencial productivo del ganado (Auldist *et al.*, 2013) alterándolo exponencialmente por diferentes factores, como la mala calidad de los forrajes, dietas y suelos deficientes; además de factores fisiológicos de los animales (Abdullah *et al.*, 2013). Por lo cual, es necesario implementar alguna estrategia de suplementación para contrarrestar los efectos negativos. Existen diferentes formas de suplementación de MT para rumiantes, como son las premezclas minerales, bloques o piedras minerales, bolos intrarruminales (BI) e inyecciones subcutáneas (Arthington *et al.*, 2014; McDowell, 1996).

De acuerdo con Grace y Knowles (2012), la utilización de suplementos que liberen por un tiempo prolongado los MT son una opción viable para los rumiantes, principalmente bajo condiciones de pastoreo; sin embargo, la utilización de este método

de suplementación en animales no es tan común como en humanos y se han desarrollado con un enfoque medicinal, más que con el enfoque de suplementar minerales (Thombre, 2004). En los últimos años, el interés por este tipo de forma de dosificación y su utilización en los animales para suplemento mineral ha ido en incremento debido a las ventajas que representan (Grace y Knowles, 2012; Rathbone y Martinez, 2002).

Los BI de liberación prolongada representan una alternativa confiable para la suplementación de MT en rumiantes, ya que permite satisfacer las necesidades diarias del mineral necesario, constantemente, por un tiempo determinado (Revilla-Vázquez *et al.*, 2008) intraruminal boluses of 3 and 10 g (total weight). En México, existen diferentes estudios con la utilización de BI en rumiantes; sin embargo, los resultados divergen entre sí por múltiples razones, desde la tecnología usada en la fabricación del BI, la cantidad de mineral liberada por día, hasta los resultados en parámetros productivos y reproductivos, los que tienden a mostrar mejoras (Blanco *et al.*, 2000; Steen *et al.*, 2008; Stoebe, *et al.*, 2015). Por lo cual, el presente artículo tiene por objetivo revisar la información disponible sobre el uso de BI como una estrategia de suplementación de MT en rumiantes.

### *Minerales traza en rumiantes*

Los minerales traza, como el cobre (Cu), cobalto (Co), selenio (Se), manganeso (Mg), zinc (Zn), iodo (I) y hierro (Fe), están involucrados en procesos productivos y reproductivos de los rumiantes (Hidiroglou, 1979; López, 2012), y son esenciales en la formación de enzimas y en procesos biológicos y bioquímicos; en consecuencia, permiten mantener en buen estado la salud de los animales (Guyot, 2013; McDowell, 1996; McDowell y Arthington, 2005; Overton y Yasui, 2014; Vázquez *et al.*, 2011). Por ello, de acuerdo con Patiño (2011), es importante considerarlos dentro de las estrategias de alimentación del ganado.

Los niveles óptimos de cada microelemento en los rumiantes están influenciados por diferentes factores fisiológicos, como edad, peso y número de lactancia, entre otros (Abdullah *et al.*, 2013). Existen organismos como el NRC en Estados Unidos, INRA en Francia, ARC en Reino Unido o FEDNA en España, que indican los niveles óptimos de los microminerales para los animales, considerando el estado fisiológico y condiciones en que se encuentran (Overton y Yasui, 2014). Sin embargo, hay poca información sobre los efectos que se puedan generar en combinación de algunos minerales. Es importante mantener en óptimas concentraciones los MT en las raciones, de acuerdo con las recomendaciones para cada rumiante (NRC, 2001), evitando problemas por deficiencia o toxicidad (Hidiroglou, 1979; Iqbal *et al.*, 2013).

Las deficiencias de MT son más comunes en rumiantes en pastoreo, con respecto a los que están en sistemas estabulados, debido a que la calidad de los forrajes que consumen varían (Kawas *et al.*, 2010). En diversos estudios se reportan problemas presentados por deficiencias de MT, con roles específicos en los rumiantes; por ejemplo, son una de las principales causas que repercuten directamente en la disminución de su actividad productiva y reproductiva (Naranjo *et al.*, 2014; Vandamme y Rathbone, 2013), problemas en el sistema inmune, crecimiento y estado de salud (López, 2012).

## *Estrategias de suplementación*

De acuerdo con McDowell (1996), las estrategias de suplementación se dividen en dos tipos: directas e indirectas. Los métodos indirectos de suplementación mineral se enfocan principalmente en aspectos que interactúan con el ganado (suelo, agua y forraje); mientras que los métodos directos se enfocan en la aplicación inmediata en los animales. Por su parte, Grace y Knowles (2012), exponen que los tipos de suplementos directos se pueden subdividir en los que proporcionan eficacia en corto y largo tiempo. Aubel *et al.* (2011) y de Paula Silveira (2017), exponen que el establecer una estrategia correcta de suplementación mineral previene y reduce los efectos negativos que provocan las deficiencias. En este sentido, de acuerdo con Grace y Knowles (2012), se deben considerar las suplementaciones que actúen de forma directa en el problema individual que se tenga en los animales; es decir, elegir una estrategia de suplementación adecuada de acuerdo con la deficiencia existente de minerales, para asegurar su eficacia y con ello reducir costos y tiempo de acción.

Dentro de los suplementos que proveen eficacia a corto plazo se encuentran las inyecciones, productos orales, productos sólidos a libre acceso, suplementos en agua y en alimento; estos últimos tienen composiciones químicas simples cuyo objetivo es proveer los MT que requiere el animal día a día, mientras que los suplementos de eficacia a largo plazo tienen una composición química compleja, que es mantener por tiempo prolongado el efecto de suplementar minerales o fármacos en los animales, dentro de este tipo se encuentran las inyecciones formadoras de depósitos y los BI (Grace y Knowles, 2012).

## *Bolos intrarruminales*

Las formas sólidas de dosificación, mejor conocidas como tabletas, se han utilizado comúnmente en humanos y recientemente en animales, principalmente como una opción para tratar enfermedades. En animales, su uso ha sido en especies menores como perros y gatos (Thombre, 2004), no obstante, recientemente se ha extendido al ganado rumiante para combatir deficiencias minerales y control parasitario con antihelmínticos (Grace y Knowles, 2012; Ramteke *et al.*, 2014). En animales, los BI están diseñados para disolver su principio activo en el retículo-rumen de los rumiantes (Cardinal, 1997).

De acuerdo con Cardinal (1997), existen cinco sistemas de tecnología de liberación con los que pueden ser fabricados los BI (figura 1). Estas tecnologías han sido diseñadas con el objetivo de liberar el principio activo por tiempo prolongado. El sistema que más se utiliza en los estudios, hasta ahora, es el de matriz dispersadora, su fabricación involucra el principio activo (uno o varios minerales traza), fuente lubricante, fuente retardadora y fuente para densificar el bolo (metales sólidos en polvo, resinas o vidrios) que, en conjunto, se les conoce como matriz densificadora del bolo (Cardinal, 1997; Grace y Knowles, 2012; Lopez *et al.*, 2015; Revilla *et al.*, 2008; Thombre, 2004).

La eficacia de liberación de los MT que contienen los BI varía dependiendo del tipo de fabricación y el contenido de cada uno de los elementos de la matriz, debiendo considerarse la cantidad de principio activo, densidad, porosidad, aglomerante, compresión, lubricante y dimensiones del comprimido, este último dependiendo de la especie de rumiante; aunque

también se debe de considerar época del tratamiento y estado fisiológico de los animales (Grace y Knowles, 2012; Gutiérrez *et al.*, 2005; Ramteke *et al.*, 2014; Rosiles *et al.*, 1996).

La densidad es relevante y crucial durante la fabricación de BI para su efectividad, debe tener un peso considerable para evitar la regurgitación. Cardinal (1997) demostró que en densidades mayores a  $1.6 \text{ g/cm}^3$ , la probabilidad de que el bolo sea desechado por el animal es menor y a partir de  $2.2 \text{ g/cm}^3$  la probabilidad de llegar al compartimento retículo-rumen es mayor (cuadro 1). Lo cual concuerda con lo reportado por Ramteke *et al.* (2014), quienes indican que BI con densidades mayores a  $1.5 \text{ g/cm}^3$ , la probabilidad de regurgitación es casi nula. Son pocos los estudios que dan información de la densidad de BI utilizados en los experimentos (Hemingway *et al.*, 1997), lo cual genera un panorama de posibilidades del por qué puede o no funcionar un BI.

Figura 1

Tipos de sistemas de liberación de bolos intrarruminales



Cuadro 1

Número de observaciones a partir de la variación de densidad de bolos y su lugar de retención en el animal

Densidad ( $\text{g/cm}^3$ )	Lugar de retención		
	Retículo/rumen	Rumen	Desechados
1.2	3	54	123
1.4	37	65	48
1.6	130	31	19
1.8	133	47	0
2	178	2	0
2	153	27	0
2.2	180	0	0
2.4	180	0	0

Fuente: Cardinal (1997).

El uso de BI como suplemento mineral en rumiantes está poco documentado, así como las especificaciones técnicas utilizadas para su fabricación (Arthington, 2005). Dentro de las ventajas que presenta el utilizar este tipo de suplemento se encuentra que una sola dosis puede durar hasta 12 meses, dependiendo la cantidad de mineral que contenga. Su administración es sencilla, utilizando un dispositivo denominado *tirabolo* (Ramesteke *et al.*, 2014), el cual se introduce por la cavidad oral del animal hasta llegar a la faringe, en donde se expulsa a partir de un pequeño disparo.

En condiciones no controladas, como en animales en pastoreo, su uso es incierto, debido a que no se tiene asegurado que después de la aplicación hubiese alguna regurgitación o simplemente no haya pasado del tracto digestivo y haya sido desechado, dependiendo esto de las características de fabricación; sin embargo, su implementación en estos sistemas se puede traducir en una opción viable para suplementar el ganado, debido a que, en su mayoría, los BI tienen efectos significativos de seis meses a un año.

En el cuadro 2 se presenta una relación de los estudios donde se han evaluado BI como suplemento de minerales en diferentes especies de rumiantes. De los registros encontrados en México, únicamente se han realizado cuatro estudios *in vivo*.

Cuadro 2

Estudios donde se utiliza bolos intrarruminales como suplemento de minerales

Autor(es)	Año	País	Minerales	Peso del bolo (g)	Especie
Hidiroglou y Proulx	1985	Canadá	Se	30	Bovinos
Deland <i>et al.</i>	1986	Australia	Cu	50	Bovinos
Zervas <i>et al.</i>	1988	Gran Bretaña	Cu, Co y Se	35	Ovinos
Hemingway <i>et al.</i>	1997	Escocia	Cu, Se, Co, I, Mn y Zn	30	Terneras
Blanco <i>et al.</i>	2000	México	Se y Cu	10	Ovinos
Kendall <i>et al.</i>	2000	USA	Zn, Co y Se	33	Ovinos
Hayashida <i>et al.</i>	2003	Filipinas	Cu, Co y Se	16	Caprinos
Arthington	2005	USA	Cu	S/I	Bovinos para carne
Gutiérrez <i>et al.</i>	2006	México	Se	5	Ovinos
Sprinkle <i>et al.</i>	2006	USA	Cu, Co y Se	100	Bovinos lecheros
Revilla-Vázquez <i>et al.</i>	2008	México	Se	10	Ovinos

Continúa en página siguiente...

Viene de página anterior...

Autor(es)	Año	País	Minerales	Peso del bolo (g)	Especie
Edwards <i>et al.</i>	2011	Australia	Se	10	Ovinos
Kendall <i>et al.</i>	2012	USA	Zn, Co y Se	33	Ovinos
Abdollahi <i>et al.</i>	2015	Irán	Ca, Mg, Na, Cu, Mn, I, Fe, Co, Zn y Se	S/I	Ovinos
López <i>et al.</i>	2015	México	Se	10	Ovinos
Khorsandi <i>et al.</i>	2016	Irán	Cu, Se, Co, I, Mg y Zn	107	Bovinos para carne

S/I: sin información.

En los estudios realizados en México, en su mayoría, utilizaron BI fabricados en la FES-Cuautitlán de la UNAM. Su fabricación se realiza a partir de la metodología de granulación por fusión, la cual se caracteriza por utilizar gránulos de partículas sólidas a partir de un proceso térmico, para que sean manipulables para su compactación (Jassim, Rajab, y Mohammed, 2018), al mezclarse con otros elementos químicos, sólidos o líquidos. La matriz conformadora del bolo contiene, además de la mezcla de minerales, hierro elemental, estearato de Mg, cutina y fosfato de Ca (López *et al.*, 2015). La información respecto a la conformación física de los BI es limitada o nula en algunos estudios. El cuadro 3 presenta información de parámetros físicos en promedio de los BI con minerales traza utilizados en los estudios mencionados previamente.

### Cuadro 3

#### Promedio de las características de bolos intrarruminales con minerales traza utilizados en pequeños y grandes rumiantes

Rumiantes	Dimensiones del bolo (AxL, mm)	Mineral	Concentración (g)	Tasa de liberación* (mg/día)	Duración
Pequeños	16.5x44.5	Se	0.15	0.84	180 d
		Co	0.08	0.45	
		Cu	0.95	5.27	
		Zn	2.20	12.22	
Grandes	26.0x65.0	Se	0.25	1.04	240 d
		Co	0.37	1.54	
		Cu	13.20	55.00	
		Zn	13.32	55.50	

Fuente: Elaboración propia con datos de los autores del cuadro 2.

\*Tasa de liberación calculada = concentración/duración, A = ancho, L = largo.

Los BI tienen forma cilíndrica o de cápsula, para su fácil administración y para que el animal pueda tragarla sin presentar problemas (Ramteke *et al.*, 2014). Para pequeños rumiantes, el peso de los BI varía de 5 a 35 g, los MT mayormente utilizados son Se, Co, Cu y Zn. El I también se ha utilizado, comprobando su liberación con resultados positivos. Mientras que, para rumiantes mayores, como bovinos lecheros o para carne, el bolo pesa de 30 a 117 g, utilizando los mismos MT que para ovinos, principalmente. El tamaño del bolo debe ser de acuerdo con su peso y para la especie de rumiante que se diseñe, así como la cantidad de minerales que se quiera suministrar y su tasa de liberación.

Los requisitos diarios de MT para rumiantes son diferentes; sin embargo, el Se, I, Co y Mn, se requieren en concentraciones bajas (Iqbal *et al.*, 2013). El diseño de los BI permite suplementar minerales en cantidades prolongadas, que va a depender de la cantidad de mineral que contenga el bolo para conocer la dosis de liberación por día. Por ejemplo, en el caso del Se, la FDA (2007) sugiere que la liberación máxima sea 3 mg/d<sup>1</sup> para bovinos para carne, si suponemos que un bovino pesa alrededor de 450 kg, la liberación de Se debería ser de 0.007 mg por kg de peso vivo diarios. En este sentido, el promedio de liberación de los BI de Se por kg de peso vivo diario de rumiantes mayores sería de 0.002 mg de acuerdo con referencia a la información del cuadro 3.

El cobalto, mineral traza de importancia en rumiantes debido a que es componente de la vitamina B<sub>12</sub>, es de los elementos que más se utilizan en la fabricación de BI (cuadro 2), siempre acompañado de otros minerales. Comúnmente la evaluación de Co se realiza a partir de medir los niveles de vitamina B<sub>12</sub>. En cuatro estudios se ha evaluado la suplementación de Co acompañada de Se y Cu. En un primer experimento de BI con Co (Zervas *et al.*, 1988) se evaluó en ovejas un bolo de 35 g que contenía 14% de Cu, 0.63% de Co y 0.265% de Se, y se encontró que los niveles en suero sanguíneo de vitamina B<sub>12</sub> en los animales suplementados mostraron incrementos significativos ( $P < 0.001$ ) a partir del día 44 hasta el 400 del experimento. En otro estudio, con un bolo similar de 33 g, con Cu, Co y Se (13.14, 0.5 y 0.15%, respectivamente), los niveles en suero sanguíneo de vitamina B<sub>12</sub> aumentaron significativamente durante los 105 días del experimento (Kendall *et al.*, 2000). En los dos estudios restantes no se hizo la evaluación en suero sanguíneo ni sangre total de los niveles séricos de vitamina B<sub>12</sub> o Co, a pesar de que este MT es parte de la matriz del BI (Hayashida *et al.*, 2003; Sprinkle *et al.*, 2006).

El selenio es importante en distintas funciones de los animales. La enfermedad de distrofia muscular se atribuye a la deficiencia de este elemento. Su suplementación debe ser cuidadosa debido a que existe el riesgo de intoxicación al ganado por las bajas cantidades en que debe suplementarse. Comúnmente, la enzima *Glutación Peroxidasa* (GPX) se utiliza para evaluar los niveles de Se en animales. En estudios donde se ha suplementado Se mediante BI, se han encontrado incrementos en los niveles sanguíneos de Se, significativos entre el grupo suplementado y el grupo control, durante los ocho primeros meses del experimento (Hidiroglou y Proulx, 1985; Zervas *et al.*, 1988). En contraste, en el estudio realizado por Edwards *et al.* (2011), se observó que a partir de dos bolos comerciales de 10 g cada uno con 0.5 g de Se elemental, los niveles de actividad de la enzima GPX en sangre aumentó significativamente durante 60 meses.

Por su parte, Blanco *et al.* (2000) evaluaron dos tipos de BI con diferentes cantidades de Se en ovinos; en el experimento uno utilizaron BI con 4.6% de Se, donde obtuvieron un promedio de 182 ng de Se/g de sangre, mientras que para el experimento dos utilizaron BI con 1% de Se y encontraron un promedio de 129 ng de Se/g de sangre. Los resultados de Se en sangre para el bolo con 4.6% de Se son similares a los reportados por Gutiérrez *et al.* (2005), quienes evaluaron un bolo con 5% de Se y la media de Se en sangre fue 140.0 ng de Se g<sup>-1</sup>.

La suplementación con yodo (I) a partir de BI, únicamente se ha evaluado cuando hay más de tres MT en la matriz del bolo. Para evaluar los niveles de I se recurre regularmente a la medición de los metabolitos y hormonas tiroideas (T3 y T4). Sin embargo, de acuerdo con el resultado encontrado en esta revisión, son pocos los estudios que contienen I en la matriz de los BI (cuadro 2). En un estudio realizado por Hemingway *et al.* (1997) density 2.9 g cm<sup>-3</sup> utilizando I en la matriz del BI, no reportaron ningún resultado de este mineral en los ovinos evaluados. En un estudio más reciente, Abdollahi *et al.* (2015) encontraron que la suplementación con BI conteniendo I, incrementó 50% la concentración sanguínea en los animales tratados con dos BI, mientras que para el grupo que recibió un solo bolo el incremento fue 40%, ambos respecto al grupo no tratado.

Existen diferentes tipos de BI en donde se aplica no solamente un mineral dentro del principio activo de liberación; por ejemplo, de acuerdo con Kendall *et al.* (2012), un bolo elaborado de vidrio que contenía Co, Se y Zn, se utilizó para suplementar corderas, no mostraron diferencias significativas entre el grupo control y el grupo suplementado para los niveles de Cu; sin embargo, los resultados demuestran que los niveles de concentraciones sanguíneas de Co (como vitamina B<sub>12</sub>) y Se (como GPX) tuvieron un incremento significativo en los animales.

Para la suplementación de Cu, además de los BI con matriz densificadora, se han utilizado otros tipos de BI, los cuales contienen pequeñas partículas de alambre con óxido de Cu depositadas en cápsulas que son introducidas en el animal (Grace y Knowles, 2012; Ramteke *et al.*, 2014). El principio de funcionamiento del bolo es similar al de una matriz sólida, la cápsula llega al retículo rumen donde es desintegrada, quedando libres los pequeños trozos de alambre que liberan el Cu por tiempo prolongado. De acuerdo con Balemi *et al.* (2010) una cápsula de 20 g puede llegar a suministrar lo equivalente a 100 mg de Cu por día, variando su tiempo de duración de 6 a 9 meses. Así mismo, Muñoz *et al.* (2015) suministraron oralmente trozos de alambre de Cu a cabras y reportaron que dichos niveles aumentan hasta 11.7% más que las concentraciones de los animales no tratados.

Además de los resultados positivos en niveles sanguíneos de MT, algunos autores han evaluado el uso de este tipo de suplementación en otros parámetros. Khorsandi *et al.* (2016) reportaron que los animales suplementados con BI con diversos MT incrementaron 2.3 kg/d<sup>-1</sup> la producción de leche, en comparación con los animales no tratados, así como en grasa, energía, proteína y sólidos no totales. En este sentido, Abdollahi *et al.* (2015) evaluaron parámetros reproductivos como parto gemelar o simple de ovinos, no encontrando efecto significativo; sin embargo, el peso de las crías se incrementó al día 60 de nacidos.

## Implicaciones

Los minerales traza tienen roles específicos en el organismo de los rumiantes, una deficiencia puede provocar severos problemas en sus procesos fisiológicos vitales. Los BI representan una importante estrategia de suplementación de minerales traza en cantidades precisas para aquellos que requieren menores cantidades, como Se, I y Co; sin embargo, debido a que los resultados son variables y el diseño de esta tecnología no está lo suficientemente sustentada, es necesario seguir obteniendo información sobre el uso y beneficio potencial de los BI.

## Agradecimientos

Los autores reconocen el financiamiento y apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) y la Universidad Autónoma Chapingo (UACH) para realizar estudios de doctorado del primer autor.

## Literatura citada

- Abdollahi, E.; Kohram, H.; Shahir, M.H. y Nemati, M.H. (2015). Effects of a Sustained-Release Multi-Trace Element Ruminant Bolus on Sex Ratio, Reproductive Traits and Lambs Growth in Synchronized Afshari Ewes. *Iranian Journal of Veterinary Science and Technology*, 7(1): 1-11.
- Abdullah, M.; Ahmad, K.R.; Yaqoob, S. y Munir, A. (2013). Mineral Profile of Browse Species Used as Feed by Grazing Livestock in Cholistan Rangelands, Pakistan. *Pakistan Journal of Nutrition*, 12(2): 135-143.
- Andrieu, S. (2008). Is There a Role for Organic Trace Element Supplements in Transition Cow Health? *Veterinary Journal*, 176(1): 77-83. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2007.12.022>
- Arthington, J.D. (2005). Effects of Copper Oxide Bolus Administration or High-Level Copper Supplementation on Forage Utilization and Copper Status in Beef Cattle. *Journal of Animal Science*, 83(12): 2894-2900. <https://doi.org/10.2527/2005.83122894x>
- Arthington, J.D.; Moriel, P.; Martins, P.G.M.A.; Lamb, G.C. y Havenga, L.J. (2014). Effects of Trace Mineral Injections on Measures of Performance and Trace Mineral Status of Pre- and Postweaned Beef Calves. *Journal of Animal Science*, 92(6): 2630-2640. <https://doi.org/10.2527/jas2013-7164>
- Aubel, N.A.; Jaeger, J.R.; Drouillard, J.S.; Schlegel, M.D.; Pacheco, L.A.; Linden, D.R.; Bolte, J.W.; Higgins, J.J. y Olson, K.C. (2011). Effects of Mineral-Supplement Delivery System on Frequency, Duration, and Timing of Supplement Use by Beef Cows Grazing Topographically Rugged, Native Rangeland in the Kansas Flint Hills. *Journal of Animal Science*, 89(11): 3699-3706. <https://doi.org/10.2527/jas.2010-3808>
- Auldust, M.J.; Marett, L.C.; Greenwood, J.S.; Hannah, M.; Jacobs, J.L. y Wales, W.J. (2013). Effects of Different Strategies for Feeding Supplements on Milk Production Responses in Cows Grazing a Restricted Pasture Allowance. *Journal of Dairy Science*, 96(2): 1218-1231. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-6079>
- Balemi, S.C.; Grace, N.D.; Knowles, S.O.; West, D.M. y Smith, S.L. (2010). Accumulation and Depletion of Liver Copper Stores in Dairy Cows Challenged with a Cu-Deficient Diet and Oral and Injectable Forms of Cu Supplementation. *New Zealand Veterinary Journal*, 58(3): 137-141. <https://doi.org/10.1080/00480169.2010.67515>
- Blanco, M.Á.; Spross, A.K. y Rosiles, R. (2000). Evaluación de comprimidos intrarruminales de selenio por concentración sanguínea y lanar de corderas semiestabuladas. *Veterinaria México*, 31(2): 121-127.
- Cardinal, J.R. (1997). Intraruminal Devices. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 28(3): 303-322. [https://doi.org/10.1016/S0169-409X\(97\)00086-0](https://doi.org/10.1016/S0169-409X(97)00086-0)
- de Paula Silveira, L. (2017). Suplementação mineral para bovinos. *Medicina Veterinária e Zootecnia*, 11(5): 489-500. <https://doi.org/DX.DOI.ORG/10.22256/PUBVET.V11N5.489-500>

- Deland, M.P.B.; Lewis, D.; Cunningham, P.R. y Deweys, D.W. (1986). Use of Orally Administered Oxidised Copper Wire Particles for Copper Therapy in Cattle. *Austrian Veterinary Journal*, 63(1): 6-8.
- Edwards, L.J.; Overend, D.J. y Ellis, K.J. (2011). Selenium Supplementation: Confirmation of an Effective 5-Year Delivery System for Sheep. *Small Ruminant Research*, 95(2-3): 184-187. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2010.09.008>
- FDA. (2007). Food and Drug Administration. Retrieved February 13, 2017, from Department of Health and Human Services website: [www.fda.gov/](http://www.fda.gov/)
- Grace, N.D. y Knowles, S.O. (2012). Trace Element Supplementation of Livestock in New Zealand: Meeting the Challenges of Free-Range Grazing Systems. *Veterinary Medicine International*, 2012. <https://doi.org/10.1155/2012/639472>
- Gutiérrez, C.; Spross, A.K.; Rosiles, R.; Ducoing, A. y Ortiz, A. (2005). Selenio sanguíneo y fecal en ovinos a partir de comprimidos inorgánicos intraruminales / Blood and Fecal Selenium in Sheep with the Use of Inorganic Intraruminal Boluses. *Veterinaria México*, 36(2): 313-324.
- Guyot, H. (2013). Trace Minerals Deficiency Diagnosis in Ruminants. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9): 1689-1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Hayashida, M.; Orden, E.A.; Cruz, E.M.; Cruz, L.C. y Fujihara, T. (2003). Effects of Intraruminal Soluble Glass Bolus on Blood Selenium and Plasma Mineral Level of Grazing Does Under Backyard Conditions in Selected Areas in Nueva Ecija, Philippines. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 16(2): 189-197. <https://doi.org/10.5713/ajas.2003.189>
- Hemingway, R.G.; Parkins, J.J. y Ritchie, N.S. (1997). Sustained-Release Boluses to Supply Trace Elements and Vitamins to Calves. *Veterinary Journal*, 153(2): 221-224. [https://doi.org/10.1016/S1090-0233\(97\)80043-3](https://doi.org/10.1016/S1090-0233(97)80043-3)
- Hidiroglou, M. (1979). Trace Element Deficiencies and Fertility in Ruminants: A Review. *Journal of Dairy Science*, 62(8): 1195-1206. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(79\)83400-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(79)83400-1)
- Hidiroglou, M. y Proulx, J. (1985). Intraruminal Selenium Pellet for Control of Nutritional Muscular Dystrophy in Cattle. *Journal of Dairy Science*, 68(1): 57-66. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(85\)80797-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(85)80797-9)
- Iqbal, Y.M.; Saxena, A.; Deepa, P.M.; Habeab, B.P.; Devi, S.; Jatav, R.S. y Dimri, U. (2013). Role of Trace Elements in Animals: A Review. *Veterinary World*, 6(12): 963-967. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2013.963-967>
- Jassim, Z.E.; Rajab, N.A. y Mohammed, N.H. (2018). Study the Effect of Wet Granulation and Fusion Methods on Preparation, Characterization, and Release of Lornoxicam Sachet Effervescent Granules. *Drug Invention Today*, 10(9): 1612-1616.
- Kawas, J.R.; Andrade, H. y Lu, C.D. (2010). Strategic Nutrient Supplementation of Free-Ranging Goats. *Small Ruminant Research*, 89(2-3): 234-243. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2009.12.050>
- Kendall, N.R.; Green, A.; McMullen, S. y Rodway, R.G. (2000). The Effect of a Zinc, Cobalt, and Selenium Soluble Glass Bolus on Trace Element Status and Semen Quality of Ram Lambs. *Animal Reproduction Science*, 62(2000): 277-283.
- Kendall, N.R.; MacKenzie, A.M. y Telfer, S.B. (2012). The Trace Element and Humoral Immune Response of Lambs Administered a Zinc, Cobalt and Selenium Soluble Glass Bolus. *Livestock Science*, 148(1-2): 81-86. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2012.05.013>
- Khorsandi, S.; Riasi, A.; Khorvash, M.; Mahyari, S.A.; Mohammadpanah, F. y Ahmadi, F. (2016). Lactation and Reproductive Performance of High Producing Dairy Cows Given Sustained-Release Multi-Trace Element/Vitamin Ruminant Bolus Under Heat Stress Condition. *Livestock Science*, 187(may): 146-150. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2016.03.008>
- López, R.; Ramirez, J.E.; Jaimes, J.; Tortora, J.L.; Revilla, A.L.; Rodriguez, G., y Montaña, M.F. (2015). Pathophysiological Response to Experimental Oral Overdose of Different Forms of Selenium in Lambs. *Annals of Animal Science*, 15(3): 655-666. <https://doi.org/10.1515/aoas-2015-0016>
- López, M.A. (2012). Trace Minerals and Livestock: Not Too Much Not Too Little. *Veterinary Science*, volumen 2012, Article ID 704825, 18 pages. <https://doi.org/10.5402/2012/704825>

- McDowell, L.R. (1996). Feeding Minerals to Cattle on Pasture. *Animal Feed Science and Technology*, 60(3-4): 247-271. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(96\)00983-2](https://doi.org/10.1016/0377-8401(96)00983-2)
- McDowell, L.R. y Arthington, J.D. (2005). Minerals for Grazing Ruminants in Tropical Regions (U. de Florida, Ed.). Gainesville, Florida, USA.
- Muñoz, J.C.; Huerta, M.; Ramírez, R. y González, M.J. (2015). Estado mineral y suplemento con alambre de óxido de cobre en cabras de San José Teacalco, Tlaxcala. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 2(5): 203-210.
- Naranjo, F.; Martínez, J.C.; Zárate, P.; Juárez, J.; Ibarra, M.A.; Limas, A.G. y González, A. (2014). Efecto de la suplementación parenteral de minerales en algunos parámetros productivos y reproductivos en ovejas de pelo. *Zootecnia Tropical*, 32(2): 131-138.
- NRC (National Research Council). (2001). Nutrient Requirements of Dairy Cattle (N.A. Press, Ed.). Washington, D.C.
- Overton, T.R. y Yasui, T. (2014). Practical Applications of Trace Minerals for Dairy Cattle. *Journal of Animal Science*, 92(2): 416-426. <https://doi.org/10.2527/jas2013-7145>
- Patino, P.R.; da Silva, C.J. y Pérez, J. (2011). Modelos de predicción de exigencias minerales para rumiantes. *Revista Colombiana*, 3(2): 1-22. Retrieved from [re\\_patino@yahoo.com](mailto:re_patino@yahoo.com)
- Ramteke, K.; Joshi, S.; Dighe, P. y Kharat, A. (2014). Veterinary Pharmaceutical Dosage Forms: A Technical Note. *Austin Therapeutics*, 1(1): 1-10.
- Rathbone, M.J., y Martinez, M.N. (2002). Modified Release Drug Delivery in Veterinary Medicine. *Drug Discovery Today*, 7(15): 823-829. [https://doi.org/10.1016/S1359-6446\(02\)02362-0](https://doi.org/10.1016/S1359-6446(02)02362-0)
- Revilla, A.; Ramírez, E.; López, R.; Hernández, L.M.; Tórtora, J.; García, E. y Cruz, R.G. (2008). Suplemento de selenio con bolos intrarruminales de selenito de sodio en ovinos. *Agrociencia*, 42(6): 629-635.
- Rosiles, R.; Aguilar, M.A. y Ramírez, J. (1996). Deficiencia de selenio en un hato de bovinos que sufren del síndrome de mal de altura de Ixtlahuaca, Estado de México. *Veterinaria Mexico*, 28 (1): 55-57.
- Sprinkle, J.E.; Cuneo, S.P.; Frederick, H.M.; Enns, R.M.; Schafer, D.W.; Carstens, G.E.; Daugherty, H.M.; Noon, T.H.; Rickert, B.M. y Reggiardo, C. (2006). Effects of a Long-Acting, Trace Mineral, Reticulorumen Bolus on Range Cow Productivity and Trace Mineral Profiles. *Journal of Animal Science*, 84(6), 1439-1453. <https://doi.org/2006.8461439x>
- Steen, A.; Strøm, T. y Bernhoft, A. (2008). Organic Selenium Supplementation Increased Selenium Concentrations in Ewe and Newborn Lamb Blood and in Slaughter Lamb Meat Compared to Inorganic Selenium Supplementation. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 50(1): 1-6. <https://doi.org/10.1186/1751-0147-50-7>
- Stoebe, S.; Müller, A.S.; Most, E.; Coenen, M. y Vervuert, I. (2015). Effects of Selenium Supplementation on Selenium Status of Farmed Fallow Deer in Outdoor Pens. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 29(2015): 216-221. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2014.10.006>
- Thombre, A.G. (2004). Oral Delivery of Medications to Companion Animals: Palatability Considerations. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 56(10): 1399-1413. <https://doi.org/10.1016/j.addr.2004.02.012>
- Vandamme, T.F. y Rathbone, M.J. y McDowell A. (Eds.) (2013). Long Acting Animal Health Drug Products: Fundamentals and Applications, United States, Springer, pp. 221-246. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4439-8>
- Vázquez, J.F.; Rojo, R.; Salem, A.Z.M.; López, D.; Tinoco, J.L.; González, A.; Pescador, N. y Domínguez, I.A. (2011). Trace Elements in Sheep and Goats Reproduction: A Review. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(2011): 1-13.
- Zervas, G.; Telfer, S.B.; Carlos, G. y Anderson, P. (1988). The Effect of Soluble-Glass Boluses Containing Copper, Cobalt and Selenium on the Blood Composition of Ewes. *Animal Feed Science and Technology*, 21(1): 23-29. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(88\)90016-8](https://doi.org/10.1016/0377-8401(88)90016-8)

Recepción: 22 de enero 2020

Arbitraje: 31 de enero 2020

Dictamen: 4 de abril 2020

Aceptado: 13 de abril 2020