

Original

Suplementación orgánica e inorgánica de Cu y Se en dietas para vacas lecheras Normando

Pedro N. Rodríguez-Hernández¹  Zoot; Diana Cediél-Devía²  MVZ;
Román Castañeda-Serrano^{1*}  Ph.D.

¹Universidad del Tolima, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Grupo de investigación en Sistemas Agroforestales Pecuarios, Ibagué, Tolima, Colombia.

²Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Grupo de Pesquisa de bovinos em pastejo de qualidade, Itapetinga, Bahia, Brasil.

*Correspondencia: rcastaneda@ut.edu.co

Recibido: Abril 2020; Aceptado: Agosto 2020; Publicado: Noviembre 2020.

RESUMEN

Objetivo. Evaluar el efecto de la suplementación de cobre (Cu) y selenio (Se) orgánico e inorgánico sobre los parámetros productivos y reproductivos de vacas lecheras Normando. **Materiales y métodos.** Se utilizaron 36 vacas multíparas (BW = 600 ± 32 kg), distribuidas en bloques completamente al azar. Los tratamientos fueron: Control: sin suplemento mineral, IS: suplemento mineral inorgánico de Cu y Se, IS+OS: 50% Suplementación inorgánica + 50% suplementación orgánica, con un tiempo experimental de 150 días (30 días antes del parto y 120 días de lactancia). Fue evaluada la producción y Composición láctea (sólidos totales, proteína, grasa, células somáticas y nitrógeno ureico en leche), metabolitos sanguíneos (glucosa, Betahidroxibutirato, nitrógeno ureico en sangre) y parámetros reproductivos (días abiertos, días al primer servicio y servicios por concepción). **Resultados.** No se observaron diferencias en la producción y composición de la leche ($p > 0.05$). Sin embargo, los días abiertos y los servicios por concepción fueron menores cuando las vacas fueron suplementadas con minerales orgánicos ($p < 0.05$). **Conclusiones.** La suplementación con minerales orgánicos (Cu y se) no mejora la producción y composición de la leche. No obstante, si mejoró los parámetros reproductivos de las vacas suplementadas con Se y Cu orgánicos.

Palabras clave: Mezcla mineral; microminerales; minerales traza; rumiantes (*Fuente CAB*).

ABSTRACT

Objective. To evaluate the effects of organic and inorganic copper (Cu) and selenium (Se) on milk production, milk quality and reproductive parameters of Normande dairy cows. **Materials and methods.** 36 multiparous cows (BW = 600 ± 32 kg) were used, distributed in completely randomized blocks. Treatments were: Control: without mineral supplementation, IS: inorganic mineral supplementation with Cu and Se, IS+OS: 50% Inorganic supplementation + 50% organic supplementation, with an experimental period of 150 days (30 days before calving and 120 days of lactation). The variables evaluated were milk production and quality (total solids, protein, fat, somatic cells and MUN), blood metabolites (glucose, betahydroxybutyrate and BUN) and reproductive

Como citar (Vancouver).

Rodríguez-Hernández PN, Cediél-Devía D, Castañeda-Serrano R. Suplementación orgánica e inorgánica de Cu y Se en dietas para vacas lecheras Normando. Rev MVZ Córdoba. 2021; 26(1):e1983. <https://doi.org/10.21897/rmvz.1983>



©El (los) autor (es), Revista MVZ Córdoba 2020. Este artículo se distribuye bajo los términos de la licencia internacional Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>), que permite a otros distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir de su obra de modo no comercial, siempre y cuando den crédito y licencien sus nuevas creaciones bajo las mismas condiciones.

parameters (open days, days to first service and services per conception). **Results.** No differences were observed in milk production and quality ($p>0.05$). However, open days and services per conception were shorter when cows were supplemented with organic minerals ($p<0.05$). **Conclusions.** In this study milk production, milk quality and blood metabolites were not affected by supplementation with Se and Cu. However, the reproductive parameters of the cows improved when supplemented with organic Se and Cu.

Keywords: Microminerals; mineral mixture; ruminants; trace minerals (*Source: CAB*).

INTRODUCCIÓN

La deficiencia y desbalance mineral en la dieta son una de las principales causas de la baja productividad de bovinos en pastoreo, puesto que, la alimentación a base de pastos es insuficiente para satisfacer los requerimientos nutricionales de minerales (1). Sin embargo, para alcanzar los requerimientos minerales en animales, se han usado fuentes inorgánicas en la formulación de sales y suplementos tales como óxidos y sulfatos (2). No obstante, a finales de la década de 1980, se desarrollaron minerales orgánicos quelatados como una alternativa a las fuentes tradicionales de minerales (2,3). Las principales ventajas del uso de quelatos son una mayor biodisponibilidad, menos toxicidad y poco antagonismo con diferentes fuentes de minerales, fibras o grasas (4,5,6).

Los cambios en el estado fisiológico del ganado lechero durante el período de transición es uno de los momentos más crítico y estresante que enfrenta una vaca lechera durante su vida (7,8). Durante el período de transición, el ganado lechero es más susceptible a una variedad de enfermedades metabólicas e infecciosas, debido a los múltiples factores fisiológicos y ambientales que ocurren en este momento, lo que lleva al desarrollo de un proceso de estrés oxidativo en los animales. El estrés oxidativo tiene un papel importante en el daño tisular y esto conlleva a, condiciones patológicas. Los mecanismos de defensa del tejido contra el daño de los radicales libres, generalmente incluyen vitaminas, y varias metaloenzimas que incluyen glutatión peroxidasa (Se) y superóxido dismutasa (Cu, Zn, Cr y Mn) minerales también fundamentales para proteger los componentes celulares internos del daño oxidativo. Solo cuando estos microminerales se ofrecen en la dieta en cantidades suficientes, el cuerpo animal puede sintetizar estas enzimas antioxidantes (9,10).

También, la deficiencia de cobre y selenio se ha asociado con una disminución en los parámetros reproductivos, así como una disminución en

la producción de leche, un menor aumento de peso diario y una mayor susceptibilidad a desarrollar enfermedades (11,12). Debido a eso, el selenio y el cobre actúan como cofactores en numerosas reacciones bioquímicas (13). El selenio juega un papel importante en la regulación de diversos procesos metabólicos y es una parte integral de las selenoproteínas (14). Sin embargo, el papel fisiológico del selenio se concentra principalmente en la actividad de la glutatión peroxidasa (GSHPx), por lo tanto, se ha sugerido que el selenio podría mejorar la inmunidad, el crecimiento y el rendimiento reproductivo (15). Por otro lado, el cobre es esencial para la eritropoyesis, el transporte y el uso de hierro en la biosíntesis de hemoglobina y osteogénesis (13). También se requiere como cofactor en la enzima superóxido dismutasa ceruloplasmina y citocromo C oxidasa (16). Sin embargo, los estudios que evalúan el efecto de la suplementación orgánica de Cu y Se en condiciones de pastoreo en los trópicos altos son escasos. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar los efectos del cobre orgánico (Cu) y el selenio (Se) en la producción y la calidad de la leche, y los parámetros reproductivos de vacas lecheras Normando.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. El experimento se llevó a cabo en la granja "Las Mercedes" en el área rural de la sabana de Bogotá; ubicado en las coordenadas geográficas 4-75'6644 'Latitud Norte y 74-08'4010' Latitud Oeste, con una temperatura promedio de 13.6°C, una altura de 2542 metros sobre el nivel del mar, precipitación anual de 1000 mm y humedad relativa entre 78 - 83%.

Animales y tratamientos. Se utilizaron treinta y seis vacas Normando multíparas (3.2 ± 1.5 nacimientos) y 600 ± 32 kg de peso corporal, en un diseño de bloqueo completamente al azar. Los tratamientos fueron: Control: sin suplementación de Cu y Se, IS: Suplementación inorgánica (sulfato de cobre y selenito de sodio)

IS + OS: 50% de suplementación inorgánica y 50% de suplementación orgánica (Copper B-traxim® y Seleno-metionina Selemax®); Se asignaron vacas a cada bloque de acuerdo con la fecha probable de nacimiento.

Las vacas se mantuvieron en un sistema de pastoreo rotativo de *Pennisetum clandestinum* y *Lolium multiflorum*, con suplementos de concentrados formulados para cumplir con los requisitos nutricionales de acuerdo con NRC (17). 30 días antes del parto, las vacas recibieron 1 kg de concentrado y 70 gr de suplemento mineral. Después del parto y hasta los 120 días de lactancia, las vacas recibieron 4 kg de concentrado y 150 gr de suplemento mineral. La composición de las dietas, ingredientes y suplementos se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Análisis de la composición nutricional de las dietas e ingredientes utilizados en el experimento (base MS)

Item	Forraje	Concentrado	Tratamientos		
			Control	IS	IS+OS
MS %	20.30	89.77	-	-	-
MO %	90.01	81.71	-	-	-
PC %	16.13	14.50	-	-	-
FDN %	58.21	25.43	-	-	-
FDA %	23.34	14.80	-	-	-
Cenizas %	10.10	8.06	-	-	-
EE %	2.10	5.38	-	-	-
Ca %	0.24	1.92	7.98	7.98	7.98
P %	0.28	0.72	2.28	2.28	2.28
Mg %	0.11	0.37	0.27	0.27	0.27
K %	1.37	1.06	0.24	0.24	0.24
S %	0.42	0.22	12.00	12.00	12.00
Fe mg/Kg	236.00	20.00	2.00	2.00	2.00
Zn mg/kg	37.32	41.10	45.22	45.22	45.22
Mn mg/kg	43.08	76.80	21.35	21.35	21.35
Cu mg/kg	13.54	7.16	-	325.00	325.00
Se mg/kg	0.30	0.21	-	32.00	32.00

Control: sin suplementación de Cu y Se, IS: Suplementación inorgánica (sulfato de cobre y selenito de sodio) IS + OS: 50% de suplementación inorgánica y 50% de suplementación orgánica (Copper B-traxim® y Seleno-metionina Selemax®).

Las muestras de concentrado y forraje se secaron previamente durante 72 horas en una estufa de circulación de aire a 55°C y se molieron, en molino tipo Willey (1 mm) y se analizaron en el laboratorio de nutrición animal de la Universidad del Tolima. La materia seca (MS), la proteína cruda (PC), el extracto etéreo (EE), las cenizas se determinaron utilizando los métodos de (18)

fibra en detergente neutro (FDN) y fibra en detergente ácido (FDA) de acuerdo con (19).

Producción y calidad de leche. Se tomaron en cuenta los datos de producción durante 120 días después del parto de cada vaca (Kg/día) de los dos períodos diarios de ordeño (5:00 a.m. a 2:00 p.m.). Se tomaron muestras de leche a los 30, 60 y 120 días en el ordeño de la mañana, se recogieron 40 ml de leche por vaca en botellas de plástico con conservante (Proponol), y se identificaron; luego se almacenaron a 4°C y se enviaron al laboratorio de calidad de leche del Universidad de Antioquia, donde se determinó: sólidos totales, proteínas, grasas, recuento de células somáticas (RCS) y nitrógeno ureico en la leche (NUL).

Metabólitos de la sangre. Se recogieron muestras de sangre 15 días antes del parto y 30, 60, 90 y 120 días después del parto, se obtuvieron muestras de sangre puncionando la vena yugular y se transportaron en tubos vacutainer® sin anticoagulante. Luego, las muestras se centrifugaron durante 10 minutos a 3500 rpm para la separación del suero, posteriormente se empacaron en tubos eppendorf de 1 ml, que se almacenaron a -20°C y luego se enviaron al laboratorio de diagnóstico veterinario de la Universidad del Tolima (LADIVE), para la determinación de glucosa, beta-hidroxibutirato y nitrógeno ureico en sangre (NUS) utilizando kits comerciales y un sistema automático Biosystems® A15.

Excreción de minerales. Se recogieron muestras de heces por animal (500 g) cada 15 días directamente del recto dos veces al día, por la mañana y por la tarde después de la alimentación; las muestras se almacenaron debidamente en bolsas, se identificaron con el número de cada animal y respectivo tratamiento; se almacenaron en el congelador a -20°C; Luego fueron enviados al Laboratorio LASEREX de la Universidad del Tolima, donde los minerales Ca, Mg, K, Mn, Zn, Cu y Se fueron determinados por espectrofotometría de absorción atómica (24, Método. 968.08) y P por espectrofotometría ultravioleta visible (24, Método 965.17).

Parámetros reproductivos. Se calcularon: Días al primer servicio: desde el parto hasta la presentación del primer calor fértil; Días abiertos: días desde el parto hasta el día de la preñez (confirmada); Servicios por concepción: el número de inseminaciones realizadas desde el día del parto hasta la preñez confirmada y la

tasa de preñez: teniendo en cuenta el número de vacas preñadas en relación con el número total de animales por tratamiento.

Análisis estadístico. Se realizó un diseño de bloques completamente al azar; los datos se analizaron mediante el programa SAS 9.2 MIXED. La prueba de Shapiro Wilk se utilizó para evaluar la normalidad. Se realizó un análisis de varianza ANOVA y una prueba de comparación de medias de Tukey, con un nivel de significancia del 95%. El modelo utilizado en el experimento fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = U + T_i + B_j + E_{ijk}$$

Dónde: Y_{ijk} : variable dependiente; U: Medio, T_i : Efecto fijo del tratamiento ($i = 0, 1, 2$), B_j : Efecto fijo del Bloque, E_{ijk} : Error residual.

RESULTADOS

Producción y calidad de leche. La producción promedio de leche durante el experimento fue de 23.52; 25.25 y 23.46 para Control, IS e IS+OS, respectivamente. La producción de leche no se vio afectada por el tratamiento ($p > 0.05$). Del mismo modo, no hubo diferencias en el total de sólidos, grasa, proteína y lactosa en la leche (Tabla 2).

Tabla 2. Producción y calidad de la leche de vacas lecheras Normando suplementadas con Cu y Se orgánico e inorgánico.

Variable	Tratamientos			EEM	Valor de P
	Control	IS	IS+OS		
Producción de leche Kg/día	23.52	25.25	23.46	0.95	0.3290
Proteína %	3.03	3.30	2.96	0.12	0.1670
Grasa %	3.82	3.70	3.80	0.50	0.9830
Sólidos Totales %	12.79	13.06	11.14	0.74	0.1660
Lactosa %	4.92	5.17	4.66	0.18	0.1570
NUL mg/dl	14.45	15.60	13.38	0.85	0.2330
RCS ($\times 10^3$ /ml)	96.73 ^a	81.71 ^a	51.94 ^b	15.01	<0.0010
Acetona	0.21	0.24	0.22	0.02	0.4080
BHB	0.03	0.04	0.03	0.01	0.5240

Control: sin suplementación de Cu y Se, IS: Suplementación inorgánica, IS + OS: 50% de suplementación inorgánica y 50% de suplementación orgánica. NUL: nitrógeno ureico en leche, RCS: recuento de células somáticas, BHB: Beta-hidroxibutirato EEM: error estándar de la media.

Metabólitos de la sangre. Los niveles plasmáticos de NUS, glucosa y BHB no se vieron afectados con la suplementación de minerales ($p > 0.05$) (Tabla 3). Sin embargo, hubo diferencias ($p < 0.05$) para el Cu en plasma, entre el tratamiento con IS (inorgánico) e IS + OS (orgánico) 0.79 y 0.72 mg / L respectivamente. El Se en plasma fue similar entre los tratamientos (Tabla 3).

Tabla 3. Metabólitos sanguíneos en vacas lecheras Normando suplementadas con minerales orgánicos e inorgánicos.

Variable	Tratamientos			EEM	Valor de P
	Control	IS	IS+OS		
NUS mg/dl	15.08	14.52	13.32	0.80	0.2974
Glucosa mg/dl	67.06	72.74	65.80	4.19	0.4675
BHB mmol/L	0.45	0.38	0.40	0.04	0.5491
Cobre mg/L	0.76 ^{ab}	0.79 ^a	0.72 ^b	0.02	0.0290
Selenio mg/L	0.030	0.033	0.025	0.059	0.6501

Control: sin suplementación de Cu y Se, IS: Suplementación inorgánica, IS + OS: 50% de suplementación inorgánica y 50% de suplementación orgánica. NUS: Nitrógeno ureico en sangre, BHB: Beta-hidroxibutirato EEM: Error estándar de la media.

Excreción de minerales. En las mediciones realizadas el Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Manganeseo (Mn), Selenio (Se), Fósforo (P), Potasio (K) y Zinc (Zn) no se vieron afectados con la suplementación de minerales ($p > 0.05$) (Tabla 4). Sin embargo, hubo diferencias ($p < 0.05$) para Cu en las heces, la excreción fue menor en el tratamiento IS + OS (orgánico) 22.52 mg/Kg.

Tabla 4. Excreción de minerales en vacas lecheras Normando suplementadas con minerales orgánicos e inorgánicos.

Variable	Tratamientos			EEM	Valor de P
	Control	IS	IS+OS		
Ca (%)	1.32	1.21	1.45	0.10	0.1385
P (%)	0.90	0.92	0.97	0.05	0.6892
Mg (%)	0.43	0.40	0.55	0.14	0.6321
K (%)	0.60	0.54	0.66	0.17	0.5469
Mn (mg/kg)	232.63	211.01	198.67	17.13	0.3380
Zn (mg/kg)	117.05	127.99	106.97	12.59	0.5921
Se (mg/kg)	509.21	547.89	605.33	76.05	0.2227
Cu (mg/kg)	35.91 ^a	30.68 ^a	22.52 ^b	3.73	0.0001

Control: sin suplementación de Cu y Se, IS: Suplementación inorgánica, IS + OS: 50% de suplementación inorgánica y 50% de suplementación orgánica. EEM: Error estándar de la media.

Parámetros reproductivos. Los días al primer servicio disminuyeron en las vacas de IS + OS, de 61.18 y 62.94 días en los grupos Control e IS respectivamente a 54.58 días ($p < 0.05$), sin embargo, los días abiertos y los servicios por concepción no mostraron diferencias entre los diferentes tratamientos. ($p > 0.05$), aunque hubo una tendencia con respecto a IS + OS (orgánico) (Tabla 5).

Tabla 5. Parámetros reproductivos en vacas lecheras Normando suplementadas con minerales orgánicos e inorgánicos.

Variable	Tratamientos			EEM	Valor de P
	Control	IS	IS+OS		
% de preñez	41.70	58.30	58.30	-	-
Días al primer servicio	61.18 ^a	62.94 ^b	54.58 ^b	1.73	0.0040
Días Abiertos	72.56	83.38	74.00	4.72	0.2390
Servicios / Concepción	2.20	2.43	1.57	0.26	0.0740

Control: sin suplementación de Cu y Se, IS: Suplementación inorgánica, IS + OS: 50% de suplementación inorgánica y 50% de suplementación orgánica. EEM: Error estándar de la media.

DISCUSIÓN

En este estudio, la producción y la calidad de la leche no se vieron afectadas con la suplementación de Cu y Se, en este sentido, Bacnicka et al (20) encontraron que cuando se suplementan vacas lecheras Holstein con selenio sódico (5.88- 7.43 mg / vaca / día) y Levadura de selenio (6 mg / vaca / día) entre 150 y 240 días de lactancia, no se encontraron diferencias en la producción y calidad de la leche. Con respecto a la concentración adecuada en la dieta, Sun et al (21) evaluaron el efecto de diferentes dosis de selenito de sodio e hidroxiselenometionina (0; 0.1; 0.3 y 0.5 mg/kg MS), observaron que ni el nivel de suplementación, ni la fuente de Se, no afectaron la producción y calidad de la leche, excepto el porcentaje de grasa, que aumentó gradualmente, a medida que aumentó el nivel de suplementación de Se orgánico. Esto es consistente con lo informado por muchos autores que encontraron que no había diferencias en la producción y calidad de la leche al usar fuentes orgánicas o inorgánicas (22, 23, 24). Sin embargo, varios autores han informado un aumento en la producción de leche al suplementar con Se orgánico en cabras (20,25).

El recuento de células somáticas (RCS) se vio afectado por la suplementación. Phipps et al

(26) informaron que la suplementación con Se aumenta la concentración de GSH-Px, lo que contribuye a reducir la incidencia de mastitis (número más bajo de RCS). Con respecto al cobre, Yamamoto et al (27), concluyeron que la suplementación con 125 mg de cobre al día, contribuyó a aumentar la producción de leche en un 5% en comparación con el tratamiento sin suplementación, sin embargo, no se encontró ningún efecto en el RCS versus el grupo de control, que difiere de lo reportado por Griffiths et al (28), quienes observaron que la suplementación dietética con una combinación de minerales traza orgánicos aumentó la producción de leche, pero no afectó la composición de la misma.

Los metabolitos sanguíneos medidos en este estudio (NUS, glucosa y BHB) no se vieron afectados por la suplementación con Cu y Se (orgánicos e inorgánicos). Los valores de los indicadores bioquímicos obtenidos en este estudio están dentro de los rangos de referencia normales (20). Sin embargo, Juniper et al (29) y Phipps et al (26) indican que cantidades iguales de Se en forma orgánica o inorgánica no causan diferencias en la composición química de la sangre frente a una vaca no suplementada; Del mismo modo, Yamamoto et al (27) informan que la combinación dietética de cobre, zinc, manganeso y cobalto no afecta los parámetros sanguíneos de NUS y glucosa en vacas Holstein en lactancia. Al igual, en otros estudios informan que la suplementación de minerales traza orgánicos o el reemplazo de la forma inorgánica de minerales traza con una forma orgánica en la dieta no afecta los parámetros bioquímicos del plasma (30,31).

Aunque hubo diferencias entre la cantidad de cobre de fuentes orgánicas e inorgánicas, se encuentra que están dentro de los valores de referencia establecidos para animales lactantes, de la misma manera que NRC (17) describe que el cobre tiene una absorción que oscila entre 1 y 5; el porcentaje de cobre en la dieta y las fuentes inorgánicas como el sulfato de cobre que se utilizó en este experimento como fuente inorgánica, tiene una alta biodisponibilidad.

En otro estudio realizado por Cetz et al (32) informaron la disminución de minerales en las heces con el uso de minerales quelados en la suplementación de novillonas en crecimiento, ya que estos presentan un mejor uso o absorción en el cuerpo de los rumiantes.

La suplementación con Se y Cu orgánicos en este estudio mostró diferencias en la reducción de días al primer servicio en comparación con el grupo de tratamiento y control de Se y Cu inorgánicos. Griffiths et al (28) informaron que el aumento de la ingesta de cobre en el ganado lechero a través de la suplementación de fuentes complejas de minerales traza aumenta la fertilidad y disminuye los días al primer servicio en comparación con las vacas Control. Por otro lado, Campbell et al (30) observaron que suplementar las vacas con Zn, Mn, Cu y Co en forma de Co glucoheptonato y complejos de aminoácidos específicos de Zn, Mn y Cu, desde el nacimiento, redujeron los días a la primer estro y tendió a reducir los días a la primera actividad lútea. Aunque no hay diferencias significativas en los días abiertos en el presente estudio, si se encuentra una diferencia numérica, con menos días abiertos en el tratamiento de Se y Cu orgánicos e inorgánicos, correlacionados con lo informado por Uchida et al (33), quien, al reemplazar las fuentes inorgánicas de minerales traza por otras orgánicas, resultó en la reducción de días abiertos, días al primer servicio y menos servicios por concepción; Esto se debió a que tanto el cobre como el selenio están estrechamente relacionados con la reproducción a través de sus mecanismos de acción fisiológicos y metabólicos (34).

El cobre y el selenio están involucrados en la síntesis de prostaglandinas, incluida la prostaglandina F₂ alfa, que es la que se encuentra en el cuerpo lúteo para realizar la luteólisis y reiniciar el ciclo estral, evitando así la demora o la cancelación de los celos (35). Además, se informa que el cobre trabaja junto con una gran cantidad de proteínas como la ceruloplasmina, que es esencial para la absorción y el transporte de hierro, así como esto es necesario para la síntesis de hemoglobina y superóxido dismutasa, esta última responsable de proteger las células de los efectos tóxicos de los metabolitos reactivos del oxígeno; Al disminuir esta actividad, disminuye la capacidad de las células para matar y fagocitar

los organismos, lo que favorece la presencia de problemas infecciosos y esto a su vez se refleja en los abortos fetales o la retención placentaria (36).

Además de esto, el selenio también se relaciona con la retención placentaria, la endometritis y la baja concepción. Según Todorović et al (37) y Balamurugan et al (36), este mineral es una parte fundamental de la enzima Glutatión Peroxidasa, que, como la superóxido dismutasa, es responsable de proteger las células de la sobreoxidación producida por los peróxidos. Las células musculares son altamente oxidativas debido a la actividad constante a la que están sujetas, por lo tanto, el selenio es importante para fortalecerlas, entre ellas el miometrio, favoreciendo la involución uterina posparto. Del mismo modo, la disminución de la actividad glutatión peroxidasa puede conducir a problemas inmunológicos, favoreciendo la presencia de infecciones (38,39,40).

Finalmente, la tendencia a disminuir los servicios por concepción con el uso de Cu y Se orgánicos, siendo más marcada con el uso de minerales orgánicos, sin tener un resultado estadístico significativo, la diferencia económica en el valor de un día abierto es reconocible en la lechería especializada, así como el valor del servicio de inseminación.

En conclusión, la suplementación con minerales orgánicos (Cu y Se) no mejora la producción y composición de la leche. Sin embargo, los parámetros reproductivos de las vacas mejoraron cuando se suplementaron con Se y Cu orgánicos. Por lo tanto, es necesario llevar a cabo más estudios que ayuden a comprender el mecanismo exacto por el cual estos minerales traza actúan positivamente en la reproducción.

Conflicto de intereses

Los autores no tienen conflictos de interés.

REFERENCIAS

1. Beggs DS, Jongman EC, Hemsworth PH, Fisher AD. The effects of herd size on the welfare of dairy cows in a pasture-based system using animal- and resource-based indicators. *J Dairy Sci.* 2019; 102(4):3406-3420. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-14850>
2. Santos S, Vinderola G, Santos L, Araujo E. Biodisponibilidad de minerales que lados y no que lados: una revisión sistemática. *Rev Chil Nutr.* 2018; 45(4):381-392. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182018000500381>

3. Pino F, Urrutia NL, Gelsinger SL, Gehman AM, Heinrichs AJ. Long-term effect of organic trace minerals on growth, reproductive performance, and first lactation in dairy heifers. *The Professional Animal Scientist*. 2018; 34(1):51-58. <https://doi.org/10.15232/pas.2017-01680>
4. Zhao XJ, Li ZP, Wang JH, Xing XM, Wang ZY, Wang L, Wang ZH. Effects of chelated Zn/Cu/Mn on redox status, immune responses and hoof health in lactating Holstein cows. *J Vet Sci*. 2015; 16(4):439-446. <https://doi.org/10.4142/jvs.2015.16.4.439>
5. Neumann J, Ceballos A, Chihuailaf R, Böhmwald H, Sepúlveda M, Wittwer F, Quiroz E. Efecto de la suplementación preparto con selenio levadura oral o selenato de barrio parenteral en las concentraciones sanguíneas de selenio en vacas lecheras y sus crías. *Arch Med Vet*. 2016; 48(1):37-42. <http://dx.doi.org/10.4067/S0301-732X2016000100005>
6. Salami SA, Oluwatosin OO, Oso AO, Fafiolu AO, Sogunle OM, Jegede, AV, Pirgozliev V. Bioavailability of Cu, Zn and Mn from mineral chelates or blends of inorganic salts in growing turkeys fed with supplemental riboflavin and/or pyridoxine. *Biol Trace Elem Res*. 2016; 173(1):168-176. <https://doi.org/10.1007/s12011-016-0618-2>
7. Walsh SW, Williams EJ, Evans ACO. A review of the causes of poor fertility in high milk producing dairy cows. *Anim Reprod Sci*. 2011; 123(3-4):127-138. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2010.12.001>
8. Keshri A, Bashir Z, Kumari V, Prasadb K, Joysowala M, Singhb M, Singha D, Taruna A, Shukla S. Role of micronutrients during peri-parturient period of dairy animals—a review. *Biol Rhythm Res*. 2019; 1-13. <https://doi.org/10.1080/09291016.2019.1613793>
9. Sharma N, Singh NK, Singh OP, Pandey V, Verma PK. Oxidative stress and antioxidant status during transition period in dairy cows. *Asian-Australas J Anim Sci*. 2011; 24(4):479-484. <https://doi.org/10.5713/ajas.2011.10220>
10. Sordillo LM, Mavangira V. The nexus between nutrient metabolism, oxidative stress and inflammation in transition cows. *Anim Prod Sci*. 2014; 54(9):1204-1214. <https://www.publish.csiro.au/an/AN14503>
11. García M, Landaeta M, Adrianza G, Murillo C, Rincón M, Rached L, Bilbao A, Anderson H, García D, Franquiz J, Puche R, García O, Quintero Y, Peña-Rosas J. Valores de referencia de hierro, yodo, zinc, selenio, cobre, molibdeno, vitamina C, vitamina E, vitamina K, carotenoides y polifenoles para la población venezolana. *Arch Lat Nutr*. 2013; 63(4):481-500. <https://www.alanrevista.org/ediciones/2013/4/art-10/>
12. Mohanta Rk, Garg Ak. Organic Trace Minerals: Immunity, Health, Production and Reproduction in Farm Animals. *Indian J Anim Nutr*. 2014; 31(3):203-212. <http://www.indianjournals.com/ijor.aspx?target=ijor:ijn&volume=31&issue=3&article=001>
13. Mudgal V, Garg AK, Dass RS, Rawat M. Selenium and copper interaction at supra-nutritional level affecting blood parameters including immune response against P. multocida antigen in Murrah buffalo (*Bubalus bubalis*) calves. *J Trace Elem Med Biol*. 2018; 50:415-423. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2018.08.008>
14. Qian F, Misra S, Prabhu KS. Selenium and selenoproteins in prostanoid metabolism and immunity. *Crit Rev Biochem Mol Biol*. 2019; 54(6):484-516. <https://doi.org/10.1080/10409238.2020.1717430>
15. Habibian M, Ghazi S, Moeini MM, Abdolmohammadi A. Effects of dietary selenium and vitamin E on immune response and biological blood parameters of broilers reared under thermoneutral or heat stress conditions. *Int J Biometeorol*. 2014; 58(5):741-752. <https://doi.org/10.1007/s00484-013-0654-y>
16. Riaz, M, Muhammad G. Copper deficiency in ruminants in Pakistan. *Matrix Science Medica (MSM)*. 2018; 2(1):18-21. <http://doi.org/10.26480/msm.02.2018.18.21>

17. Council NR. Minerals. In: National Research Council, ed. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 7th ed. Washington DC: National Academy Press; 2001. <https://profsite.um.ac.ir/~kalidari/software/NRC/HELP/NRC%202001.pdf>
18. AOAC. *Official Methods of Analysis Association of Official Analytical Chemists*. 21^a ed. Arlington VA. 2019. <https://www.aoac.org/official-methods-of-analysis-21st-edition-2019/>
19. Van Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA. Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nonstarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition. *J Dairy Sci*. 1991; 74(10):3583-3597. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
20. Bagnicka E, Kościuczuk EM, Jarczak J, Jóźwik A, Strzałkowska N, Słoniewska D, Krzyżewski J. The effect of inorganic and organic selenium added to diets on milk yield, milk chemical and mineral composition and the blood serum metabolic profile of dairy cows. *Anim Sci Pap Reports*. 2017; 35(3):17-34. <https://journals.indexcopernicus.com/search/article?articleId=1679645>
21. Sun P, Wang J, Liu W, Bu DP, Liu SJ, Zhang KZ. Hydroxy-selenomethionine: A novel organic selenium source that improves antioxidant status and selenium concentrations in milk and plasma of mid-lactation dairy cows. *J Dairy Sci*. 2017; 100(12):9602-9610. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12610>
22. Stockdale CR, Shields PM, McKenna A, Walker GP, Dunshea FR, Doyle PT. Selenium levels in cows fed pasture and concentrates or a total mixed ration and supplemented with selenized yeast to produce milk with supra-nutritional selenium concentrations. *J Dairy Sci*. 2011; 94(1):262-272. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3590>
23. Stockdale CR, Gill HS. Effect of duration and level of supplementation of diets of lactating dairy cows with selenized yeast on selenium concentrations in milk and blood after the withdrawal of supplementation. *J Dairy Sci*. 2011; 94(5):2351-2359. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3781>
24. Warken AC, Lopes LS, Bottari NB, Glombowsky P, Galli GM, Morsch VM, Schetinger MRC, Da silva AS. Mineral supplementation stimulates the immune system and antioxidant responses of dairy cows and reduces somatic cell counts in milk. *An Acad Bras Cienc*. 2018; 90(2):1649-1658. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201820170524>
25. Zhang L, Liu XR, Liu JZ, An XP, Zhou ZQ, Cao POR, Song YX. Supplemented Organic and Inorganic Selenium Affects Milk Performance and Selenium Concentration in Milk and Tissues in the Guanzhong Dairy Goat. *Biol Trace Elem Res*. 2018; 183(2):254-260. <https://doi.org/10.1007/s12011-017-1112-1>
26. Phipps RH, Grandison AS, Jones AK, Juniper DT, Ramos-Morales E, Bertin G. Selenium supplementation of lactating dairy cows: Effects on milk production and total selenium content and speciation in blood, milk and cheese. *Animal*. 2008; 2(11):1610-1618. <https://doi.org/10.1017/S175173110800298X>
27. Yamamoto S, Ito K, Suzuki K, Matsushima Y, Watanabe I, Watanabe Y, Abiko K, Kamada T, Sato K. Kinematic gait analysis and lactation performance in dairy cows fed a diet supplemented with zinc, manganese, copper and cobalt. *Anim Sci J*. 2014; 85(3):330-335. <https://doi.org/10.1111/asj.12141>
28. Griffiths LM, Loeffler SH, Socha MT, Tomlinson DJ, Johnson AB. Effects of supplementing complexed zinc, manganese, copper and cobalt on lactation and reproductive performance of intensively grazed lactating dairy cattle on the South Island of New Zealand. *Anim Feed Sci Technol*. 2007; 137(1-2):69-83. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.10.006>
29. Juniper DT, Phipps RH, Jones AK, Bertin G. Selenium supplementation of lactating dairy cows: Effect on selenium concentration in blood, milk, urine, and feces. *J Dairy Sci*. 2006; 89(9):3544-3551. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72394-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72394-3)

30. Campbell MH, Miller JK, Schrick FN. Effect of Additional Cobalt, Copper, Manganese, and Zinc on Reproduction and Milk Yield of Lactating Dairy Cows Receiving Bovine Somatotropin. *J Dairy Sci.* 1999; 82(5):1019-1025. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(99\)75322-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(99)75322-1)
31. Cortinhas CS, Freitas Júnior JE, Naves JDR, Porcionato MADF, Prada LF, Renno FP, Santos MVD. Organic and inorganic sources of zinc, copper and selenium in diets for dairy cows: Intake, blood metabolic profile, milk yield and composition. *Rev Bras Zootec.* 2012; 41(6):1477-1483. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982012000600023>
32. Cetz UFH, Cervantes TJI, Sauri DE, Bores QRA, Castellanos RAF. Impacto del empleo de microminerales quelatados en la alimentación de rumiantes. *Livest Res Rural Dev.* 2005; 17(9):36-42. <http://www.lrrd.org/lrrd17/9/cetz17097.htm>
33. Uchida K, Mandebvu P, Ballard CS, Sniffen CJ, Carter MP. Effect of feeding a combination of zinc, manganese and copper amino acid complexes, and cobalt glucoheptonate on performance of early lactation high producing dairy cows. *Anim Feed Sci Technol.* 2001; 93(3-4):193-203. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(01\)00279-6](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(01)00279-6)
34. Rabiee AR, Lean IJ, Stevenson MA, Socha MT. Effects of feeding organic trace minerals on milk production and reproductive performance in lactating dairy cows: A meta-analysis. *J Dairy Sci.* 2010; 93(9):4239-4251. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3058>
35. Mourad RS. Blood Biochemical Components and Progesterone Hormone on Day of Estrus in Crossbred Cattle in Egypt. *J Ilmu Ternak Dan Vet.* 2018; 23(3):103. <http://dx.doi.org/10.14334/jitv.v23i3.1855>
36. Balamurugan B, Ramamoorthy M, Mandal RSK, Keerthana J, Gopalakrishnan G, Kavya KM, Kharayat NS, Chaudhary GR, Katiyar R. Mineral an important nutrient for efficient reproductive health of dairy cattle. *International J Sci Environ Technol.* 2017; 6(1):694-701. <http://www.ijset.net/journal/1593.pdf>
37. Todorović MJ, Davidović V, Rašović MB. The effects of some microelements supplementation-selenium, zinc and copper into dairy cows feeds on their health and reproductive performances. *Biotechnology Animal Husbandry.* 2016; 32(2):101-110. <https://doi.org/10.2298/BAH1602101J>
38. Kamada H. Effects of selenium-rich yeast supplementation on the plasma progesterone levels of postpartum dairy cows. *Asian-Australas J Anim Sci.* 2017; 30(3):347. <https://doi.org/10.5713/ajas.16.0372>
39. Sharma A, Singh M, Kumar P, Sharma A, Neelam AMJ, Sharma P. Postpartum Uterine Infections in Cows and Factors Affecting it—A Review. *Int J Curr Microbiol App Sci.* 2017; 6(9):1020-1028. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.609.123>
40. Surai PF, Kochish II, Fisinin VI, Juniper DT. Revisiting Oxidative Stress and the Use of Organic Selenium in Dairy Cow Nutrition. *Animals.* 2019; 9(7):462. <https://doi.org/10.3390/ani9070462>