

La suplementación mineral del ganado: Revisión de principios y tecnologías aplicadas, para mejorar el desempeño productivo

Mineral supplementation of cattle: A review of principles and applied technologies to improve animal performance

José Fabio Alpízar-Bonilla

Cooperativa de Productores de Leche Dos Pinos R.L. Alajuela, Costa Rica
Universidad Técnica Nacional, Ingeniería en Sistemas de Producción Animal, Sede Atenas, Alajuela Costa Rica.
jalpizarb@utn.ac.cr
<https://orcid.org/0000-0002-9068-245X>

Referencia/ reference:

Alpízar-Bonilla, J. (2023). La suplementación mineral del ganado: Revisión de principios y tecnologías aplicadas, para mejorar el desempeño productivo. *Yulök Revista de Innovación Académica*, Vol.7 (2), 119-129. <https://doi.org/10.47633/yulk.v7i2.594>

Recibido: 28 de febrero 2023

Aceptado: 20 de mayo 2023

Resumen

La nutrición mineral del ganado, al igual que de la mayoría de los animales domésticos ha mostrado grandes avances que han mejorado la comprensión de sus funciones metabólicas, sobre la salud y el desempeño productivo. **Objetivo:** Mostrar los elementos que evidencian los avances de la comprensión de la nutrición mineral del ganado, sobre sus funciones metabólicas, la salud y el desempeño productivo, así como las tecnologías aplicadas con miras a mejorar la eficiencia alimenticia, en un contexto productivo, de salud y bienestar. **Metodología:** Se realizó una revisión bibliográfica basada en la búsqueda de publicaciones científicas de diferentes revistas y asociaciones de investigación, inclusive las recientes ediciones de los requerimientos de nutrientes del ganado lechero de la Academia Nacional de Ciencias, Ingeniería y Medicina (NASEM). **Resultados:** Las investigaciones muestran como desde 1970, las tecnologías han colaborado en gran medida a mejorar la comprensión y dar importancia a la suplementación mineral. Paralelamente, la implementación de nuevas e innovadoras metodologías orientadas a facilitar la absorción, como el complejo de un mineral, con una molécula orgánica (complejo metal-aminoácido), así como, una mayor precisión en la estimación del requerimiento, evidencian mejoras sobre la absorción mineral, optimizando la productividad de los animales, en tanto que reducen las excreciones al medio ambiente.

Palabras clave: Complejo mineral orgánico, coeficiente de absorción, desempeño productivo, salud, medio ambiente.

Abstract

Cattle mineral nutrition as many of the domestic animals had shown important advances which have help the understanding of its metabolic functions, and the effects on health as well as productive performance. Objective: To show the elements that evidence the advances in the understanding of mineral nutrition of cattle, on their metabolic functions, health and productive performance, as well as the technologies applied to improve feed efficiency, in a productive, health and welfare context. Methodology: A literature review was conducted based on a search of scientific publications from different journals and research associations, including the recent editions of the nutrient requirements of dairy cattle of the National Academy of Sciences, Engineering and Medicine (NASEM). Results: Research shows that since 1970, technologies have greatly contributed to improve the understanding and importance of mineral supplementation. At the same time, the implementation of new and innovative methodologies, such as the complexation of a mineral with organic molecules, (metal amino acid complex), as well as a greater precision in the estimation of the requirement, show improvements on mineral absorption, optimizing the productivity of the animals, while reducing excretions to the environment.

Keywords: Metal amino acid complex, absorption coefficient, productive performance, health, environment.

Introducción

Las investigaciones sobre las funciones de los minerales no evolucionaron a la misma velocidad que otras áreas de la nutrición animal, a pesar de los grandes avances en bioingeniería. Así mismo, los estudios sobre mejoramiento genético y eficiencia alimenticia se enfocaron más sobre nutrientes, como la proteína, con sus diferentes fracciones, inclusive los aminoácidos, al igual que la eficiencia en la utilización de la energía. Otros aspectos, como la carencia de metodologías analíticas, así como, el tiempo requerido para poder observar una respuesta sobre el desempeño, limitaron los hallazgos, ya que fueron dejados de lado en los estudios e investigaciones.

A partir de 1971 con las publicaciones de National Research Council (NRC por sus siglas en inglés), conocida en español como el Consejo Nacional de Investigación, la nutrición mineral empezó a mostrar mayores avances, pasando de desempeñar un papel poco relevante y a menudo dejado de lado, a una consideración de vital importancia en los procesos metabólicos y beneficios sobre el desempeño (Weiss, 2017). Posteriormente, en el año 2001 se reforzaron las investigaciones y en la actualidad se reconoce que los minerales, representan nutrientes esenciales, que contribuyen en una serie de procesos dinámicos (anabólicos, catalíticos, reactivos y bioquímicos) requeridos para el mantenimiento, la salud y la reproducción.

Los avances tecnológicos, con el pasar del tiempo, conjuntamente, con la disponibilidad de equipos capaces de registrar datos e información, además de facilitar el procesamiento, así como, la integración del conocimiento generado en diferentes especies, incluyendo la salud humana, han venido estructurando y desarrollando grandes aportes al conocimiento y la comprensión de procesos biológicos en los que la nutrición mineral desempeña diversas funciones. Un ejemplo de esta integración se da a partir del año 2016 con la publicación de la octava edición de requerimientos de nutrientes para el ganado tipo carne y en el 2021 para ganado lechero.

Por su lado el consejo Nacional de Investigación (NRC), afilia las ciencias de la Medicina e Ingeniería conocida como National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (NASEM); en una dinámica complementación de ciencias exactas y biológicas. De esta forma las investigaciones conjuntas y complementarias, no solo permiten un mejor uso de los recursos, sino que, además, generan sinergias, y adicionalmente, mejoran la comprensión, dando cabida a nuevas áreas del conocimiento, además de fundamentar las hasta ahora desarrolladas.

1. Principios generales sobre los minerales

Un mayor conocimiento ha permitido clasificar las funciones de los minerales en cinco categorías: 1) estructurales, es decir todos aquellos que desempeñan un papel como componentes de los tejidos, principalmente óseos. 2) fisiológicos como es el caso del balance ácido-base (sodio, potasio, cloro y azufre), 3) catalíticos, los que constituyen enzimas y hormonas 4) reguladores; que participan en los procesos de multiplicación celular (síntesis de proteínas) y uno de los roles más importantes, 5) robustecer el sistema inmune, como es el caso del cinc, cobre y el selenio (Suttle, 2010; Engle, 2011; Costa e Silva et al., 2015). Algunos conceptos como: requerimientos, estatus adecuado, deficiencias (agudas y crónicas), nivel marginal, adecuado, normal, tóxico, tolerancia, antagonismos, sinergias y biodisponibilidad, como parte y en apoyo a esta comprensión, han colaborado en gran medida para lograr grandes avances en la nutrición mineral.

Todas estas evoluciones han contribuido a reconocer la gran importancia de los minerales, como suplementos esenciales para la nutrición animal, no solo para el ganado lechero, sino para todas las especies domésticas (Shannon, et al., 2019) y animales de compañía.

A partir de la publicación de NRC (2001) la determinación del requerimiento mineral se fundamentó en estimaciones factoriales (peso vivo, consumo de materia seca, producción de leche entre otros como los coeficientes de absorción para diferentes fuentes minerales y alimentos). Adicionalmente, se complementaron con estudios sobre coeficientes de absorción. Ambos aspectos reforzaron mejoras sobre parámetros productivos como lo son: la ganancia de peso, la eficiencia alimenticia, el rendimiento productivo, la salud y consideraciones de tipo ambiental (Galloway et al., 2000; Nayeri et al., 2013; Castro et al., 2019; Horst et al., 2019; Valldecabres et al., 2021; Mion et al., 2022; Gomes et al., 2022).

Con la implementación de tecnologías moleculares, la nueva perspectiva encausa su utilización, no solo a lograr la prevención de deficiencias que pueden afectar adversamente la salud y la productividad de los animales, sino que adicionalmente, a una mejora en la salud, el bienestar y el desempeño biológico en los animales.

1.1 El proceso de comprensión de la suplementación mineral

El proceso colaborativo sobre el conocimiento de las funciones que desempeñan los minerales en el desempeño productivo de los animales ha mostrado una mejor comprensión de los procesos metabólicos, de manera que los

beneficios son considerados prominentes. Algunos ejemplos, resaltan de forma simple, funciones metabólicas y describen la importancia, al igual que consideraciones de eficiencia, salud, bienestar ambiente y desempeño.

1.2 Descripción de macrominerales: cloruro de sodio (sal de mesa), fósforo, cobre, selenio, cinc y manganeso y minerales traza o micro minerales

- **Sal blanca (cloruro de sodio):** La suplementación se orienta no solo a la provisión de cloro y sodio, por su importancia y la prevención de patologías clínicas. El uso de los búferes ruminales evidenció un gran interés desde finales de los años 70 (Edman, 1978; citado por Weiss, 2017). Es bien conocido el rol del sodio en los procesos osmoreguladores (Balance Anión-Catión; BAC y el diferencial Anión Catión; BCAD) y de los alcalinizantes, por su efecto búfer (bicarbonato y sesquicarbonato de sodio) que se relacionan con: el consumo de materia seca (Khelil-Arfa et al., 2013), la eficiencia alimenticia, la recuperación ante problemas de depresión de la grasa láctea (Razzaghi et al., 2021), procesos de resiliencia y como coadyuvante, en presencia del estrés calórico (Opgenorth et al., 2020). Desde 1974 los estudios evidenciaron la relevancia de las dietas aniónicas (BCAD, cercano a cero o negativo), sobre las enfermedades metabólicas del postparto. Su comprensión generó grandes aportes en los años 90 (Block, 1994; Goff et al., 1995) sobre la nutrición de las vacas en el periparto.

En la actualidad, conceptos como: a) el manejo del BACD, manipulados para acercarse a cero (idealmente negativo), y b) el mayor conocimiento del metabolismo del calcio, que considera la función de contracción muscular, esencial para el parto, así como, la participación en los procesos inmunológicos, indispensables en este retador cambio del estado fisiológico, son bien conocidos.

- **Fósforo:** A pesar de su importancia en las rutas energéticas, investigaciones desde el año 2000 evidenciaron que una sobrealimentación de fósforo no generaba un beneficio adicional (Wu et al., 2000). A partir de este periodo, con la ayuda de los coeficientes de absorción, la cantidad ofrecida se ha venido reduciendo, por cuanto: por un lado, el precio de las fuentes (fosfatos) incrementaron el costo dramáticamente, lo cual llevó a revisar los aportes de los alimentos (pastos y fuentes de granos y cereales) e inclusive el uso alternativo de algunas enzimas (fitasas) tanto en poligástricos como en monogástricos, en los que su uso es más común. Adicionalmente, el compromiso ambiental ha venido creando una mayor consciencia de las implicaciones que conlleva el au-

mento en las excreciones sobre procesos como el de eutroficación de las aguas (Castillo et al., 2013).

- **Cobre:** Ha sido utilizado durante mucho tiempo, como bacteriostato en aves y cerdos. A raíz de la utilización de altos niveles, aspecto que resulta en una alta excreción del elemento al medio ambiente, la Unión Europea, lo ha venido restringiendo su utilización para este fin particular (Koeleman, 2016). Este constituye un ejemplo representativo del mineral-nutriente que demanda precisión en su nivel de uso por cuanto ni los excesos, ni la subdosificación son adecuados desde la perspectiva sanitaria y ambiental.

Como nutriente (Cu ionizado) que contribuye en la síntesis de la hemoglobina, pero que también presenta una serie de interacciones que no solamente afectan la absorción de otros minerales (cinc, por ejemplo), como, por efectos oxidativos que pueden comprometer la salud, si no son debidamente estabilizados y suministrado en cantidades adecuadas. En este particular, la problemática se presenta porque los altos niveles (sobredosificación), desencadenan un efecto oxidativo, se acumula en el hígado, afectando la salud de la vaca y su metabolismo. Al igual que en el caso del fósforo, altas cantidades, al ser excretados al medio genera aumentos de concentración en los suelos y las aguas.

- **Selenio:** Cada vez es más común, la suplementación de selenio como antioxidante en las etapas de parto, producción de leche, prevención de mastitis e inclusive en estrategias de enriquecimiento de la leche y sus derivados (Azorín et al., 2020; Hachemi et al., 2022; Ibraheem et al., 2022). Es esencial en una serie de procesos fisiológicos, especialmente para las funciones del sistema inmune y reproductor, el metabolismo de las hormonas de la glándula tiroidea, así como de antioxidantes de defensa (Misra et al., 2015; Hosnedlova et al., 2017). En conjunto con la vitamina E, el selenio muestra una importante sinergia para estimular la inmunidad y su utilización es de gran utilidad para la industria avícola, porcina e inclusive en el caso de los animales de compañía. Elementos como reproducción, salud en las etapas iniciales, así como, calidad de canal, en relación con características organolépticas, vida de anaquel y fundamental su utilización (Sivertsen et al., 2007; Calik et al., 2022). Adicionalmente, otras especies como: equinos y mascotas las investigaciones han evidenciado interesantes resultados sobre la salud (Maylin et al., 1980; Zentrichová et al., 2021).

De la misma forma, la combinación de este mineral con el cinc (al igual que con todos los minerales considerados como esenciales) muestran una serie de beneficios a nivel productivo y reproductivo al refor-

zar el sistema inmunológico, el metabolismo de las proteínas y carbohidratos como constituyente de una amplia variedad de enzimas.

- **Cinc:** La comprensión de sus múltiples funciones incluye más de 300 reacciones enzimáticas y múltiples procesos bioquímicos y estructurales (Reed et al., 2014; Hergenreder et al., 2016; Hojyo et al., 2016; Fitzsimmons et al., 2018; Coverdale et al., 2019; Skrajnowska et al., 2019). La suplementación del cinc a dosis farmacológicas en los alimentos post destete para cerdos es consolidada como una práctica eficiente que permite el control de diarreas. Su uso, sigue siendo por el momento una práctica común, por consideraciones ambientales, es probable que la misma pueda ser censurada en un futuro cercano (Bonetti et al., 2021). No obstante, evidencia una función adicional en la salud y productividad en consecuencia.
- **Manganeso:** Representativo de micro minerales como cofactores enzimáticos, característica común en la mayoría de estos, es requerido para el metabolismo de los carbohidratos, lípidos, procesos reproductivos e inmunológicos (Colomer, C et al., 2018; NASEM, 2021). Un reciente estudio realizado a nutricionistas de ganado lechero en Canadá por Dupplestis et al., (2022), evidencia que existe un manifiesto interés por el uso de estos tres últimos microminerales (enumerados sucesivamente en orden de importancia: selenio, cinc y manganeso), dado las amplias funciones metabólicas en las que se desarrollan. Inclusive, que existe una tendencia al uso de complejos para mejorar la biodisponibilidad.

2. Principios generales de los complejos minerales

Las referencias mencionadas son dignas de considerar, dado que el conocimiento en los procesos bioquímicos, han fundamentado una serie de estrategias dirigidas a reducir las interacciones entre los minerales, mejorar la absorción, contribuir a la salud y el bienestar.

La biodisponibilidad de los elementos es determinante sobre la efectividad y el desempeño. Las fuentes de minerales típicas como óxidos, carbonatos y sulfatos han sido utilizadas de forma tradicional en muchas de las premezclas minerales que se destinan a la suplementación del ganado. No obstante, estas presentan algunas particularidades negativas en relación con la solubilidad en agua y pueden afectar adversamente otros constituyentes de los microelementos que conforman los alimentos desde el momento en que son mezclados (premezclas), así como, en los procesos bioquímicos de la digestión. Bajas tasas de solubilidad y reducido coeficiente de absorción, por sus características individuales como por la reactividad e

interacciones, evidencian que si bien, estos son una alternativa económica, existen una serie de costos no perceptibles que reducen la eficiencia, la absorción y desempeño de los animales.

Los problemas metabólicos oxidativos y el aumento sobre los niveles de excreción propiciaron la investigación en otras moléculas como los sulfatos, cloruros y los complejos o compuestos orgánicos, que hoy son conocidos como complejos minerales o “minerales orgánicos”.

La Asociación Americana de Inspectores Oficiales de Alimentos (AFFCO, 2020) ha categorizado las moléculas existentes y aceptadas como compuestos o complejos utilizados para mejorar los coeficientes de absorción y la reducción de problemas de la salud y la contaminación del medio.

De las categorías hasta ahora reconocidas como complejos, AFFCO las agrupa en: a) metal-aminoácido (específico), b) metal-quelato, c) metal-proteinato, y d) metal-polisacárido. En principio, cualquier mineral ligado a una molécula que contenga un carbono es por definición orgánico. Este enlace da origen a una bio-molécula estable y covalente (neutralizada eléctricamente). Su funcionalidad para los animales dependerá de qué tan estable sea el enlace, ligadura o unión y la función bioquímica de esta molécula para la salud y el desempeño.

Gracias a que la levadura tiene la propiedad de incorporar a su biomasa (enlazar los metales) cantidades elevadas de componentes del medio, existen metodologías de cultivo para generar un principio de enriquecimiento, como es el caso de: selenio-levadura, levadura de cromo (Otero et al., 2008), y zinc metionina, dentro de los complejos minerales más comunes, aunque también existe los complejos selenio metionina, cromo metionina y zinc metionina. Además de los complejos antes indicados y caracterizados por AFFCO otras formas de acomplejamiento como el caso de la hidroxil-selenio metionina (HMSeBA) y los denominados carbo-amino-fosfo-quelatos, investigados en investigaciones robustas, con resultados muy favorables, con efectos de significancia estadística sobre diferentes parámetros productivos y reproductivos (Hachemi et al., 2022; Ibraheem et al., 2022).

AFFCO ha clasificado los complejos, pero no certifica una metodología para los procesos de acomplejamiento, como tampoco la proporción ligada. De esta forma el desarrollo en la investigación, de las universidades, la empresa privada y centros de investigación, orientan sus recursos al desarrollo y validación de los productos a nivel químico, pero sobre todo en funciones bioquímicas, metabólicas y de desempeño.

El proceso de acomplejamiento de los minerales no debe considerarse nuevo, como tampoco sobrenatural. En la naturaleza, existen varios compuestos que se enlazan, unen o estructuran para retener nutrientes (elementos) en la naturaleza (Hall et al., 2013). Ejemplo de estos, es el ácido fítico, ácido con la capacidad de quelación, generando los fitatos en los cereales cuyo objetivo es el de custodiar los nutrientes que la plántula requiere para emerger. Esto fitatos ligan el fósforo calcio y el cinc, lo que afecta la biodisponibilidad de estos elementos para los animales monogástricos, no rumiantes,

El uso de estas tecnologías es bien conocido dentro de las técnicas de fertilización vegetal, el empleo de complejantes y quelatos ha mostrado mejoras sustanciales en la absorción y nutrición de micronutrientes (Lucema, 2009).

En el área de nutrición de ganado lechero, la primera investigación que incluyó un complejo mineral – quelato fue realizada en 1986 (Kincaid et al., 1986, citado por Weiss, 2001). Para esta época, ya se conocía de las interacciones del cobre (“cobre orgánico” en menor grado comparado con el sulfato).

2.1 El proceso digestivo, absorción y función metabólica de los complejos

El primer paso para el metabolismo de los nutrientes es la digestión y posteriormente la absorción. Los metales necesitan permanecer solubles y móviles para ser accesibles y absorbidos en el tracto gastrointestinal del animal. La mayor parte de los elementos traza son metales y deben estar presentes en la forma ionizada en el sitio de absorción.

Para el caso particular de los rumiantes o bien el ganado lechero, los metales acomplejados se trasladan por el tracto digestivo y uno de los primeros aspectos a considerar, es la estabilidad en el ambiente ruminal, que les permita continuar viajando hacia el estómago verdadero; el abomaso, (Gould et al., 211) y finalmente al intestino delgado, manteniéndose estable bajo condiciones de pH. En la primera sección del intestino delgado se neutraliza la acidez e incrementa el pH, proceso necesario para que las enzimas se desempeñen en forma apropiada. Esto demanda que los complejos sean lo suficientemente estables con un alto nivel de sobre paso o escape al rumen (Genther et al., 2015; Goff, 2017; Caldera et al., 2019; Daniel et al., 2020, Gomes et al., 2022).

Estratégicamente, para el desarrollo de la flora microbiana del rumen (hongos, bacterias y protozoarios dentro de los más numerosos), encargada de varios procesos de fermentación, los microorganismos, demandan ambas

fuentes o compuesto minerales, para los procesos de crecimiento. Por ello, la combinación de micro-minerales, inorgánica (sulfatos) y “orgánica” (complejo) es necesaria e indispensable. A partir de esta complementación, la cantidad ingerida de los minerales inorgánicos, más los liberados en los procesos de fermentación de los alimentos, deben garantizar el adecuado crecimiento de la flora microbiana del rumen. (Faulkner et al., 2017). Esto fundamenta el porqué, la estrategia de combinación o complementación: inorgánica-orgánica crea una sinergia que aumenta los sitios de absorción, mejora la misma y genera resultados bioquímicos, biológicos, de desempeño productivo y económico.

La fortaleza de la quelación o acomplejamiento mejora la probabilidad de que los metales se mantengan solubles y móviles durante el proceso digestivo, así como poder colaborar con las demandas nutricionales.

El reemplazo y combinación de minerales traza inorgánicas con fuentes de mayor biodisponibilidad (complejos) permite una mayor precisión para mejorar el desempeño de los animales. En gran medida, esto se debe a que, los minerales tienen diferentes rutas de absorción, de manera que el poder reducir los antagonismos químicos y particulares de cada molécula, así como la velocidad en las rutas metabólicas, se logra optimizar la eficiencia. Son determinantes las evaluaciones sobre la tasa de pasaje al rumen para garantizar la provisión real del mineral en el tracto posterior, con relación a la prevención de deficiencias, la productividad, la mejora del sistema inmunológico y la salud.

La disponibilidad de metodologías de acomplejamiento brinda beneficios u oportunidades dependiendo del objetivo buscado. Por ejemplo, en el caso del cobalto para la biosíntesis de cianocobalamina requerido para la síntesis de vitamina B12, en monogástricos (exceptuando caballos y conejos y en vacas altas productoras de leche), es de vital importancia como coenzimas activas para la conversión del propionato en glucosa. En este particular del ganado lechero, el complejo metal polisacárido como es glucoheptonato de cobalto, ofrece una excelente alternativa de cobalto enlazado a un azúcar (siete moléculas), para lograr una liberación regulada y permitir una síntesis de largo plazo disponible para los procesos biológicos y productivos.

3. Características deseables en una premezcla mineral para ganado

Las premezclas minerales y vitamínico-mineral, también conocidas como “sal mineral” son diseñadas y formuladas para lograr suplir los diferentes minerales de acuerdo

con los requerimientos del ganado en función de su estado fisiológico (mantenimiento, crecimiento, preñez, lactancia), nivel de producción y composición de la leche, así como la composición de los forrajes, subproductos y otros alimentos que se ofrecen al ganado. Se pretende que las cantidades ofrecidas soporten la salud, la producción, reproducción y una relación costo beneficio favorable.

Es innegable como la investigación y uso de tecnologías puede favorecer la nutrición mineral. Sin embargo, los elementos relacionados al suministro son también dignos de considerar, por cuanto estos puedan mejorar la eficiencia de absorción y de la nutrición mineral trazada. Algunas de estas consideraciones se describen a continuación:

3.1 En primera instancia, un mineral debe estar equilibrado en sí mismo

A pesar de que la premezcla representa el complemento para balancear la nutrición mineral, vinculado con los aportes de los forrajes y suplementos, la formulación debe contemplar las relaciones sinérgicas, así como antagonicas que puedan afectar negativamente en procesos metabólicos, así como, comprometer la salud y el desempeño de los animales (Timmons, 2009 y Faulkner et al., 2017).

Altos niveles de moléculas poco solubles, con efecto antagonico deben en la medida de lo posible evitarse en el diseño de los productos.

Weiss (2017) señala que en la nutrición del ganado lechero se requieren al menos 22 minerales (macro y micro) y que otros pueden ser utilizados conforme las metodologías analíticas y la comprensión metabólica. Se indican como de uso potencial, arsénico, flúor, silicio, níquel y vanadio, aunque el requerimiento de estos no ha sido determinado o validado por el NASEM2 (2021). Estos micro-minerales, en ocasiones denominados ultra-minerales, aún carecen de información en cuanto a niveles y tasas de biodisponibilidad (Kim et al., 2018). El uso complementario de los complejos (“orgánicos), no solo reducen las interacciones y los antagonismos, sino que adicionalmente favorecen la vida útil de las vitaminas (A, D, E y biotina), mejoran la tasa de absorción y finalmente, la excreción al medio.

3.2 Objetivo de diseño y recomendación técnica (etapa o estado fisiológico de los animales a suplementar)

Actualmente, una amplia variedad de productos está disponible. Algunas compañías ofrecen una línea de produc-

tos y soluciones para animales en crecimiento (terneras y novillas), parto, inclusive sales aniónicas, vacas en producción, cría, suplementos para la estación seca, reforzar la salud podal, así como, el sistema inmune y para minimizar los efectos del estrés calórico. Cada una de las alternativas indicadas tiene objetivos específicos y estratégicos por lo que su utilización, demanda atención y seguimiento.

Uno de los estados fisiológicos que ha venido mostrando una atención específica es la nutrición mineral de la etapa de transición, o bien, del peri-parto. Premezclas minerales, así como, el uso de minerales aniónicos ha mostrado grandes aportes en la producción y reproducción. Cada producto es diseñado en forma diferente e indica las recomendaciones de uso (dosis) para cada caso.

3.3 El respaldo de las compañías

La experiencia, respaldo y soporte de los manufacturadores y/o proveedores de las sales minerales inorgánicas (sulfatos), como las moléculas acomplexadas, son elementos prioritarios, desde el punto de vista del aseguramiento de la calidad. Son indispensables pruebas de concentración y solubilidad, en el caso de inorgánicos, al igual que las investigaciones, validaciones y estudios “in vivo”, que soporten estabilidad, disponibilidad y desempeño.

4. Recomendaciones generales de uso

El diseño y constitución de suplementos minerales y su respectivo balance nutricional en la ración del ganado, son críticos para maximizar la salud y la eficiencia productiva. Macrominerales como: calcio, fósforo, sodio, cloro y magnesio son requeridos en gramos por día, en tanto que los micro-minerales o minerales traza, dentro de los cuales: cinc, cobre, manganeso, iodo, selenio y cobalto; en partes por millón (ppm). En ambos casos, las funciones metabólicas son integrales y capaces, por ende, coadyuvar en una serie de procesos metabólicos, mejorar el desempeño, la salud y el bienestar.

Ante esto algunas recomendaciones generales se desglosan a continuación:

a) Analizar las necesidades de suplementación mineral por etapa fisiológica y nivel de producción

Durante el año las condiciones de manejo y nutrición mineral pueden variar tanto a nivel del estado fisiológico de los animales, así como, por la cantidad y calidad de los forrajes.

El estratificar por estado fisiológico, nivel de actividad o producción es una excelente práctica de manejo

recomendada, que le ayudará a optimizar el uso de los suplementos y obtener los resultados deseados para cada grupo o etapa y de forma general. La práctica de ofrecer la misma cantidad a todas las vacas no siempre es lo mejor y en ocasiones una simple redistribución de la cantidad ofrecida, según el nivel de producción, puede ser muy beneficioso, de manera especial para las vacas más productoras.

b) Analizar los minerales de los forrajes

Ajuste la provisión o aporte por su biodisponibilidad, (coeficiente de absorción) en combinación con los aportes de los alimentos y determine la cantidad (gramos) a suplementar según corresponda. Es también importante revisar la calidad del agua para identificar posibles ajustes relacionados con la “dureza” de esta que pueden afectar la absorción y el desempeño de los animales (Castillo et al., 2013). Varias investigaciones, en relación a los ajustes en las cantidades de los minerales ofrecidos, y la combinación de fuentes en la forma de complejo (“orgánicas), muestran efectos sinérgicos y grandes ventajas productivas y reproductivas cuando las aguas (“duras” altas en calcio y hierro) son prevalecientes (Nocek et al., 2006; Rabbie et al., 2010).

c) Seleccionar la fuente o combinación óptima de minerales

Compare las fuentes disponibles y su biodisponibilidad. Contemple también, una producción sostenible, con responsabilidad social y enfoque sus esfuerzos, no en el menor costo de suplementación, sino en el mejor costo beneficio. El desempeño animal en paralelo a las metas de rentabilidad y sostenibilidad, mostrarán que las mayores utilidades, se obtienen con el máximo desempeño.

d) Realizar un esfuerzo para lograr el adecuado consumo mineral en forma homogénea

Los minerales desempeñan diversas y diferentes funciones con efectos indirectos en el metabolismo, por lo que la provisión óptima, es de vital importancia en las diferentes etapas de vida. La clave del éxito en un programa de suplementación mineral es la constancia, concebida como el aporte de nutrientes, que son requeridos por los animales en los procesos metabólicos, diarios.

Idealmente dos porciones al día en aquellos casos en los que los minerales son ofrecidos en forma directa sobre los alimentos en los comederos, o bien a libre voluntad con acceso continuo como es el caso de los saladeros.

Un adecuado balance mineral y un preciso consumo del suplemento repercutirá, no solamente, en resultados buenos y satisfactorios, sino que, además, en el uso racional de los recursos disponibles. En situaciones de incertidumbre o altos costos de alimentación debe evitar realizar cambios, que puedan impactar la longevidad de las vacas, por ejemplo, reducir la fertilidad o la salud del hato”; (Hutjens, 2008). Por pequeño que parezca el efecto y algún tipo de ahorro, la situación puede complicarse con consecuencias en el mediano y largo plazo.

No está de más, calibrar la “medida” o copa de dosificación diaria que se ofrece a las vacas. En muchas ocasiones se presume una cantidad que es considerada como óptima pero la realidad dista mucho de la realidad (Alpizar, et al., 2019).

Consideraciones finales

En general, tanto el desarrollo de investigaciones, como los grandes avances tecnológicos, han colaborado para que, en la actualidad, la comprensión de las rutas de absorción y metabólicas de los minerales sean más amplias, en relación con múltiples funciones.

Se han generado cambios en la perspectiva la funcionalidad, como por ejemplo del requerimiento basado en la prevención de deficiencias, para dar paso a funciones como lo son: la mejora en la eficiencia alimenticia, la productividad, el fortalecimiento del sistema inmune y hasta modificaciones del producto final (carne o leche con sus derivados), sin dejar de lado aspectos de sostenibilidad como es el caso de la reducción en la excreción al medio ambiente.

Aunque, es probable que existan mejoras, que pueden partir desde mejores estimaciones, mayor biodisponibilidad a través de compuestos con menos interacciones, la cierto es que los micro minerales seguirán mostrando una serie de beneficios, a pesar presentar requerimientos de muy reducida proporción en comparación con otros nutrientes.

Áreas de investigación e innovación para lograr la implementación y sus beneficios, seguirán siendo importante aliados en la producción animal.

Referencias

American Feed Control Officials. (2020). Official Publication of American Feed Control Officials Incorporated. P 386 – 387.

- Alpizar, C y Cedeño, H. (2019). ¿Logramos una adecuada precisión en la alimentación de nuestras vacas? Observaciones en fincas lecheras especializadas. *Revista Horizonte lechero*. Edición N°9. Año 11. Setiembre, 2019. p 8,10 y 11. Edición digital https://issuu.com/proleche/docs/revista_horizonte_lechero_set_2019.
- Azorín, I., Madrid, J., Martínez, S., López, M., López, B., López, J., & Hernández, F. (2020). ¿Can moderate Levels of organic selenium in dairy cow feed naturally enrich dairy products? *Animals* 2020. 102269; [doi10.3390/ani10122269](https://doi.org/10.3390/ani10122269). www.mdpi.com/journal/animals
- Beekman, C. (2021). Influencing rumen microbes improves nitrogen efficiency - *All About Feed*. Consultado el 07 de marzo.2021. <https://www.allaboutfeed.net/animal-feed-additives/influencing-rumen-micobes-improves-nitrogen-efficiency/>
- Bell B. (2010). Know your minerals and prevent disease. *Feed Mix Magazine*. Volume 10, number 2. 2002. p 24, 25 and 26.
- Bonetti A, Tugnoli B, Piva A, Grilli E. Towards Zero Zinc Oxide: Feeding Strategies to Manage Post-Weaning Diarrhea in Piglets. *Animals (Basel)*. 2021 Feb 28;11(3):642. doi: 10.3390/ani11030642. PMID: 33670980; PMCID: PMC7997240.
- Castillo, A.R., St-Pierre, N.R., Silva del Rio, N., & Weiss, W.P. (2013). Mineral concentrations in diets, water, and milk and their value in estimating on-farm excretion of manure minerals in lactating dairy cows. *American Dairy Science Association J. Dairy Sci.* 96 :3388–3398. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2012-6121>.
- Caldera, E., Weigel B., Kucharczyk, V., Sellins, K., Archibeque, S., Wagner, J., Hyungchul, H., Spears, J., & Engle Terry E. (2019). Trace mineral sources influences ruminal distribution of copper and zinc and their binding strength to ruminal digesta. *American Society of Animal Science. J. Animal Sci.*2019.97:1852-1864. doi.101093/jas/skz072.
- Calik A, Emami NK, White MB, Walsh MC, Romero LF, Dalloul RA. Influence of dietary vitamin E and selenium supplementation on broilers subjected to heat stress, Part I: Growth performance, body composition and intestinal nutrient transporters. *Poult Sci*. 2022 Jun;101(6):101857. doi: 10.1016/j.psj.2022.101857. Epub 2022 Mar 15. PMID: 35461066; PMCID: PMC9048119.
- Carlson, S., & Myer-Hill, G. (2019). Trace mineral supplementation for the intestinal health of young monogastric animals. *Animals. Front. Vet. Sci.* 6:73. Doi103389/fvets.2019.00073.
- Castro, M., Silva, A., Costa e Silva, L., Rotta, P., Engle, E., & Marcondes M. (2018). Determination of macro mineral requirements for preweaned dairy calves in tropical conditions. *American Dairy Science Association J. Dairy Sci.* 102 :2973–2984. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2018-151666>.
- Colomer, C., Flores-Mirelles, A., Baker, S., Frank, K.L., Lynch, A.J.L., Hultgren, S., Kitten, T., & Lemos, J.A. (2018). Manganese acquisition is essential for virulence of enterococcus faecalis. *PLoS Pathog* 14 (9): e1007102 <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1007102>
- Costa e Silva, L., Valladares, F., Sebatia de Campos, E., Terry, P., Rotta, P., Mercondes, M., Sales Silva, F.A., Costa Martins, E., & Taishi, T. (2015). Macrominerals and trace elements requirements for beef cattle. Universidad Federal de Vicosa. Animal Science Department. Colorado State University. Animal Science Department. PLOS ONE DOI:10.1371 /Journal. pone. 0144464. December 14, 2015.
- Coverdale, J.P.C., Barnett, J.P., Adamu, A.H., Griffiths, E.J., Steward, A.J., & Blindauer, C.A. (2019). A metallaproteomic analysis of interactions between plasma protein and zinc: elevated fatty acid levels affect zinc distribution. The Royal Society of Chemistry. Rsc.li/metallomics. Doi: 10.1039/c9mt00177h.
- Daniel, J.B., Kvidera, S.K., & Martin-Tereso, J. (2020). Total tract digestibility and milk productive of dairy cows as affected by trace mineral sources. *American Dairy Science Association. J. Dairy Sci.* 103. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18754>.
- Duplessis, M., Wright, T.C., & Bejaei, M. 2022. A Survey of Canadian dairy nutritionists to assess current trace elements formulation practices. *American Dairy Science Association. J. Dairy Sci.* 106. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2022-22943>.
- Engle, T.E. (2011). Trace minerals metabolism in ruminants. Department of Animal Sciences. Colorado State University. USA. In Southwest Nutrition & Management Conference. Temple, Arizona. February 24 – 25 2011.

- Ewing, W.N., & Charlton, S.J. (2007). The minerals directory. Your easy-to-use guide on mineral nutrition (Guía de minerales. Su guía práctica sobre la nutrición mineral) 2nd Edition. British Library Cataloguing in Publication Data.
- Faulkner, M.J., St-Pierre, N.R., & Weiss, W.P. (2017). Effect of source of trace minerals in either forage- or by-product-based diets fed to dairy cows: 2. Apparent absorption and retention of minerals. *American Dairy Science Association. J. Dairy Sci.* 100:5368–5377. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12096>.
- Fitzsimmons, L., Liu, L., Porwollik, S., Chakraborty, S., Desai, P., & Tapscott, T. (2018.) Zinc-dependant substrate-level phosphorylation powers *Salmonella* growth under stress of innate host response. *PLoS Pathog* 14 14 (10): e1007388. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1007388>.
- Galloway, P., McMillan, D.C., & Sattar, N. (2000). Effect of the inflammatory response on trace element and vitamin status. *Ann Clin Biochem* 2000; 37:289-297.
- Genther, O.N., & Hansen, S.L. (2015). The effect of trace mineral source and concentration on ruminal digestion and mineral solubility. *American Dairy Science Association. J. Dairy Sci.* 98 :566–573. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2014-8624>
- Goff, J.P. (2017). Invited review: Mineral absorption mechanisms, mineral interactions that affect acid-base and antioxidant status, and diet considerations to improve mineral status. *American Dairy Science Association. J. Dairy Sci.* 101:2763–2813. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13112>.
- Gomes da Silva, G., da Silva Dias, M.S., Seiti, C., Tenorio, A., Del Valle, T.A., Scognamiglio, N.T., Freitas, C., Reis, K., Melville, A.M., Navajas, L., Koontz, A., Navarro, D., Costa e Silva, L.F., & Palma F. (2022). Feeding reduced levels of trace minerals in proteinate form and selenium-yeast to transition cows: Performance, trace mineral, and antioxidant status, peripheral neutrophil activity and oocyte quality. *American Dairy Science Association. J. Dairy Sci.* 106: <https://doi.org/10.3168/jds.2022-21939>.
- Gould, L., & Kendall, N.R. (2011). Role of rumen in copper and thiomolybdate absorption. *Nutrition Research Views*, 24, 176 – 182.
- Hachemi, M., Sexton J.R., Briens, M., & Whitehouse, N. (2022). Efficacy of hydroxyl-selenomethionine on plasma and milk selenium in mid-lactation dairy cows. *American Dairy Science Association. J. Dairy Sci.* 106: <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22323>.
- Hall, J.A., Bobe, G., Hunter, J.K., Vorachek, W.R., & Steward, W.C. (2013). Effect of feeding selenium-fertilized alfalfa hay on performance of weaned beef calves. *PLoS ONE* 8(3): e58188. Doi: 10.1371/journal.pone.0058188.
- Hergenreder, J.E., Legako, J.F., Dinh, T.N., Spivey, K.S., Baggerman, J.Q., Broadway, P.R., Beckett, J.L., Branine, M.E., & Johnson, B.J. (2016). Zinc methionine supplementation impacts protein expression in calf-fed Holstein steers with minimal impact on feedlot performance. *Biol Trace Elem Res* (2016) 171:315-327. Doi 10.1007/s12011-015.0521-2.
- Hojyo, S., & Fukada, T. (2016). Roles of zinc signaling in the immune system. Hyndawi Publishing Corporation. *Journal of immunology Research*. Volume 2016, Article ID 6762343,21. <https://dx.doi.org/10.1155/20166762343>.
- Horst. E.A., Mayorga, M., Al-Qaisi, M., Abeyta, M.A., Goetz B.M., Ramirez, H.A., Kleinschmit, D.H., & Baumgard, L.H. (2019). Effects of dietary zinc source on the metabolic and immunological response to lipopolysaccharide in lactating Holstein dairy cows. *American Dairy Science Association. J. Dairy Sci.* 102:11681–11700. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17037>.
- Hosnedlova, B., Kepinska, M., Skalickova, S., Fernandez, C., Ruttkay-Nedecky, B., Donald, M.T., Sochor, J., Mojmir, B., Melcova, M., Zidcova, J., & Kizek, R. (2017). A summary of new findings on the biological effects of selenium in selected animal species. A critical review. *Int. J. Mol. Sci.* 2017, 18,2209, doi:10.3390/ijms18102209.
- Hutjens, M. (2008). Avoiding mistakes when adjusting your dairy rations during volatile times. Department of Animal Sciences. University of Illinois, Urbana. Proceeding of dairy Production Symposium. November 2008. p. 51 - 61.
- Ibraheem, M., Kvidera, S.K., Fry, R.S., & Bradford, B.J. (2022). Meta-analysis of the effects of sulfate versus hydroxyl trace mineral source on nutrient

digestibility in dairy and beef cattle. *American Dairy Science Association. J. Dairy Sci.* 106: <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22490>.

- Kim, H., Loftus, J.P., Gagne, J.W. Rutzke, M.A., Glahn, R.P., & Wakshlag, J.J. (2018). Evaluation of selected ultra-trace minerals in commercially available dry dog foods. *Veterinary Medicine: Research and reports.* 2018:9 43-51.
- Koeleman, E. 2016. EU copper levels of feed revised. All About Feed magazine. EU copper levels of feed revised - All About Feed
- Khelil-Arfa, H., Faverdin, P., & Boudon, A. (2013). Effect of ambient temperature and sodium bicarbonate supplementation on water and electrolyte balances in dry and lactating Holstein cows. *American Dairy Science Association. J. Dairy Sci.* 97:2305-2318 <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7079>.
- Lucema, J. (2009). El empleo de complejantes y quelatos en la fertilización de micronutrientes. *Revista Ceres.* vol. 56, núm. 4, Julio-agosto, 2009, p 527-535. Universidad Federal de Vicosa. Vicosa, Brasil.
- Maylin GA, Rubin DS, Lein DH. Selenium and vitamin E in horses. *Cornell Vet.* 1980 Jul;70(3):272-89. PMID: 7428374.
- Mion, B., Van Winters, B., King, K., Spricigo, JFW., Ogilvie, L., Guan, L., DeVries, T.J., McBride, B.W., LeBlanc, S.J., Steele, M.A., & Ribiero, J. (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. *American Dairy Science Association. J. Dairy Sci.* 105. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-21908>.
- Misra, S., Boylan M., Selvan, A., Spallholz, J.E., & Björnstedt, T. (2015). Redox-active selenium compounds _ From toxicity and cell death to cancer treatment. *Nutrients* 2015, 7, 3556; doi:10.3390/nu7053536.
- National Academy of Science, Engineering and Medicine (NASEM). (2021). Nutrient Requirements of Dairy Cattle. Eighth edition. Revised Edition. National Academy Press.
- Nayeri, A, Upah., N.C., Sucu, E., Sanz-Fernandez, M.V., DeFrain, J.M., Gorden, P.J., & Baumgard, L.H. (2013). Effect of the ratio of zinc amino acid complex to zinc sulfate on the performance of Holstein cows. *American Dairy Science Association. J. Dairy Sci.* 97:4392-4404. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7541>.
- National Research Council (NRC). (2001). Nutrient Requirements of Dairy Cattle. Seventh Revised Edition. National Academy Press.
- Nocek, J.E., Soccha, M.T., & Tomlinson, D. (2006). The Effect of Trace Mineral Fortification Level and Source on Performance of Dairy Cattle. *American Dairy Science Association. J. Dairy Sci.* 89: 2679 – 2693.
- Opgenorth, J., Abuajamieh, M., Horst, E.A., Kvider, S.K., Johnson, J.S., Mayorga, E.J., Sanz-Fernandez, M.V., Al-Qaisi, M.A., DeFrain, J.M., Kleinschmit, D.H., Gorden, P.J., & Baumgard, L.H. (2020). The effects of zinc amino acid complex on biomarkers of gut integrity, inflammation, and metabolism in heat-stress ruminants. *American Dairy Science Association. J. Dairy Sci.* 104. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18909>.
- Otero, M.A., Saura, G., y Martínez, J.A. (2008). Enriquecimiento de biomasa de levadura con micronutrientes esenciales. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, vol. XLII, núm. 1-3, enero-diciembre, 2008, pp. 60-68. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar Ciudad de La Habana, Cuba.
- Rabiee, A.R., Lean, I.J., Stevenson, M.A., & Socha, M. (2010). Effects of feeding organic trace minerals on milk production and reproductive performance in lactating dairy cows: A meta-analysis. *American Dairy Science Association. J. Dairy Sci.* 93 :4239–4251. doi:10.3168/jds.2010-3058.
- Razzaghi, A., Vakili, A.R, Khorrami, B., Ghaffari, M.H., & Rico, E. (2021). Effect of dietary supplementation or cessation of magnesium-based alkalizers on milk fat output in dairy cows under milk fat depression conditions. *American Dairy Science Association. J. Dairy Sci.* 105: doi:10.3168/jds.2021-20457.
- Reed, S., Qin, X., Ran-Resster, R., Brenna, J.T., Glahn, R.P., & Tako, E. (2014). Dietary zinc deficiency affects blood linoleic acid: Dihomo- γ -Linoleic acid (LA:DGLA) ratio; a sensitive physiological marker of zinc status *in vivo* (*Gallus gallus*). *Nutrients* 2014, 6, 1164-1180; doi:10.3390/nu6031164.

- Sivertsen T, Vie E, Bernhoft A, Baustad B. Vitamin E and selenium plasma concentrations in weanling pigs under field conditions in Norwegian pig herds. *Acta Vet Scand.* 2007 Jan 3;49(1):1. doi: 10.1186/1751-0147-49-1. PMID: 17201915; PMCID: PMC1779789.
- Skrajnowaska, D., & Bobrowska-Korczak, B. (2019). Role of zinc in immune system and anti-cancer defense mechanisms. *Nutrients* 2019, 11, 2273; doi:10.3390/nu1102273.
- Suttle, N.F. (2010). *Mineral Nutrition of livestock*. 4th Edition. CABI Head Office. Nosworthy Way. Wallingford, Oxofordshire. OX10 8DE UK. 565 p.
- Timmons, R.A. (2009). Selecting an organic mineral supplement. Quality Assurance Director, Alltech Inc. Symposium on Feed Applied Technology. November 6 – 7, 2009. Beijing China.
- Valldecabres, A., & Silva-del-Rio, N. (2021). First-milking calostrum mineral concentration and yields: Comparison to second milking milking and associations with serum mineral concentrations, parity and yield in multiparous Jersey cows. *American Dairy Science Association. J. Dairy Sci.* 105: doi:10.3168/jds.2021-21069.
- Weiss, W.P. (2017). A 100-Year review. From ascorbic acid to zinc – mineral and vitamin nutrition of dairy cows. *American Dairy Science Association. J. Dairy Sci.* 100 :10045-10060. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12935>. *Journal of Dairy Science*. Vol.100 N° 12, 2017.
- Wu, Z., & Satter, L.D. (2000). Milk production and reproductive performance of dairy cows fed two concentrations of phosphorus for two years. *American Dairy Science Association. J. Dairy Sci.*83:1052-1063.
- Zentrichová V, Pechová A, Kovaříková S. Selenium and Dogs: A Systematic Review. *Animals (Basel)*. 2021 Feb 6;11(2):418. doi: 10.3390/ani11020418. PMID: 33562028; PMCID: PMC7915357.