

# Parámetros a considerar al momento de elegir fuentes de microelementos minerales para la suplementación del ganado lechero

## Dr. Ricardo Pereira Manzano

Titulación académica:

- Veterinario con un doctorado en Nutrición Animal y Pastos.

En su experiencia laboral se destaca por:

- Trabajó como Gerente de Producto en el mayor molino brasileño de piensos, premezclas vitamínico-minerales y suplementos minerales de libre elección durante 8 años.
- Ha enseñado Nutrición Mineral de Ganado en el programa de pregrado en la Escuela de Agricultura de la Universidad de São Paulo durante 23 años, desde 2001.

Además:

- Tiene sólida experiencia en la formulación de suplementos minerales de libre elección para ganado en pastoreo y formulaciones de premezclas minerales/vitamínicos.





**Biochem**

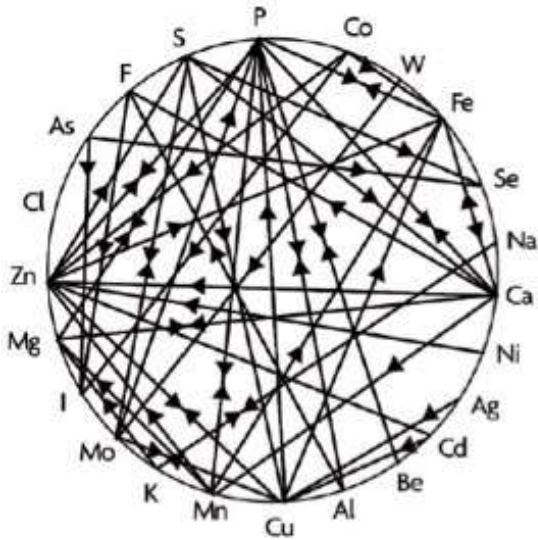
**Feed Safety for Food Safety®**



**PARÁMETROS A CONSIDERAR AL MOMENTO DE ELEGIR  
FUENTES DE MICROELEMENTOS MINERALES PARA LA  
SUPLEMENTACIÓN DEL GANADO LECHERO**

**RICARDO PEREIRA MANZANO  
MEDICO VETERINARIO  
DOCTOR EM NUTRICIÓN ANIMAL  
CONSULTOR TÉCNICO – BIOCHEM BRASIL**

# Desafíos de la suplementación con microelementos



- Reducir la interacción entre los elementos minerales presentes en la dieta;
- Unión estable del microelemento en la molécula elegida como fuente de unión;
- Garantizar que el microelemento esté fácilmente disponible en el sitio de absorción (intestino delgado);
- Asegurar que el microelemento llegue al tejido objetivo y a las vías metabólicas objetivo;
- Reducción en la excreción de metales pesados en el ambiente.

# Principales fuentes de microelementos naturales

## Sulfatos

(Kvidera, 2019)

- Sales con enlace iónico poco estable, disociando el ión metálico del ligante;

(Spears, 2003)

- Interactúan con otros elementos minerales formando complejos insolubles;

(Guimarães et al. 2022)

- Efecto negativo sobre la actividad de las bacterias ruminales

## Hidroxi-cloruros

(Kvidera, 2019)

- Ion metálico con enlace covalente coordinado estable que no se disocia en el rumen;

(Genther e Hansen, 2015)

- **Comienza la disociación cuando alcanza el pH ácido del abomaso, permitiendo su absorción en el intestino;**

(Goff, 2018)

- **Una vez solubilizados en el pH ácido del abomaso, los iones liberados pueden unirse con antagonistas hasta alcanzar el sitio de absorción;**

## Minerales orgánicos

(Kvidera, 2019)

- Enlace covalente estable entre el microelemento mineral y la molécula orgánica, evitando que los minerales se unan con antagonistas y/o otros elementos minerales;

(Spears, 2014)

- Producto más estable que llega al sitio de absorción (intestinos) protegido por el ligante;

(Byrne and Murphy, 2022)

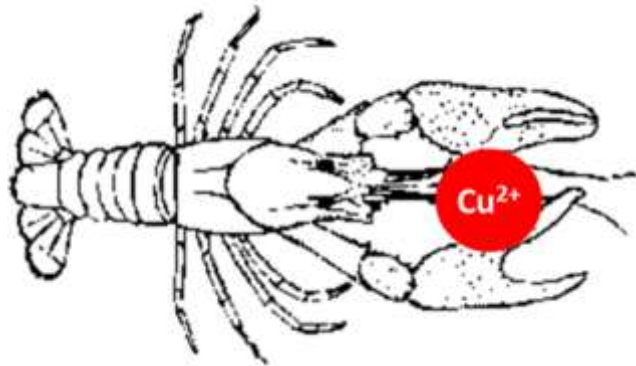
- Cuanto menor sea el peso molecular del ligante, mayor será la probabilidad de absorción;

# CLASIFICACIÓN DE LAS FUENTES DE MINERALES UNIDOS A MOLÉCULAS ORGÁNICAS (AAFCO 2022)

- ✓ **Complejo Metal AA específico:** Producto resultante de la complejación de una sal metálica soluble con un AA específico. **Complejo Zn-Met; Complejo Cu-Lis;**
- ✓ **Complejo Metal AA:** Producto resultante de la complejación de una sal metálica soluble con aminoácidos. **Mezcla de Complejo Zn-Met, Complejo Zn-Lis, Complejo Zn-AA;**
- ✓ **Quelato Metal AA:** Reacción de quelación de una sal metálica con un AA específico a través de enlaces covalentes coordinados, con una proporción molar de 1:1 a 1:3 Metal:AA (preferiblemente 1:2). Peso molecular inferior a 800 Dalton. **Quelato de Zn-Glicina, Quelato de Cu-AA;**
- ✓ **Quelato de HMTBa (Análogo Hidroxílico de Metionina):** Reacción de una sal metálica con HMTBa en una proporción de un mol de metal por 2 moles de HMTBa para formar enlaces covalentes coordinados. **Quelato de Zn-HMTBa, Quelato de Mn-HMTBa;**

# ¿Qué son los quelatos?

**Quelación** es una forma específica de formación de un complejo entre un átomo de metal y una molécula orgánica (ligando) a través de dos o más enlaces separados, formando un “**anillo**”.



La palabra griega **chele** significa **pinza de langosta** que **agarra el metal de ambos lados**



Los quelatos verdaderos tienen una ‘**estructura cíclica**’ formada entre los grupos amino y carboxilo del aminoácido y el ion metálico (Murphy, 2018)...

# CLASIFICACIÓN DE LAS FUENTES DE MINERALES UNIDOS A MOLÉCULAS ORGÁNICAS (AAFCO 2022)

- ✓ **Proteinatos Metálicos:** Producto resultante de la quelación de una sal metálica soluble con aminoácidos y/o proteínas parcialmente hidrolizadas. **Proteinato-Cu, Proteinato-Zn, Proteinato-Co;**
- ✓ **Complejo Metal-Polisacárido:** Producto resultante de la complejación de una sal soluble con una solución de polisacárido. No se utiliza en la nutrición animal. **Complejo Cu-Polisacárido, Complejo Fe-Polisacárido;**
- ✓ **Ácidos Orgánicos Metálicos:** Producto resultante de la reacción de una sal metálica con ácidos orgánicos. **Propionato-Cr, Propionato-Zn, Co-Glucoheptonato;**
- ✓ **Levadura con Selenio:** Levaduras inactivas de *Saccharomyces cerevisiae* fermentadas en un medio que contiene sales de selenio con el objetivo de que el selenio sea incorporado en el material orgánico celular. **“La mayor parte del selenio está en forma de Se-Metionina (Weiss, 2017).”**



# EFECTO DE LA FUENTE DE MICROELEMENTO MINERAL SOBRE LA DIGESTIBILIDAD TOTAL DE LA DIETA EN VACAS EN LACTANCIA

Influencia de la fuente de microelementos minerales (Cu, Mn, Zn) sobre la digestibilidad aparente de MS, PC, FDA y FDN en una dieta para vacas lecheras en lactancia suministrada a novillos – **Colorado State University**.

Item	Tratamientos			Valor de p
	Sulfato	Orgánico <sup>2</sup>	Hidroxi	
IMS, kg/d	8,2	8,2	8,2	-----
Digest. MS, <sup>1</sup> %	64,6 <sup>a</sup>	65,7 <sup>a,b</sup>	66,5 <sup>b</sup>	0,05
Digest. FDA, %	29,8 <sup>a</sup>	31,6 <sup>b</sup>	32,4 <sup>b</sup>	0,05
Digest. FDN, %	43,0 <sup>a</sup>	47,0 <sup>b</sup>	47,6 <sup>b</sup>	0,05
Digest. PC, %	63,5	63,7	64,3	0,20

<sup>1</sup>Las letras minúsculas en la misma línea demuestran diferencias entre las medias de tratamiento.

<sup>2</sup> Microelementos complejados (Zn-Met, Cu-Lis e Mn-Met).

Guimaraes et al. 2022 – Animal (The Int. J. of Anim. Biosciences).

# EFECTO DE LA FUENTE DE MICROELEMENTO MINERAL SOBRE LA FERMENTACIÓN RUMINAL DE UNA DIETA PARA VACAS EN LACTANCIA

Influencia de la fuente de microelementos minerales (Cu, Mn, Zn) sobre la concentración media de AGVs (ácidos grasos volátiles) totales y su variación en el tiempo tras el suministro de una dieta para vacas lecheras en lactancia administrada a novillos – **Colorado State University**.

Item	Tratamientos			Valor P		
	Sulfato	Orgánico <sup>2</sup>	Hidroxi	Trat.	Tiempo	Trt x Tiempo
AGVs Totales, mmol/L	73,3	78,0	77,4	0,01	0,01	0,05
0h <sup>1</sup>	71,5 <sup>a</sup>	77,5 <sup>b</sup>	76,5 <sup>b</sup>			
2h	73,2 <sup>a</sup>	78,5 <sup>b</sup>	77,9 <sup>b</sup>			
4h	75,2 <sup>a</sup>	78,0 <sup>b</sup>	77,0 <sup>b</sup>			

<sup>1</sup>Las letras minúsculas en la misma línea demuestran diferencias entre las medias de tratamiento.

<sup>2</sup> Microelementos complejados (Zn-Met, Cu-Lis e Mn-Met).

Guimaraes et al. 2022 – Animal (The Int. J. of Anim. Biosciences).

# EFECTO DE FUENTES DE MICRONUTRIENTES Y SUS COMBINACIONES SOBRE LA PRODUCCIÓN DE LECHE, LA EFICIENCIA ALIMENTARIA Y LA DIGESTIBILIDAD DE LA FIBRA

Estados Unidos	Ensil. Maíz Estándar		Ensil. Maíz BMR		Probabilidad	
	Sulf.	Hidrox.	Sulf.	Hidrox.	Ensil. Maíz	Min.
P. Leche, kg/d	44,8	44,6	46,2	47,7	<0,01	0,21
Efic. Prod. Leche, kg/kg MS	1,63	1,62	1,68	1,67	<0,01	0,22
Dig. FDNmo, %	54,4	55,5	55,4	58,2	0,12	0,10

Miller et al. 2020 – Journal of Dairy Science (Miner Agricultural Research Institute – New York State - Estados Unidos da América)  
 FDNmo = Fibra Detergente Neutro libre de cenizas

Países Bajos	Sulf100	Hidr100	Sulf70/Org30	Hidr70/Org30	Hidr	<sup>1</sup> Org30
P. Leche, kg/d	29,0	29,4	29,5	29,5	0,39	0,27
Efic. Prod. Leche, kg/kg MS	1,28	1,29	1,32	1,31	**	**
Dig FDN, %	49,7	50,6	48,9	49,6	0,03	0,02

Daniel et al. 2020 – Journal of Dairy Science (Trouw Nutrition Research Institute Amersfoort- Países Bajos)

\*\* Resultado calculado. No está presente en el artículo científico.

<sup>1</sup> Mineral quelato.

# USO DE METAANÁLISIS PARA EVALUAR EL EFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN CON COMPLEJO METAL-AMINOÁCIDO (Cu, Mn, Zn) Y COMPLEJO COBALTO-ÁCIDO ORGÁNICO SOBRE LA PRODUCCIÓN DE LECHE Y EL RENDIMIENTO REPRODUCTIVO DE VACAS EN LACTANCIA CON PRODUCCIÓN ENTRE 28 Y 44 KG DE LECHE/DÍA

Parámetro	n. estudios	Variación Media	<sup>1</sup> IC 95%	Probabilidad
<b>Producción de Leche, kg/d</b>				
Todos los estudios	24	+ 0,93	+ 0,61 a + 1,25	<0,001
Estudios antes del Parto	17	+ 1,26	+ 0,61 a + 1,91	<0,001
Estudios Postparto	7	+ 0,81	+ 0,42 a + 1,20	0,097
<sup>2</sup> Días abiertos, días	12	- 13,46	-21,96 a - 5,97	0,006

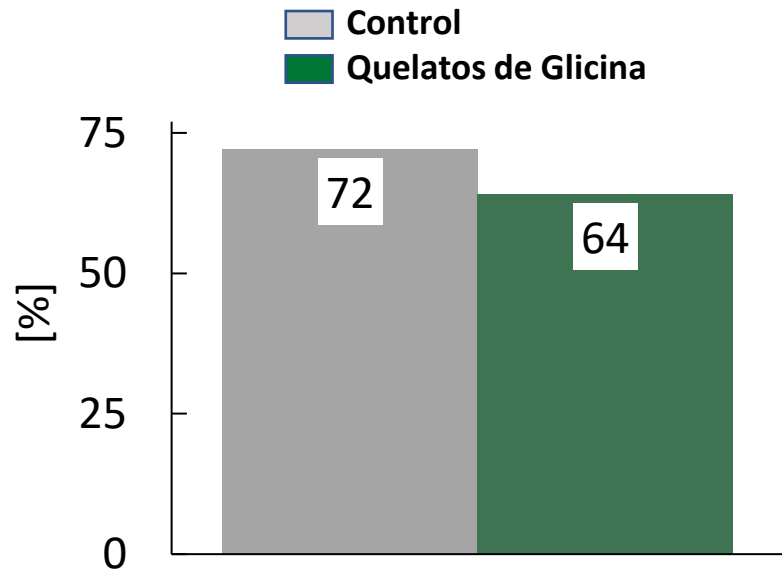
Rabiee et al. (2010) – Journal of Dairy Science – Massey University Nueva Zelandia

<sup>1</sup> IC 95% - Intervalo de Confianza que cubre 95% de los resultados

<sup>2</sup> Días abiertos – Intervalo en días entre el nacimiento y la concepción

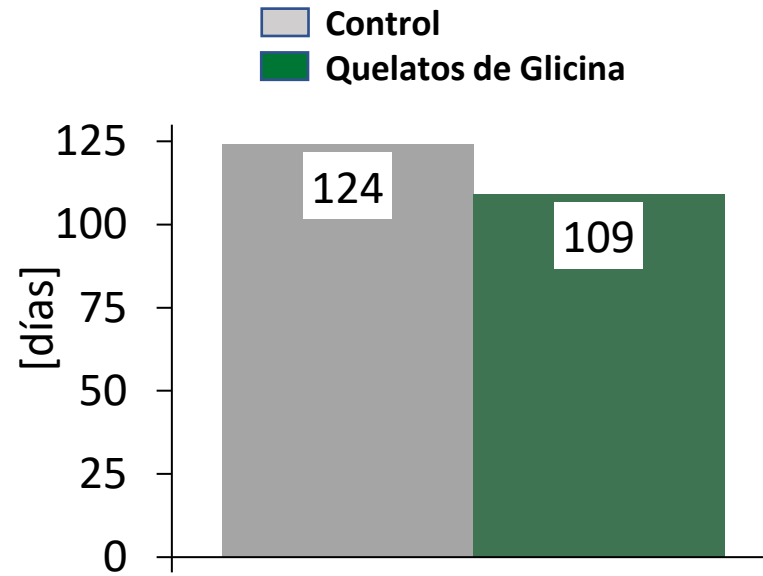
# EFFECTO DE LA SUSTITUCIÓN PARCIAL DE LOS SULFATOS DE Cu (50%), Mn (30%) Y Zn (40%) POR QUELATOS DE GLICINA SOBRE LA SALUD DE LOS CASCOS, RENDIMIENTO REPRODUCTIVO Y PRODUCCIÓN DE LECHE DE VACAS EN LACTANCIA EN UNA GRANJA COMERCIAL EN ALEMANIA CON 800 VACAS EN LACTANCIA

Percentage de vacas con problemas de casco (Dermatite Interdigital y Ulcera de Sola)



➔ - 8 puntos %

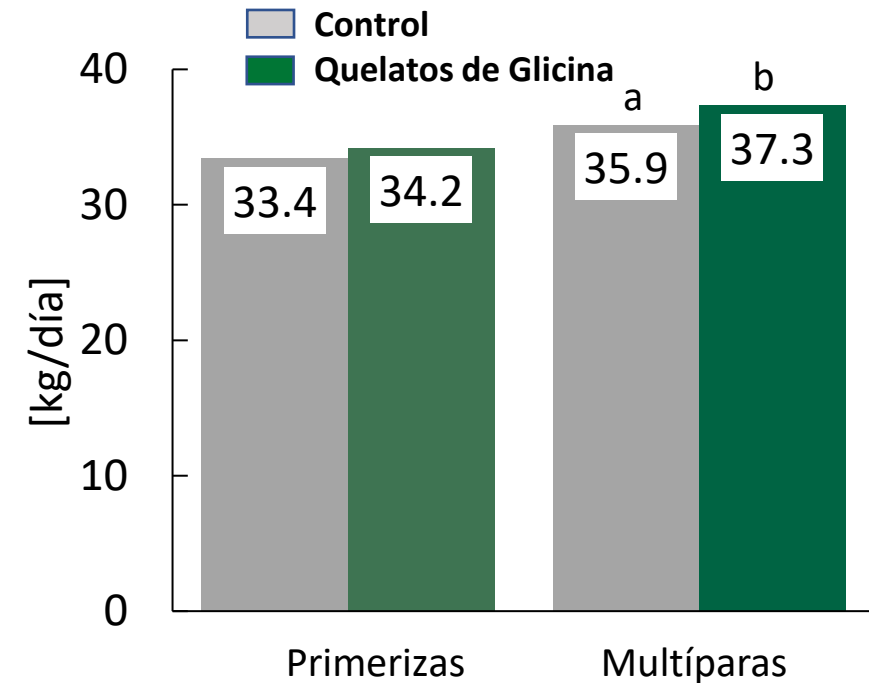
Días abiertos



➔ - 15 días

➔ + 1 kg/día **Múltiparas**

Producción Lechera



<sup>a,b</sup> diferencia significativa entre los grupos (p < 0.05)

# “LOS MICROELEMENTOS MINERALES NO SE AJUSTAN A LOS ENFOQUES TRADICIONALES PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES” (OVERTON y YASSUI, 2014)

Suministro para satisfacer la demanda de microelementos minerales de manera adecuada...

**Estrés Oxidativo**

**Status Inmunológico**

**Salud de la Ubre**

**Fertilidad**

**Calidad de la suela/ Salud del casco**

**Desarrollo fetal y tejido uterino**

**Producción de leche y sólidos de la leche**

**Recuperación de la condición corporal, crecimiento, ganancia de peso**



# REVISIÓN SOBRE LAS PRÁCTICAS UTILIZADAS POR NUTRICIONISTAS CANADIENSES EN LA FORMULACIÓN CON MICROELEMENTOS MINERALES

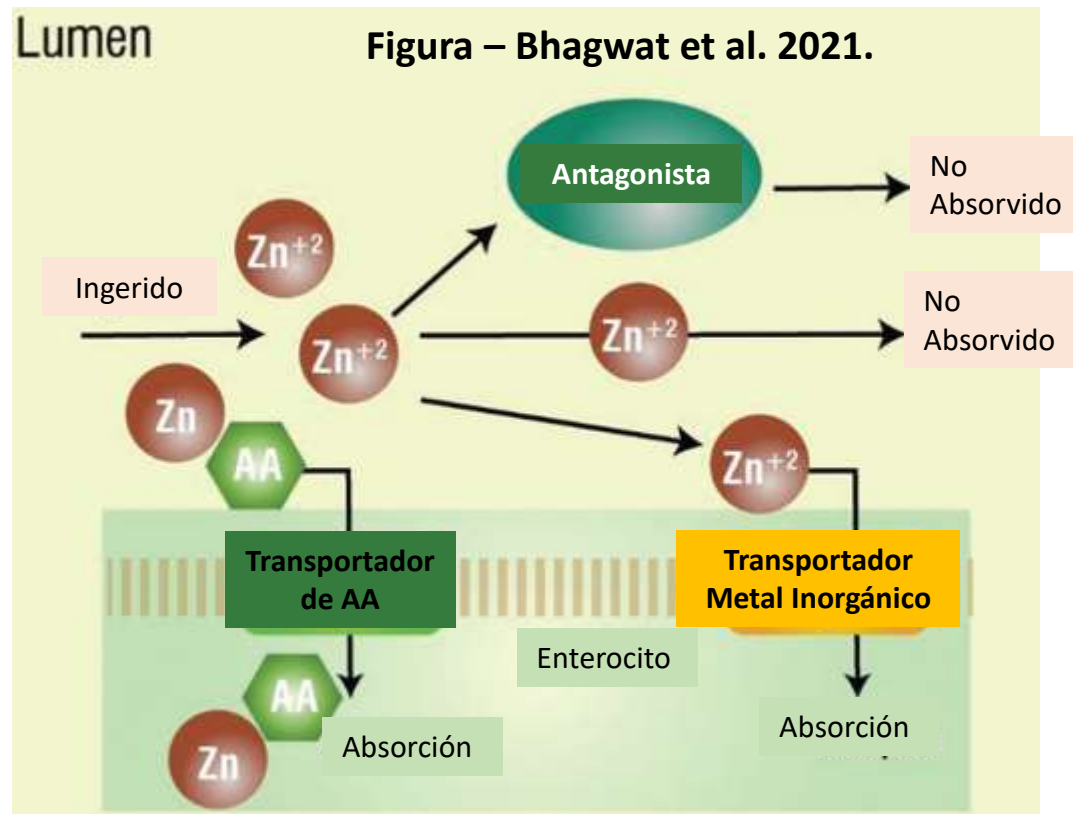
- ✓ 92% PREPARTO Y 74% INICIO DE LA LACTANCIA COMO EL PERÍODO MÁS IMPORTANTE;
- ✓ 66% FORMULAN DIETAS CON NIVELES SUPERIORES A LOS REQUISITOS NUTRICIONALES DE LOS SOFTWARES, SIN PREOCUPARSE POR LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL;
- ✓ 71% UTILIZAN FUENTES DE MAYOR BIODISPONIBILIDAD (ORGÁNICOS) PARA MICROELEMENTOS MINERALES;
- ✓ USO DE VALORES DE TABLA PARA LA CONCENTRACIÓN DE MICRONUTRIENTE:
  - 54% FORRAJES
  - 73% GRANOS Y HARINAS
- ✓ ADOPCIÓN DE MICROELEMENTOS CON MAYOR BIODISPONIBILIDAD:  
90% Se, 74% Zn, 59% Mn, 51% Cu, 34% Co y 21% Cr;



# Mecanismos de absorción de los minerales ligados a moléculas orgánicas

Goff (2018) – Journal of Dairy Science

1) Transportador  $\text{Na}^+/\text{AA}$  en la membrana apical de los enterocitos de los complejos y quelatos del 'ión metálico' con aminoácido (AA).



- ✓ Unión estable (fuerte) y soluble para superar el glicocálix + capa de agua alcanzando la membrana apical del enterocito, donde el transportador de aminoácidos transporta AA, di y tripéptidos (Gilbert et al. 2008).



# Mecanismos de absorción de los minerales ligados a moléculas orgánicas

Goff (2018) – Journal of Dairy Science

**2) TRANSPORTE TRANSCELULAR - El 'ion metálico' se disocia del ligando orgánico en la capa de agua de la membrana apical de los enterocitos para que el 'ion metálico' sea absorbido por los transportadores 'iónicos' de la membrana;**

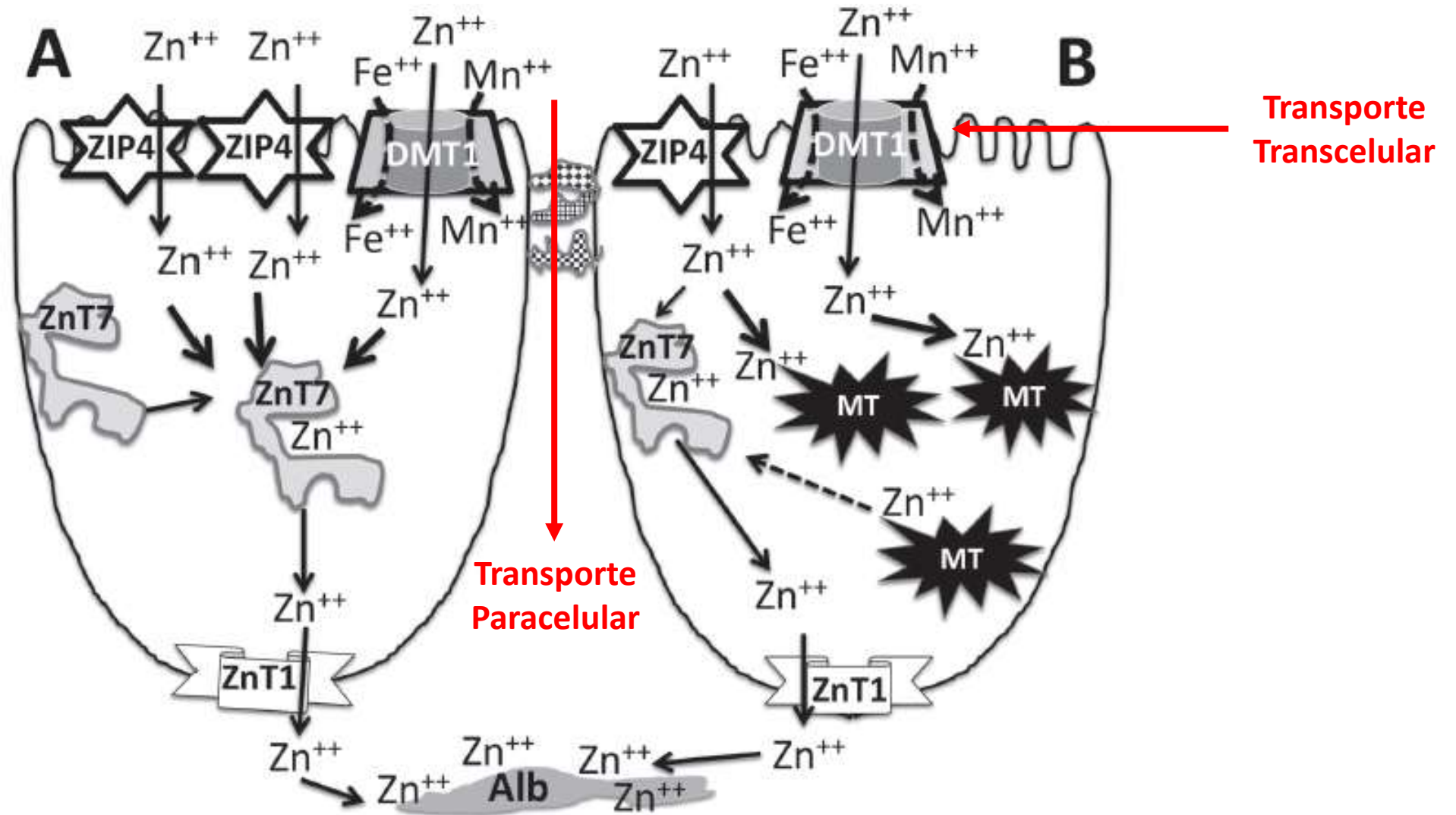
✓ Es muy común cuando el ligando presenta una unión débil: ácidos orgánicos (propiónico) o cuando la unión con el aminoácido o péptido es poco estable (débil).

**3) TRANSPORTE PARACELULAR – El 'ion metálico' permanece unido a la molécula orgánica y es absorbido por 'Arrastre por Solvente' a través de las '*Tight Junctions*' entre las células intestinales (enterocitos);**

✓ Moléculas pequeñas – 'ion metálico' unido a un solo aminoácido.

# MECANISMOS DE TRANSPORTE Y BIODISPONIBILIDAD

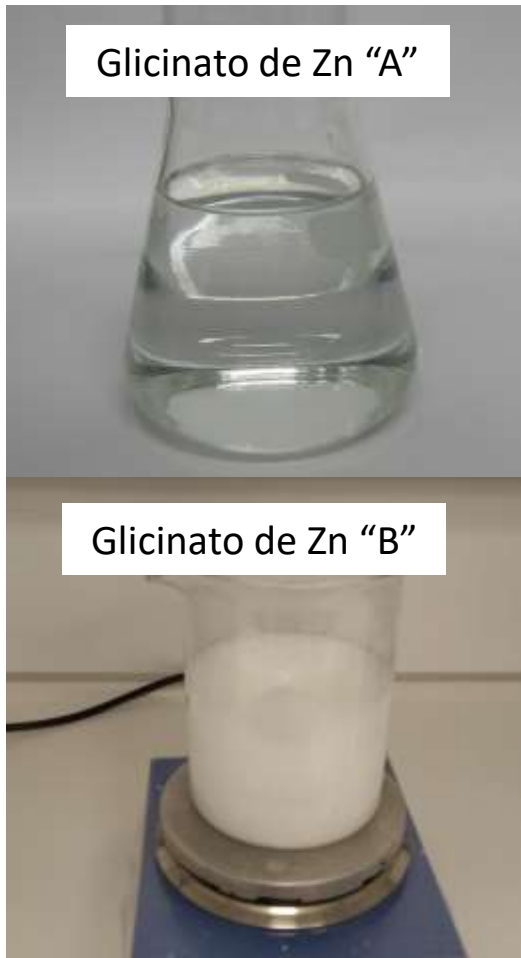
Goff (2018) – Journal of Dairy Science



Modelo de absorción Transcelular del zinc en el enterocito, Goff (2018) – Journal of Dairy Science.

# BIODISPONIBILIDAD

LA SOLUBILIDAD Y LA ESTABILIDAD DE LA UNIÓN INFLUYEN EN LA BIODISPONIBILIDAD DE LOS MINERALES  
Byrne e Murphy (2022)



Grupo Ligante	Estabilidad Relativa
Ac.Propiônico	0,000001
Metionina Hidroxi Análogo	0,000263
Metionina	0,5
Glicina	1,0
Histidina - Serina	2,5
Histidina - Metionina	2,5
Glicina - Cistina	21,0
Glicina – Lisina	2818,0
Tirosina – Triptofano	3235,0
Alanina – Lisina	9549,0
EDTA	56 x 10E10 (56 bilhões)

Adaptado de Murphy (2018) – International Animal Health Journal

# BIODISPONIBILIDAD RELATIVA DE MICROELEMENTOS MINERALES UNIDOS A MOLÉCULAS ORGÁNICAS O CON ENLACES COVALENTES ESTABLES

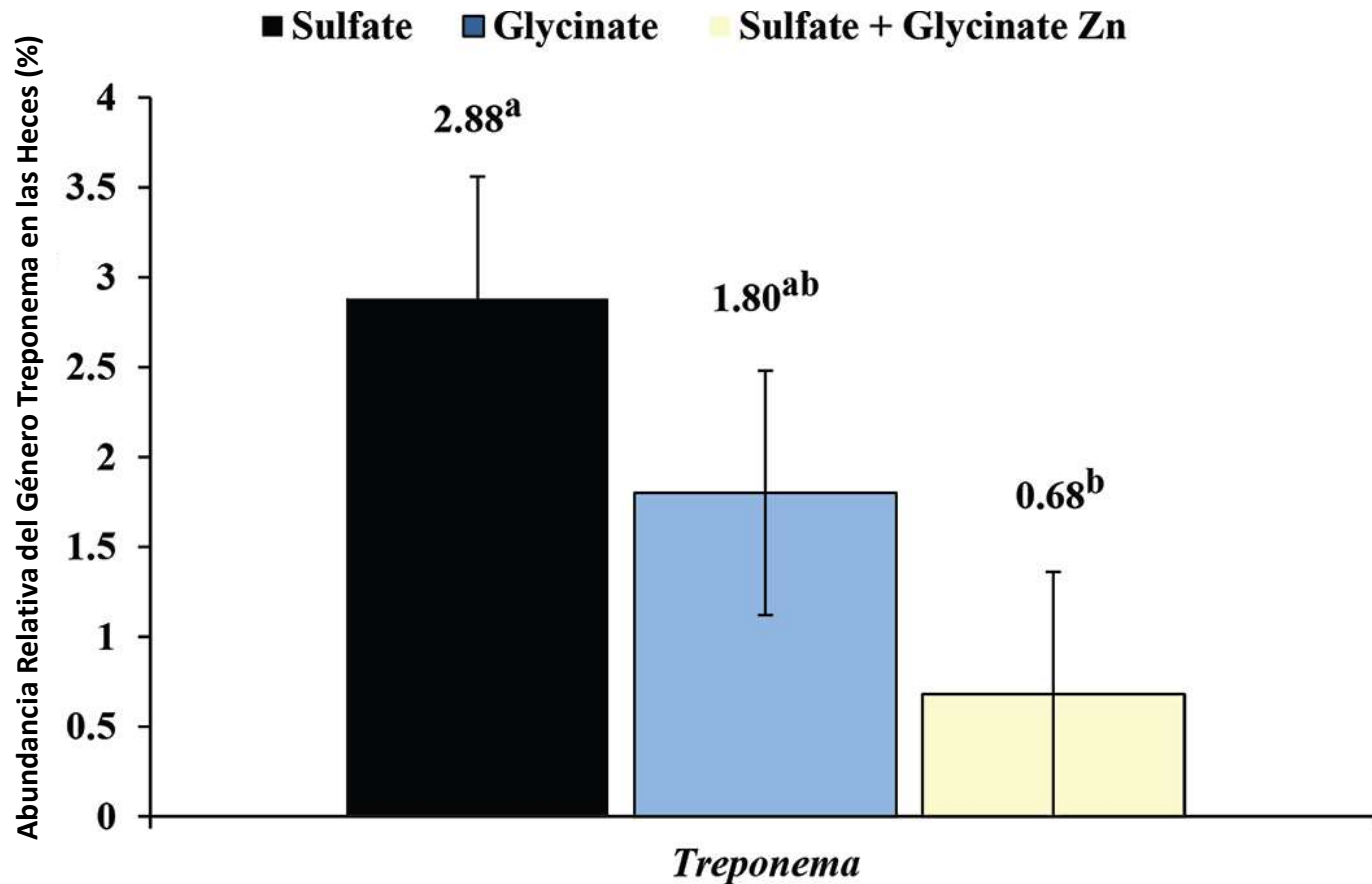
**Tabla:** Biodisponibilidad de microelementos minerales (Cu, Mn y Zn) unidos a moléculas orgánicas para animales rumiantes – Las fuentes de sulfatos (enlace iónico) fueron la referencia estándar.

Fuente del Microelemento Mineral	Biodisponibilidad Relativa (%)	Especies
Cu – Lisina	89 – 153	Bovinos
Cu – Proteinato	82 – 147	Bovinos
Cu – Glicina	131 – 157	Bovinos
Cu – Cloreto Tribásico*	87 - 196	Bovinos
Mn – Metionina	95 – 174	Carneiros
Mn – Proteinato	86 – 163	Carneiros
Zn – Metionina	98 – 133	Bovinos
Zn – Glicina	82 – 335	Carneiros
Zn – aminoácido	76 - 164	Bovinos

\*Fuente con enlace covalente estable pero no unida a una molécula orgánica.

Byrne and Murphy (2022) – Animals

# NUEVAS APLICACIONES - EFECTO SOBRE EL MICROBIOMA DIGESTIVO



Faulkner et al. (2017) – Journal of Dairy Science – The Ohio State University



**CONCLUSIÓN DE LOS AUTORES: "El resultado del estudio identificó un nuevo potencial mecanismo de acción para los efectos positivos que el Zinc Orgánico puede tener sobre la dermatitis interdigital bovina."**

# CONSIDERACIONES FINALES

- Los microelementos minerales son importantes para la salud y la productividad animal.
- Las fuentes de microelementos con enlaces covalentes (orgánicos e hidroxiclорuro) son más estables y, en consecuencia, menos vulnerables a interacciones con antagonistas en el sistema digestivo de los animales.
- Los minerales unidos a moléculas orgánicas presentes en el mercado se producen mediante diferentes métodos, lo que da lugar a productos con características diversas, clasificados según lo descrito por la AAFCO.
- Las diferencias entre productos y clases determinan el tamaño de la molécula, la estabilidad y la solubilidad, características importantes para definir la biodisponibilidad de los iones metálicos.
- No siempre la mayor biodisponibilidad puede medirse directamente por el aumento en las características productivas.
- Otros factores biológicos en el organismo animal, difíciles de medir, experimentan efectos positivos con el uso de fuentes de minerales orgánicos.

# CONSIDERACIONES FINALES

- Beneficios del uso de fuentes de microelementos más biodisponibles:
  - Mayor absorción con mayor retención en los tejidos objetivo.
  - Menor excreción, reduciendo los riesgos de contaminación ambiental.
  
- Las investigaciones futuras deben centrarse en:
  - Determinación de marcadores más eficientes de biodisponibilidad.
  - Enfoque “ONE HEALTH” – Integrando conocimientos de nutrición animal, ciencia del suelo, ciencia vegetal, calidad del agua, salud animal y humana.

**GRACIAS!!!!!!!!!!!!!!**





**Su opinión  
es muy valiosa para nosotros**



**Llene una breve encuesta  
y quede participando en  
la rifa de un obsequio de  
nuestros patrocinadores**



**Escanee el código QR**

**29<sup>o</sup>**  CÁMARA  
NACIONAL DE  
PRODUCTORES  
DE LECHE  
**Congreso Nacional  
LECHERO**  
16 - 17 octubre 2024 - Hotel Wyndham Herradura