

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.

ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), septiembre-octubre 2025,

Volumen 9, Número 5.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i5

MINERALES EN PLASMA, PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE LECHE CAPRINA UTILIZANDO DIFERENTE FUENTE DE COBRE Y ZINC

PLASMA MINERALS, PRODUCTION AND QUALITY OF
GOAT MILK USING DIFFERENT SOURCES OF COPPER
AND ZINC

Noé Galindo Dorantes

Universidad Autónoma Chapingo, México

Maximino Huerta Bravo

Universidad Autónoma Chapingo, México

Agustín Ruiz Flores

Universidad Autónoma Chapingo, México

José Orlando Jiménez Paez

Universidad Autónoma Chapingo, México

Minerales en plasma, producción y calidad de leche caprina utilizando diferente fuente de cobre y zinc

Noé Galindo Dorantes¹

galindodn@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-2559-6141>

Universidad Autónoma Chapingo, México

Agustín Ruiz Flores

aruizf@chapingo.mx

<https://orcid.org/0000-0001-8267-2107>

Universidad Autónoma Chapingo, México

Maximino Huerta Bravo

maximino_h@hotmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-9150-8971>

Universidad Autónoma Chapingo, México

José Orlando Jiménez Paez

jimpaorl9113@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-2187-6381>

Synbios, México

RESUMEN

La nutrición mineral adecuada del ganado mejora su productividad, para esto existen diversas opciones comerciales. Este estudio evaluó el efecto de fuentes hidroxiladas y sulfatos de cobre (Cu) y zinc (Zn) en la producción, calidad de leche y biodisponibilidad mineral en cabras. Se utilizaron 30 cabras multíparas Alpina, Toggemburg y Saanen, distribuidas aleatoriamente en dos tratamientos: 1) Cu y Zn de sulfatos y 2) Cu y Zn hidroxilados. Se formuló una dieta integral siguiendo las recomendaciones del NRC (2007), suministrándose de 30 d prepardo hasta 30 d posparto, dos veces día⁻¹. Se tomaron muestras de sangre antes y después de proporcionar los tratamientos experimentales por punción de la vena yugular. Los minerales se determinaron por espectrofotometría de absorción atómica. El ordeño fue manual y las muestras de leche, recolectadas semanalmente en viales de 200 ml, se procesaron con un MilkoScan™ FT 120. Las células somáticas (SCC) se cuantificaron usando el kit Somaticell SCC®, y los datos se analizaron bajo un diseño completamente al azar en arreglo de parcelas divididas. Los resultados mostraron que la concentración de Cu fue menor ($P<0.001$) y deficiente en cabras que recibieron minerales hidroxilados. No hubo diferencias en producción, o composición porcentual de proteína, sólidos totales, sólidos no grasos o SCC de la leche. Sin embargo, la grasa en leche fue mayor ($P\leq0.02$) en cabras que recibieron minerales hidroxilados únicamente en el primer y tercer periodo de muestreo. Ambas fuentes de minerales se pueden utilizar sin afectar la productividad y la concentración mineral en plasma sanguíneo de cabras, excepto para el caso del cobre.

Palabras clave: minerales hidroxilados, biodisponibilidad, minerales traza, SCC, cabras

¹ Autor principal.

Correspondencia: galindodn@gmail.com

Plasma minerals, production and quality of goat milk using different sources of copper and zinc

ABSTRACT

Adequate mineral nutrition in livestock enhances its productivity, and diverse commercial options are available to achieve this. This study evaluated the effect of hydroxylated and sulfate sources of copper (Cu) and zinc (Zn) on milk production, milk quality, and mineral bioavailability in goats. Thirty multiparous Alpine, Toggenburg, and Saanen goats were randomly assigned to two treatments: 1) sulfate Cu and Zn, and 2) hydroxylated Cu and Zn. A complete diet was formulated according to the NRC (2007) recommendations. It was provided twice daily from 30 d before until 30 d after parturition. Blood samples were taken, before and after providing the experimental treatments, by jugular vein puncture. The minerals were determined by atomic absorption spectrophotometry. Milking was by hand and milk samples, collected weekly in 200 ml vials, were processed with a MilkoScan™ FT 120. Somatic cells (SCC) were quantified using the Somaticell SCC® kit, and the data were analyzed following a completely randomized design in a split-plot arrangement. The results showed that Cu concentration was lower ($P<0.001$) in goats receiving hydroxylated minerals. There were no differences in milk yield, protein, total solids, non-fat solids, or SCC. However, milk fat was higher ($P\leq0.02$) in goats that received hydroxylated minerals only during the first and third period. Both mineral sources can be used without affecting productivity and mineral bioavailability in goats, except copper in blood serum.

Key words: hydroxylated minerals, bioavailability, trace minerals, SCC, goats

*Artículo recibido 25 agosto 2025
Aceptado para publicación: 25 setiembre 2025*



INTRODUCCIÓN

La inclusión de microminerales o minerales traza (MT) esenciales en las dietas para animales es necesaria por múltiples razones (Caldera et al., 2015; Byrne & Murphy, 2022): 1) Un gran número de reacciones bioquímicas requieren MT para su adecuado funcionamiento (Caldera et al., 2015), 2) Juegan un papel importante en el cuerpo como cofactores de enzimas involucradas en el control de radicales libres en el cuerpo y son vitales para la capacidad antioxidante, especialmente el estrés oxidativo y el adecuado funcionamiento del sistema inmune (Overton & Yasui, 2014 y Goff, 2018); y 3) están involucrados en funciones estructurales, fisiológicas, catalíticas y regulatorias (Byrne & Murphy, 2022). Cotidianamente las fuentes utilizadas para adicionar MT a las raciones de los animales son los sulfatos, también conocidos como minerales inorgánicos que son altamente solubles en medios acuosos (van Kuijk et al., 2022). La suplementación de MT inorgánicos ha sido efectiva en prevenir y corregir las deficiencias de minerales en el ganado (Spears, 2013), en los sulfatos un ion mineral está unido a un ion sulfato mediante un enlace iónico (Wagner et al., 2016). Por otro lado, los minerales orgánicos o quelatados son moléculas donde un ion mineral esta covalentemente unido a un carbohidrato, proteína o una molécula de aminoácido (Wagner et al., 2016). Los minerales hidroxilados se manufacturan utilizando un proceso patentado donde se hace reaccionar formas altamente purificadas de los minerales con agua, como fuente de grupos hidroxilo y ácido clorhídrico, como fuente de cloruro (Wagner et al., 2016). Durante el proceso, se forman cristales de hidroxicloruro que mantienen al ion mineral unido mediante enlaces covalentes a grupos hidroxilo y cloruros (Wagner et al., 2016). Muchas de las interacciones entre los MT tienen lugar en el ambiente ruminal, una ventaja de los minerales hidroxilados es su capacidad de sobrepasar el rumen, minimizando las interacciones que normalmente ocurren ahí (Spears, 2013).

Las fuentes de minerales que proporcionen una mayor biodisponibilidad de los elementos podrían ayudar a reducir la cantidad de minerales adicionados a las raciones con los efectos inmediatos de reducir los costos de las raciones y disminuir la contaminación ambiental que se genera por la excreción de los minerales no aprovechados por el ganado (Wagner et al., 2016). Se han realizado algunos trabajos, particularmente en ganado lechero (Uchida et al., 2001; Kincaid & Socha, 2004; Formigoni et al., 2011; Yasui et al., 2014; Pomport et al., 2021) donde evaluaron la producción y calidad de leche utilizando



MT orgánicos o hidroxilados comparados con sulfatos, los resultados son variables, estos estudios se enfocaron principalmente en cobre, zinc y manganeso. Por otro lado, los trabajos para evaluar la biodisponibilidad y el efecto de los minerales hidroxilados en la producción de leche de cabras son escasos. Por tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar la producción y la calidad de leche, así como la concentración mineral en plasma sanguíneo de cabras productoras de leche cuando se utilizan fuentes de cobre y zinc hidroxilados en comparación con sulfatos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en el Módulo de Ovinos y Caprinos de la Granja Experimental del Departamento de Zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo en el municipio de Texcoco, estado de México.

Animales y dietas experimentales

Se utilizaron 30 cabras multíparas Alpina, Toggemburg y Saanen. Aproximadamente 30 d antes de la fecha de parto se asignaron aleatoriamente a uno de dos tratamientos: 1) utilización de sulfatos como fuente de Cu ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) y Zn (ZnSO_4) y 2) utilización de hidroxicloruros como fuente de cobre ($\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$) y Zn ($\text{Zn}_5(\text{OH})_8\text{Cl}_2(\text{H}_2\text{O})$), conocidos como hidroximinerales. Las cabras se alimentaron a libre acceso con una dieta integral (Cuadro 1), la dieta y la premezcla mineral (Cuadro 2) se formularon de acuerdo con las recomendaciones del NRC (2007). El periodo experimental consistió en 30 d antes de la fecha probable de parto hasta 30 d después de éste. Los primeros 15 d las cabras se alimentaron a base de ensilado de maíz más 1 kg de la dieta experimental, el resto del periodo se alimentaron a libre acceso con los tratamientos correspondientes, el alimento se les ofreció a las 08:00 y 16:00 h.

Cuadro 1

Composición de la dieta experimental

Ingrediente	Inclusión (%)
Grano de sorgo	57.0
Pasta de Soya	2.2
Gluten de Maíz	6.0
Alfalfa Achicalada	9.0
Paja de Avena	23.3



Premezcla mineral ^a	2.0
Sal común	0.5
Contenido Nutrimental	
EM (Mcal/kg MS)	2.6
PC (%)	14
PCNDR (%)	7
FDN (%)	28
Proporción Forraje:Concentrado	
Forraje	32.4
Concentrado	67.6

^a la composición de la premezcla mineral se muestra en el Cuadro 2

Cuadro 2

Composición de la premezcla mineral

Ingrediente	Inclusión en la premezcla (%)	
	Sulfatos	Hidroxilados
Carbonato de calcio	22.56	22.56
Ortofosfato de calcio	29.17	29.17
Oxido de magnesio	16.67	16.67
Sulfato de manganeso	0.35	0.35
Sulfato de cobre	0.40	0
Hidrocloruro de cobre	0	0.17
EDDI	0.00625	0.00625
Carbonato de cobalto	0.002	0.002
Sulfato de zinc	0.71	0
Hidroxicloruro de zinc	0	0.42
Selenito de sodio	0.00667	0.00667
Sal común	30.12	30.64



La premezcla mineral aportó: Ca, 0.18%; P, 0.14%; Mg, 0.18%; Mn, 20 ppm; Cu, 20 ppm; I, 1 ppm; Co, 0.20 ppm; Zn, 50 ppm y Se, 0.6 ppm.

Toma y procesamiento de muestras

Minerales. Para determinar los minerales en el plasma sanguíneo se tomaron muestras mediante punción de la vena yugular en tubos vacutainer de 10 mL, se mantuvieron en refrigeración para su transporte al laboratorio donde se centrifugaron a 2500 rpm por 15 minutos para obtener el plasma, el cual se congeló hasta su posterior análisis. La primera muestra se tomó antes de iniciar el periodo experimental, después del parto se tomaron tres muestras a intervalos de 10 d.

La determinación de minerales se realizó mediante espectrofotometría de absorción atómica en un espectrofotómetro Perkin Elmer modelo AAnalyst 700, la determinación de fósforo se realizó por colorimetría en un espectrofotómetro Perkin Elmer UV/VIS modelo Lambda 2, siguiendo la metodología descrita por Fick et al. (1979). Se determinaron las concentraciones de cobre (Cu), zinc (Zn), hierro (Fe), manganeso (Mn), calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K) y fósforo (P).

Leche. Las cabras se ordeñaron manualmente una vez por semana a las 07:00 h, el primer ordeño se realizó tres días después del parto. se registró la producción y se tomaron muestras de leche de aproximadamente 200 mL y se colocaron en un vial para transportarlas al laboratorio para su análisis. Se utilizó un MilkoScanTM FT 120 para determinar los porcentajes de proteína, grasa, sólidos totales, sólidos no grasos y lactosa.

La determinación de células somáticas se realizó por medio del kit Somaticell SCC® mediante el siguiente procedimiento: a) agregar 2 mL de reactivo al tubo, b) agregar 2 mL de leche, c) agitar la mezcla en diez ocasiones volteando el tubo de arriba abajo, d) tapar el tubo e invertirlo y dejar escurrir por 20 segundos, utilizar un cronómetro, e) regresar el tubo a su posición normal y proceder a realizar la lectura.

Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó un diseño completamente aleatorizado en arreglo de parcelas divididas, la parcela grande fue el tratamiento y la parcela chica el periodo de muestreo. El modelo estadístico utilizado para las diferentes variables analizadas fue:

$$y_{ijk} = \mu + T_i + \epsilon_{ij} + P_k + TP_{ik} + \epsilon_{ijk}$$



y_{ijk} = variable de respuesta correspondiente al i-ésimo tratamiento, j-ésima repetición en el k-ésimo periodo,

μ = media general,

T_i = efecto de i-ésimo tratamiento,

ϵ_{ij} = error experimental,

P_k = efecto del k-ésimo periodo,

TP_{ik} = efecto de la interacción tratamiento por periodo,

ϵ_{ijk} = error de subparcela

La comparación de medias se realizó mediante la prueba de TUKEY con un nivel de significancia de 0.05 mediante el programa estadístico SAS® Studio, (2025) utilizando el procedimiento GLM.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La fuente de Cu y Zn no afectó ($P>0.403$) las concentraciones de Ca, Na, K, P, Mg, Zn, Fe y Mn en plasma sanguíneo de cabras lecheras (Cuadro 3). La concentración de cobre fue 47.83% más baja ($P<0.001$) en las cabras alimentadas con cobre hidroxilado con respecto a las alimentadas con sulfatos. Con excepción de Fe, las concentraciones plasmáticas de los minerales estuvieron por debajo de los valores considerados normales (Muñoz et al., 2015). Lo anterior puede ser por un deficiente manejo nutricional del rebaño. Hay pocos trabajos que evalúan el efecto de suministrar minerales hidroxilados (HTM) y su relación con la concentración de minerales en el plasma de cabras lecheras. En la búsqueda de evitar las interacciones que existen en el ambiente ruminal con las fuentes de minerales con base en sulfatos se han diseñado minerales orgánicos y HTM, ambos tienen la capacidad de sobrepasar las condiciones higroscópicas del rumen y disolverse en el ambiente ácido del abomaso, mejorando así su absorción por parte de los rumiantes (Spears, 2013). Sin embargo, se han observado resultados contradictorios. En este estudio, nuestros resultados contrastan con los reportados por Farrag et al. (2021) quienes no observaron diferencias en las concentraciones de cobre de cabras alimentadas con fuentes orgánicas o inorgánicas en las diferentes etapas de preñez. Muñoz et al. (2015), reportaron un incremento en la concentración sérica de cobre en cabras lecheras cuando suministraron 5 mg de alambre de óxido de cobre, mientras que la concentración de zinc disminuyó. Por otro lado, Vanvalin et al. (2019)



reportaron que novillos suplementados con 10 mg Cu/kg MS tuvieron mayor concentración de cobre en hígado que los suplementados con 5 mg Cu/kg MS o los del tratamiento control. Sin embargo, al igual que Caramalac et al. (2017) y Spears et al. (2004) no encontraron diferencias en la concentración final de cobre en hígado y plasma de novillos que recibieron Cu de fuentes inorgánicas o hidroxiladas. Por otro lado, Henderson et al. (2024) observaron que novillos suplementados con sulfato de cobre tuvieron mayor concentración de Cu en plasma que aquellos que recibieron glicinato de cobre. Estos mismos autores reportaron que no hubo diferencias en la concentración de Cu en el hígado de novillos cuando fueron alimentados con sulfatos vs glicinatos. Shaeffer et al. (2017) observaron una mayor absorción y retención de Zn en novillos alimentados con hidroxicloruro de Zn en comparación con los alimentados con sulfato de zinc, así mismo, registraron que el día 40 del experimento la concentración de Zn en plasma fue mayor en los novillos que recibieron hidroxicloruro de Zn. En contraste, Caramalac et al. (2017) no observaron diferencias en la concentración de Zn en plasma de novillos alimentados con fuentes inorgánicas o hidroxiladas.

Cuadro 3

Valores normales de minerales (mg L⁻¹), medias de mínimos cuadrados (Sulfatos e Hidroxilados), error estándar de la media (EEM) y nivel de significancia para los efectos de fuente (Trat), periodo (Per) y su interacción en la concentración de minerales en plasma sanguíneo de cabras lecheras.

Variable	Tratamiento (Trat)				Comparación		
	Normal	Sulfatos	Hidroxilados	EEM ^a	Trat	Per ^b	Trat x Per
Ca	80-110	30.81	32.68	1.264	0.615	<0.001	0.336
Na	3200-3500	1808.20	1796.66	40.93	0.531	0.211	0.054
K	150-200	123.70	128.52	3.504	0.690	0.0006	0.412
P	40-60	23.14	22.06	1.125	0.403	<0.001	0.806
Mg	18-35	24.07	24.49	0.626	0.797	0.063	0.280
Cu	0.8-1.5	0.92	0.48	0.031	<0.001	<0.001	<0.001
Zn	1.1-2.5	0.61	0.62	0.015	0.921	0.014	0.022
Fe	1.0-2.5	2.20	2.19	0.057	0.104	<0.001	0.286
Mn		0.67	0.66	0.014	0.688	0.001	0.811

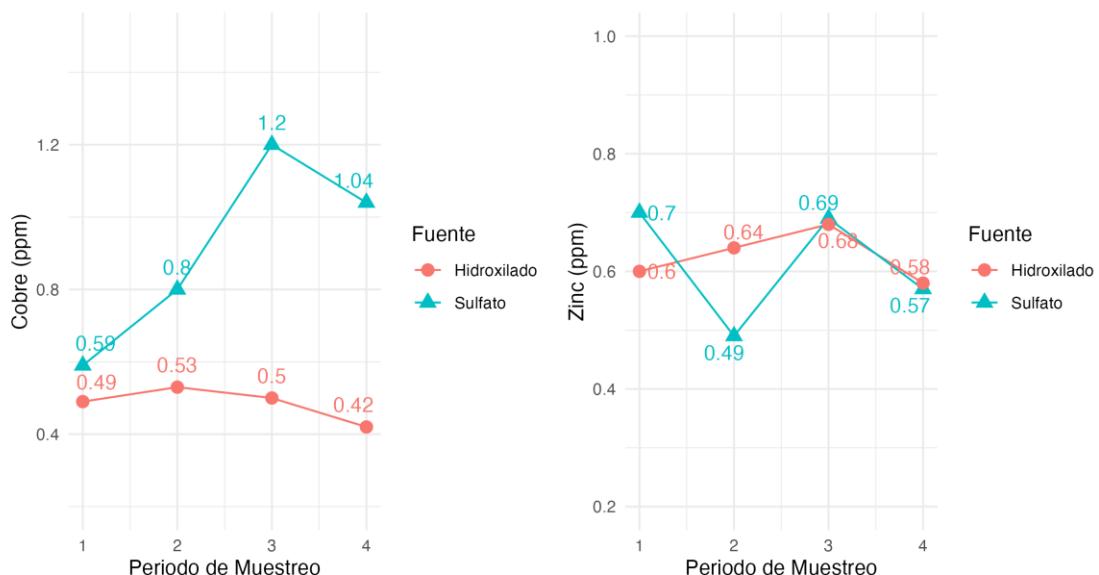
^aEEM = Error Estándar de la Media

^bPer = Periodo de muestreo



Se observó una interacción significativa (Cuadro 3) entre tratamiento y periodo de muestreo para la concentración plasmática de cobre, zinc y sodio ($P \leq 0.054$). En cobre, la diferencia se presenta a partir del periodo dos al cuatro, en zinc la diferencia se observa en el periodo dos (Figura 1). La concentración de Zn y Cu en plasma de novillos en finalización fue similar cuando se suplementaron las dietas con 90 mg/kg MS de Zn y 17.5 mg/kg MS de Cu utilizando fuentes hidroxiladas y sulfatos (Caldera et al., 2017).

Figura 1. Concentración de cobre y zinc en plasma (ppm) de cabras alimentadas con diferente fuente de estos minerales durante la lactancia a través de los diferentes períodos de muestreo



No se observaron diferencias significativas ($P > 0.05$) en la producción de leche (Cuadro 4) al utilizar diferente fuente de cobre y zinc en la dieta de cabras lecheras. Las cabras que recibieron dietas suplementadas con minerales traza hidroxilados tuvieron una producción mayor en comparación al tratamiento control, sin ser estadísticamente significativa. La fuente de cobre y zinc no tuvo efecto ($P > 0.05$) sobre proteína, lactosa, sólidos no grasos y sólidos totales (Cuadro 4) en la leche de cabra. El contenido de grasa fue mayor ($P \leq 0.02$) en el grupo de cabras que recibieron minerales traza hidroxilados en el primer y tercer periodo únicamente, estos resultados contrastan con los de Salama et al. (2003) quienes encontraron un menor contenido de grasa en leche de cabras que recibieron una dieta con Zn orgánico en comparación con la de cabras que recibieron la dieta con una fuente inorgánica de Zn. Así

misma, se presentó una interacción ($P=0.01$) del tratamiento a través del tiempo para el contenido de grasa en leche (Figura 2). El contenido de células somáticas no se afectó ($P>0.05$) por la fuente de cobre y zinc utilizada en las dietas experimentales proporcionadas a las cabras (Cuadro 4). Son pocos los trabajos que se han realizado para evaluar el efecto de suministrar HTM en la producción y calidad de leche de cabras. En el estudio realizado por Salama et al. (2003) donde suplementaron las dietas de cabras con Zn-metionina vs óxido de Zinc durante 20 semanas, no se observaron diferencias en la producción de leche. Por otro lado, Yasui et al. (2014) en vacas lecheras en donde suplementaron Cu, Zn y Mn de fuentes inorgánicas e hidroxiladas no observaron diferencias en producción de leche ni en sus componentes (grasa, proteína y lactosa). En estudios realizados por Uchida et al. (2001); Kincaid & Socha (2004); Formigoni et al. (2011) y Osorio et al. (2016) no se observaron diferencias significativas en producción de leche en vacas cuando se suplementaron Cu, Zn y Mn de fuentes inorgánicas frente a orgánicas. Por otro lado, Pomport et al. (2021) observaron un incremento en la producción de leche de vacas alimentadas con dietas suplementadas con minerales traza orgánicos en comparación con inorgánicos. En contraste, Mion et al. (2022) reportaron una menor producción de leche en vacas de primer parto que recibieron minerales traza de fuentes orgánicas en comparación con las que recibieron estos minerales de fuentes inorgánicas.

Cuadro 4

Efecto de la fuente de cobre y zinc sobre producción de leche y sus características en cabras lecheras

Variable	Tratamiento (Trat)			Comparación		
	Sulfatos	Hidroxilados	EEM	Trat	Per	Trat x Per
Leche, kg d ⁻¹	0.78	1.01	0.07	0.31	0.68	0.71
Grasa, %	2.97	4.05	0.27	0.02	<0.05	0.01
Proteína, %	3.15	3.17	0.07	0.93	0.34	0.79
Lactosa, %	4.20	3.96	0.17	0.25	<0.05	0.34
SNG, %	8.27	8.20	0.14	0.76	<0.05	0.93
ST, %	11.20	12.28	0.30	0.07	0.11	0.06
CCS	652.19	874.83	69.42	0.29	0.98	0.88

SNG = Sólidos no grasos

ST = Sólidos totales



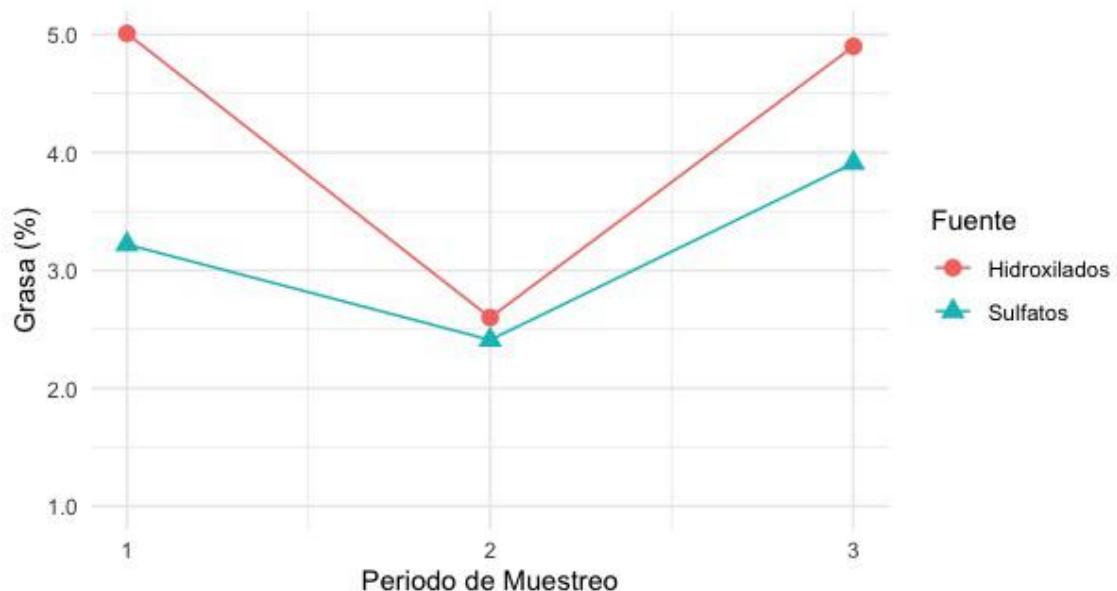
EEM = Error estándar de la media

CCS = Conteo de Células Somáticas (10^3 células/mL)

La concentración de grasa fue mayor durante todo el periodo experimental en las cabras que recibieron la premezcla mineral con cobre y zinc hidroxilado, en el segundo muestreo hubo una caída en el contenido de grasa en leche de ambos tratamientos (Figura 2). Estos resultados coinciden con los observados por Formigoni et al. (2011) quienes reportaron un incremento en la producción de grasa en los primeros 150 d de lactación en vacas que recibieron minerales orgánicos comparadas con las que recibieron inorgánicos. Sin embargo, Uchida et al. (2001) no observaron efectos en el contenido de grasa en leche de vacas que recibieron minerales traza orgánicos en comparación con las que los recibieron de fuentes inorgánicas. Por otro lado, Salama et al. (2003) observaron una disminución ($P=0.07$) de 8.8% en el contenido de grasa en leche de cabras suplementadas con 1 g/d de Zinc-metionina. Resultados similares fueron observados por Song et al. (2024) quienes registraron una disminución en el contenido de grasa en leche de cabras cuando reemplazaron minerales traza de fuentes inorgánicas por orgánicas. En diversos estudios realizados en vacas lecheras (Uchida et al., 2001; Kincaid & Socha, 2004; Formigoni et al., 2011 y Osorio et al., 2016) y en cabras (Salama et al., 2003) no se observaron diferencias en el conteo de células somáticas al suplementar dietas con minerales traza orgánicos en comparación con los inorgánicos, estos resultados coinciden con los observados en este estudio.



Figura 2. Concentración de grasa en leche de cabras alimentadas con diferente fuente de cobre y zinc en la dieta a través de los períodos de muestreo.



CONCLUSIONES

La apropiada nutrición mineral de los animales de producción es de suma importancia para que puedan expresar su potencial genético. En rumiantes, debido a sus particularidades en su fisiología digestiva, es importante garantizar el suministro adecuado de minerales traza. Alimentar cabras lecheras con minerales hidroxilados en sustitución de sulfatos, no afectó la concentración en plasma de los principales elementos limitantes de la producción, excepto cobre, que presentó una menor concentración en las cabras que recibieron minerales hidroxilados. La producción de leche, contenido de proteína, lactosa, sólidos no grasos y SCC no se afectó por la suplementación de minerales hidroxilados. Cuando las cabras se alimentaron con minerales hidroxilados el contenido de grasa se mejoró únicamente en el primer y tercer periodo y los sólidos totales mostraron una tendencia a incrementarse. En futuras investigaciones se podría considerar evaluar la biodisponibilidad a través de medir la actividad de las principales enzimas donde Cu y Zn juegan un papel importante.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Byrne, L., & Murphy, R. A. (2022). Relative Bioavailability of Trace Minerals in Production Animal Nutrition: A Review. *Animals*, 12(15). <https://doi.org/10.3390/ani12151981>
- Caldera, E., Engle, T. E., Wagner, J. J., Archibeque, S. L., & Rollin, B. (2015). *Dissertation examining in vitro and in vivo characteristics of intellibond and sulfate forms of copper, zinc, and manganese Submitted by*. Colorado State University.
- Caldera, E., Wagner, J. J., Sellins, K., Laudert, S. B., Spears, J. W., Archibeque, S. L., & Engle, T. E. (2017). Effects of supplemental zinc, copper, and manganese concentration and source on performance and carcass characteristics of feedlot steers. *Professional Animal Scientist*, 33(1), 63–72. <https://doi.org/10.15232/pas.2016-01531>
- Caramalac, L. S., Saran Netto, A., Martins, P. G. M. A., Moriel, P., Ranches, J., Fernandes, H. J., & Arthington, J. D. (2017). Effects of hydroxychloride sources of copper, zinc, and manganese on measures of supplement intake, mineral status, and pre- and postweaning performance of beef calves. *Journal of Animal Science*, 95(4), 1739–1750. <https://doi.org/10.2527/jas2016.0934>
- Farrag, B., El-Hamid, I. S. A., El-Rayes, M. A. H., Shedeed, H. A., & Younis, F. E. (2021). Effect of Some Organic and Mineral Salts Supplementation on Hematological, Biochemical, Immunological Constituents and Reproduction in Hassani Goats under Arid Conditions. *Advances in Animal and Veterinary Sciences*, 9(12), 2036–2046. <https://doi.org/10.17582/journal.aavs/2021/9.12.2036.2046>
- Fick, K. A., McDowell, L. R., Miles, P. H., Wilkinson, N. S., Funk, J. D., Conrad, J. H., & Valdivia, R. (1979). *Métodos de análisis de minerales para tejidos de plantas y animales*. University of Florida.
- Formigoni, A., Fustini, M., Archetti, L., Emanuele, S., Sniffen, C., & Biagi, G. (2011). Effects of an organic source of copper, manganese and zinc on dairy cattle productive performance, health status and fertility. *Animal Feed Science and Technology*, 164(3–4), 191–198. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.01.010>



Goff, J. P. (2018). Invited review: Mineral absorption mechanisms, mineral interactions that affect acid–base and antioxidant status, and diet considerations to improve mineral status. *Journal of Dairy Science*, 101(4), 2763–2813. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13112>

Henderson, J. A., Niedermayer-Conway, E. K., & Hansen, S. L. (2024). Determination of relative bioavailability of copper from copper glycinate in growing beef steers. *Translational Animal Science*, 8. <https://doi.org/10.1093/tas/txae105>

Kincaid, R. L., & Socha, M. T. (2004). Inorganic Versus Complexed Trace Mineral Supplements on Performance of Dairy Cows. *Professional Animal Scientist*, 20(1), 66–73. [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)31274-2](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)31274-2)

Mion, B., Van Winters, B., King, K., Spricigo, J. F. W., Ogilvie, L., Guan, L., DeVries, T. J., McBride, B. W., LeBlanc, S. J., Steele, M. A., & Ribeiro, E. S. (2022). Effects of replacing inorganic salts of trace minerals with organic trace minerals in pre- and postpartum diets on feeding behavior, rumen fermentation, and performance of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 105(8), 6693–6709. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-21908>

Muñoz, G. J. C., Huerta, B. M., Ramírez, V. R., & González, A. 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. www.ujat.mx/era

NRC. (2007). *Nutrients Requirements of Small Ruminants*. National Academies Press.

Osorio, J. S., Trevisi, E., Li, C., Drackley, J. K., Socha, M. T., & Loor, J. J. (2016). Supplementing Zn, Mn, and Cu from amino acid complexes and Co from cobalt glucoheptonate during the peripartal period benefits postpartal cow performance and blood neutrophil function. *Journal of Dairy Science*, 99(3), 1868–1883. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10040>

Overton, T. R., & Yasui, T. (2014). Practical applications of trace minerals for dairy cattle. *Journal of Animal Science*, 92(2), 416–426. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-7145>



Pomport, P. H., Warren, H. E., & Taylor-Pickard, J. (2021). Effect of total replacement of inorganic with organic sources of key trace minerals on performance and health of high producing dairy cows.

Journal of Applied Animal Nutrition, 9(1), 23–30. <https://doi.org/10.3920/JAAN2020.0018>

Salama, A. A. K., Caja, G., Albanell, E., Such, X., Casals, R., & Plaixats, J. (2003). Effects of dietary supplements of zinc-methionine on milk production, udder health and zinc metabolism in dairy goats. *Journal of Dairy Research*, 70(1), 9–17. <https://doi.org/10.1017/S0022029902005708>

Shaeffer, G. L., Lloyd, K. E., & Spears, J. W. (2017). Bioavailability of zinc hydroxychloride relative to zinc sulfate in growing cattle fed a corn-cottonseed hull-based diet. *Animal Feed Science and Technology*, 232, 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.07.013>

Song, Y., Weng, Y., Liu, S., Usman, M., Loor, J. J., Lin, G., Hu, Q., Luo, J., & Wang, P. (2024). Effects of reduced levels of organic trace minerals in proteinate forms and selenium yeast in the mineral mix on lactation performance, milk fatty acid composition, nutrient digestibility, and antioxidant status in dairy goats. *Journal of Animal Science*, 102. <https://doi.org/10.1093/jas/skae187>

Spears, J. W. (2013). Advances in Ruminant Trace Mineral Nutrition. *Cornell Nutrition Conference*, 22–24.

Spears, J. W., Kegley, E. B., & Mullis, L. A. (2004). Bioavailability of copper from tribasic copper chloride and copper sulfate in growing cattle. *Animal Feed Science and Technology*, 116(1–2), 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2004.06.002>

Uchida, K., Mandebvu, P., Ballard, C. S., Sniffen, C. J., Carter, M. P., & Miner, W. H. (2001). 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. *Animal Feed Science and Technology*, 93(3–4), 193–203.

van Kuijk, S., Swiegers, P., & Han, Y. (2022). Hydroxychloride trace minerals improve apparent total tract nutrient digestibility in Bonsmara beef cattle. *Livestock Science*, 256. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2021.104820>



Vanvalin, K. R., Genther-Schroeder, O. N., Laudert, S. B., & Hansen, S. L. (2019). Relative bioavailability of organic and hydroxy copper sources in growing steers fed a high antagonist diet.

Journal of Animal Science, 97(3), 1375–1383. <https://doi.org/10.1093/jas/sky487>

Wagner, J. J., Engle, T. E., Caldera, E., Neuhold, K. L., Woerner, D. R., Spears, J. W., Heldt, J. S., & Laudert, S. B. (2016). The effects of zinc hydroxychloride and basic copper chloride on growth performance, carcass characteristics, and liver zinc and copper status at slaughter in yearling feedlot steers. *Professional Animal Scientist*, 32(5), 570–579. <https://doi.org/10.15232/pas.2015-01480>

Yasui, T., Ryan, C. M., Gilbert, R. O., Perryman, K. R., & Overton, T. R. (2014). Effects of hydroxy trace minerals on oxidative metabolism, cytological endometritis, and performance of transition dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 97(6), 3728–3738. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7331>

