

## AVANCES EN NUTRICION MINERAL EN GANADO BOVINO

Jesús Ciria Ciria<sup>1</sup>, Ramón Villanueva Marín<sup>2</sup> y Jesús Ciria García de la Torre<sup>3</sup>

<sup>1</sup>E.U.I. Agrarias de Soria, Universidad de Valladolid, España <sup>2</sup>Complementos de Piensos Compuestos, S.A., <sup>3</sup>Avícola Ciria, S.L. E-mail: jciria@agro.uva.es

### RESUMEN

En la nutrición mineral del ganado bovino debemos tener en cuenta 21 elementos esenciales, o probablemente esenciales, en los que su estructura química es la responsable de su función. Existen minerales en cantidades relativamente importantes (macrominerales), y otros en pequeña cuantía (microminerales u oligoelementos). Cumplen funciones estructurales, participan en diferentes reacciones y en funciones vitales de regulación, así como en el sistema inmunitario. La baja ingestión de estos nos conduce a carencias que repercuten en la productividad y en la salud, pero el exceso de algunos provocan intoxicaciones o carencias de otros por las interacciones. Los alimentos que consumen los rumiantes presentan contenidos muy variables de minerales, incluso dentro del mismo producto en función del suelo, estado de madurez, etc., por lo que la prevención de carencias cuando existen variaciones estacionales en el tipo de alimentos que ingieren los animales nos obliga a utilizar determinados suplementos o correctores. Debemos valorar que el descenso de la productividad, o las enfermedades crónicas suelen presentar un coste muy superior al de una correcta suplementación. Por último, debemos tener en cuenta la digestibilidad, condicionada por la absorción de los diferentes compuestos ya sean en forma orgánica o inorgánica, y la utilización metabólica, así como la movilidad de determinadas reservas en el cuerpo del animal.

**Palabras clave:** macrominerales, oligoelementos, quelatos, proteínatos, hipocalcemia.

### INTRODUCCIÓN

Los minerales constituyen entre 4-5 % del peso vivo del animal, y su presencia es

necesaria para la vida y salud de todas las especies. En la práctica, y en la nutrición del ganado vacuno, se le ha prestado poca atención, pero en la realidad, es una cuestión que incluye 21 elementos esenciales o probablemente esenciales, que tienen todas las características de ser un principio inmediato como los demás, ya que: los animales presentan unas necesidades, los minerales cumplen unas funciones y existe la posibilidad, tanto de presentarse deficiencia como toxicidad. Lo hace más relevante, el que su estructura química es la responsable de su papel en la nutrición animal, y que esa diferencia de estructura es lo suficientemente marcada como para estudiar los elementos por separado. Otro dato de la importancia del estudio de estos elementos, es que aunque está demostrado que ciertos elementos no son esenciales, su presencia tiene interés por su toxicidad potencial.

En los últimos años, la Unión Europea ha considerado en su legislación a los microminerales como aditivos, y no como materias primas, en los que si engloba productos usados en la nutrición de rumiantes, como sustancias tampón y alcalinizantes (óxido de magnesio, bicarbonato, otros). Justifica esta inclusión basándose en tres argumentos: 1) proteger la salud del consumidor final, 2) proteger la salud de los animales y 3) proteger el medio ambiente.

Las actuales tendencias en la nutrición mineral del bovino van en dos líneas bien diferentes, ya se trate de sistema de explotación intensiva o extensiva. En el primer caso se estudia minimizar los aportes para evitar excreciones innecesarias, que crean un problema importante de contaminación ambiental. En el ganado extensivo, se investiga la forma de evitar el riesgo de subnutrición en elementos minerales,

procurando conseguir una adecuada composición del pasto mediante fertilización, situación complicada y costosa cuando la carga ganadera es baja (gran superficie a fertilizar) y la variación estacional es elevada, como es el caso de Venezuela con dos estaciones claramente diferenciadas, lluviosa y seca.

Varios autores han descrito el contenido de minerales de los pastos venezolanos (French y Chaparro, 1960; Paria, 1983 y Tejos, 2001), así como de las carencias existentes en su cabaña bovina (Velasquez, 1981; Marín *et al.* 1987; Rojas *et al.*, 1994), y la posible corrección de estas carencias mediante aportación de un suplemento.

En este trabajo, vamos a realizar una revisión de la nutrición mineral, intentando aportar datos sobre las funciones e importancia de algunos elementos, sobretodo los microminerales, en la nutrición animal.

### **CLASIFICACIÓN DE LOS MINERALES**

Desde un punto de vista académico los elementos inorgánicos se clasifican en dos grupos, según las cantidades necesarias en la dieta y/o por su presencia cuantitativa en el organismo del animal: macroelementos y microelementos. Para los primeros las necesidades dietéticas se establecen por encima de 100 partes por millón (ppm), (porcentaje de la ración o gramos por día) y para los microelementos por debajo de estas cantidades. Del mismo modo, la concentración media en los tejidos supera las 100 ppm para los macroelementos siendo menor para los microelementos (en general por debajo de 20 ppm).

De los primeros, calcio, fósforo, sodio y cloro son añadidos al pienso o heno u ofrecidos como correctores, generalmente, ya que las necesidades del animal superan lo que se aporta por las materias primas que ingiere. Los restantes se añaden solo en caso necesario. De los microelementos, aunque se ha demostrado la necesidad de la mayoría, solo hierro, cobre, zinc, manganeso, yodo,

cobalto y selenio se añaden normalmente mediante el corrector mineral.

También se pueden realizar otras clasificaciones, por ejemplo según su carga : cationes, que por su valencia pueden ser monovalentes (Na, K) o divalentes (Ca, Mg, Zn, de absorción mas lenta) y aniones (P, S, Cl, I y F).

### **FUNCIONES GENERALES DE LOS MINERALES**

Son muy numerosas las funciones que cumplen los minerales y afectan a la práctica totalidad de los procesos del ser vivo (Failla, 1999; Cashman y Flynn, 1999). Entre otras citamos:

- Funciones estructurales: son constituyentes esenciales en la formación de dientes y esqueleto (Ca y P, fundamentalmente)
- Reacciones de transferencia de energía: P
- Síntesis de proteína: S
- Transferencia genética (RNA): P, Fe, Mn, Ni, Zn, Cr.
- Sistemas enzimáticos (metaloenzimas y enzimas metálicos)
- Funciones vitales de regulación: presión osmótica; equilibrio ácido-base (pH); permeabilidad de la membrana; actividad neuro-muscular; regulación de la función basal y transporte de oxígeno a las células
- Componente fundamental: Co en la Vit B12

### **DETERMINACIÓN DE LOS MINERALES EN LOS ALIMENTOS**

Este apartado es complejo, pero es necesario tenerlo muy en cuenta para llegar a un conocimiento de la nutrición animal. Debemos conocer los problemas, limitaciones y fallos de los métodos empleados para determinar el contenido mineral de los alimentos. En primer lugar destacaremos que cada elemento en su analítica presenta problemas diferentes, y que existe una gran variación en la cantidad de los distintos elementos presentes en los alimentos, por lo

que es más fácil analizar aquellos que se encuentran en cantidades más apreciables. Luego no es de extrañar que exista más información bibliográfica sobre el contenido de los macrominerales.

Fue a partir de 1960 cuando se produjo la revolución en la metodología analítica para los microminerales, siendo las técnicas más usadas las de espectroscopía de absorción atómica, que permite detectar ppm; espectrofotometría de emisión de lectura directa, que detecta varios elementos de la misma muestra; análisis de activación por neutrones; espectrofotometría de emisión de plasma; voltimetría de banda anódica; espectrofotometría de masa por centelleo y fluorescencia por rayos X. Esta última metodología tan mejorada ha sido de gran utilidad puesto que ha establecido la esencialidad de algunos elementos traza.

### FUENTES DE MINERALES

Los elementos minerales no pueden ser sintetizados por los animales por lo que sus necesidades deben ser cubiertas por los alimentos que ingieren, ya que el agua y el suelo solo proporcionan pequeñas cantidades. Las fuentes las clasificaremos en normales ó naturales (contenidas en los alimentos) y suplementos minerales. En la actualidad, la gran variación del contenido mineral de los alimentos, su desconocimiento en algunos casos, el inexacto conocimiento de las necesidades, las distintas interacciones y la gran variación en la utilización digestiva de los elementos minerales se combinan para dar unas reducciones insospechadas en el rendimiento de los animales.

### Variación en el contenido mineral de los alimentos

Generalmente, las tablas solo aportan valores medios, pero en la práctica hay una enorme variabilidad en el contenido mineral de los alimentos. Así, en las leguminosas podemos encontrar diferencias tan importantes (Cuadro 1), que nos llevan a falsos equilibrios de las raciones y a observar variaciones en el comportamiento productivo y reproductivo de los animales. De la misma forma podemos observar el coeficiente de variación en el contenido de microminerales en otras materias primas comúnmente usadas en nutrición de rumiantes (Cuadro 2).

Esta variabilidad en la composición mineral de los alimentos se debe a diversos factores, por tanto, lo que interesa es identificarlos y conocer su importancia, en lo que afectan a la composición mineral, ya que nos ayudará a poder desarrollar los programas de alimentación, así como a diagnosticar los posibles problemas carenciales o de toxicidad, relacionados con los minerales. Los principales factores que afectan a la composición mineral son:

#### a) Caracteres específicos de las plantas

Existen diferencias apreciables en la composición mineral de gramíneas y leguminosas, siendo más acentuadas estas en calcio, sodio y potasio. Así, en plantas forrajeras, el contenido medio se encuentra en la Cuadro 3.

En las semillas, también existen diferencias, incluso dentro del mismo género (Cuadro 4).

El papel que puede jugar la selección

**Cuadro 1. Variación de la composición mineral de algunas leguminosas.**

Elemento	Intervalo	Max/Min
Calcio, %	0,001-2,60	261
Fósforo, %	0,07-0,74	11
Magnesio, %	0,07-0,75	11
Azufre, %	0,04-0,38	10
Manganeso, ppm	6-265	44
Hierro, ppm	10-2599	260
Cobre, ppm	2-92	46
Zinc, ppm	8-300	38

**Cuadro 2. Coeficiente de variación (desviación estandar/media) x 100) del contenido de microminerales de algunas materias primas comúnmente usadas en nutrición de rumiantes.**

Materia prima	Micromineral			
	Fe	Zn	Cu	Mn
Ensilado de maíz	307	155	89	119
Heno de alfalfa	93	131	144	61
Maíz	29	22	44	23
Harina de soja	85	203	40	66
Semilla de algodón	31	15	22	15

Adaptado: Berger, 1995.

**Cuadro 3. Contenido en minerales de alimentos de origen vegetal (NRC, 1988).**

Plantas	Ca	P	Na	Mg	K	S	Zn	Fe	Cu	Co
Leguminosas	1,18	0,3	0,024	0,24	2,55	0,26	17	200	13,4	0,09
Gramíneas	0,49	0,22	0,014	0,16	1,68	0,20	17	200	5	0,06

Unidades: macrominerales en % sobre materia seca (MS). Microminerales en mg/kg de MS o ppm.

**Cuadro 4. Contenido en minerales de algunas semillas (NRC, 1988).**

Semillas	Macrominerales						Microminerales				
	Ca	P	Na	Mg	K	S	Zn	Fe	Cu	Co	Mn
Maíz	0,03	0,31	0,01	0,13	0,35	0,14	21	30	3,6	0,04	6
Cebda	0,05	0,37	0,03	0,15	0,45	0,18	17	90	9,1	0,11	19

Unidades: Macrominerales en % sobre materia seca (MS).

Microminerales en mg/kg de MS.

**Cuadro 5. Composición mineral del *lolium perenne* según el pH del suelo.**

pH suelo	Mo	Co	Mn	Zn	Fe	Ni	Se
5,4	0,52	0,35	58	+	+	+	
6,4	1,23	0,12	40				+

genética en la presentación de nuevas deficiencias minerales, intoxicaciones y problemas de desequilibrio, cada vez recibe mayor importancia, puesto que puede dar lugar a problemas inesperados si los cambios no se conocen o se tienen en cuenta adecuadamente, por ejemplo en el caso del género *Lolium* (*lolium* o ballico). El contenido en I del ballico es 1,8 ppm en base seca, mientras que en *L. perenne* es 1,35 y de 0,9 en *L. multiflorum*.

#### b) Tipo de suelo

Es evidente que el contenido del suelo puede tener influencia, a veces importante, en la composición mineral de las plantas, pero sus características también influyen en la utilización de esos elementos por los vegetales. Uno de los factores que afecta esa utilización es el pH, y según el comportamiento del *Lolium perenne*, en la retención de algunos microelementos a

diferentes valores de pH del suelo, es el que se expresa en Cuadro 5.

También existen interacciones en el terreno de cultivo. Por ejemplo, realizando una fertilización con altos niveles de potasio aumenta el contenido de este en la planta, pero disminuye el contenido de Na y Mg, lo que puede dar lugar a una mayor incidencia de tetania de la hierba.

Estas interacciones, unidas a la gran cantidad de aporte de fertilizantes que se necesitan para el aumento del contenido de los minerales en la planta, conduce a que este método de manejo se cuestione, y de existir una deficiencia mineral en la ración del ganado alimentado a base de forrajes a diente, es más adecuado adicionarlos con un suplemento mineral.

#### c) Estado de madurez de la planta

Influye en el contenido de algunos minerales, fundamentalmente en los

macrominerales. (Cuadro 6). Tras observar estos valores, podemos afirmar que las deficiencias de fósforo se explican por bajos contenidos de este en el terreno y por el consumo de forrajes maduros. De forma general, podemos afirmar también que con la maduración desciende el contenido de: K, Na, Cl, Cu, Co, Ni, Zn y Mo, y aumenta el de Si.

**d) Partes de la planta**

Entre los diferentes partes existe variación en el contenido mineral, así en el maíz, queda ilustrado en Cuadro 7.

**e) Climatología**

Lo que se observa es una correlación de factores, el clima ejerce un efecto sobre los caracteres del terreno, que a su vez determina el tipo de planta que se desarrolla en él. Citamos como ejemplo el selenio:  
Clima seco => lixiviación del suelo => pH alto, con lo que la planta utiliza mejor el Se del suelo.

**Utilización de los minerales del alimento por el ganado vacuno**

Los datos son menos abundantes y su importancia práctica no está del todo bien aclarada. No obstante, se conocen algunos aspectos:

- El Mg presenta menor utilización en forrajes inmaduros.
- Los cationes:
  - Monovalentes: Na , K y Cl, tienen una absorción total.
  - Divalentes: Ca , Mg y Zn, presentan una absorción más lenta.
  - La absorción del Mn es del orden del 3-

4 %.

- Para Ca, Zn y Fe la cantidad absorbida depende de la ingerida.
- El porcentaje de absorción puede depender de su origen o su forma química.

Se entiende por utilización la cantidad que el animal absorbe expresada como porcentaje de la cantidad total presente en la dieta. Para la obtención de estos datos las pruebas convencionales de digestibilidad solo proporcionan una buena indicación en el caso del Na , K y Cl , para el resto de los elementos es muy difícil porque hay una cantidad apreciable encontrada en las heces que es de origen endógeno, por lo que es necesario recurrir al cálculo de la digestibilidad real.

Actualmente se emplean métodos con minerales radioactivos para determinar la utilización de los elementos y distinguir luego en las heces los marcados (procedentes del alimento), de los procedentes de origen endógeno.

Los elementos minerales se presentan de diferentes formas químicas, combinaciones y asociaciones, esto influye en el modo en que los elementos son absorbidos y metabolizados. Por ejemplo, el óxido de hierro es menos utilizable que otros compuestos de hierro; se tolera mejor el flúor de compuestos menos solubles (fosfatos) que de los solubles (sódicos o cálcicos); el selenio orgánico (unido a una proteína) es más utilizable que una sal; el Mo de los pastos es más tóxico que los suplementos inorgánicos; así ocurre con el sulfato ferroso respecto el hierro de los

**Cuadro 6. Composición mineral en alfalfa y planta de maíz, según el estado vegetativo.**

Cultivo	Estado vegetativo	Ca	P	Mg	Na	K	Fe	Mn
Alfalfa	Temprano	1,80	0,35	0,26	0,22	2,21	253	45
	Óptimo	1,54	0,29	0,24	0,15	2,56	227	34
	Tardío	1,41	0,23	0,33	0,14	2,52	192	31
Silo maíz	Lechoso	0,34	0,19	0,23	-	1,41	-	-
	Pastoso	0,23	0,22	0,19	0,01	0,96	-	-

Unidades: macrominerales en % sobre materia seca (MS). Microminerales en mg/kg de MS (ppm).

**Cuadro 7. Contenido en minerales del silo de maíz y del grano seco (mg/kg MS).**

Cultivo	Ca	P	Na	Mg	K	S
Silo maíz	0,27	0,23	0,005	0,18	1,07	0,14
Maíz grano	0,03	0,31	0,003	0,12	0,42	0,14

alimentos; la forma DIS del yodo no la puede metabolizar el rumiante.

Desgraciadamente, la información sobre el metabolismo y su utilización es escasa y las respuestas, para la administración de mineral al ganado está por conocerse, lo que representa un desafío para los investigadores y la utilización de un margen de seguridad para evitar **problemas inesperados**

### **Valor Biológico Relativo (VBR) de las fuentes de suplementos minerales**

La mayor parte de las raciones usadas son deficientes en elementos minerales en relación a las necesidades del animal, por lo que es necesario corregirlo con la adición de correctores. Pero es necesario elegir la fuente apropiada (minerales o complejos órgano-minerales), ya que será determinante una buena utilización, tanto para cubrir las necesidades como para evitar excreciones elevadas de algunos elementos (fósforo, cobre y zinc, principalmente), con el incremento del efecto contaminante de las deyecciones. Hasta este momento, a excepción de la obra *Bioavailability of nutrients for animals* (Ammerman *et al.*, 1995) apenas existe información sintetizada sobre el tema.

La International Association of the European Manufacturers of Major, Trace and Specific Food Minerals Materials (EMFEMA), desde 1999 encargó a expertos un trabajo de actualización sobre el tema (EMFEMA, 2002), y concretamente para los rumiantes a François Meschy.

La elección de una base de VBR, ha permitido integrar datos experimentales diferentes a los de la absorción aparente o real (parámetros de huesos o concentraciones en tejidos, por ejemplo). Las publicaciones fueron admitidas en la base de datos con determinadas condiciones. Las fuentes de minerales deben ser identificadas de forma precisa (y si es posible químicamente) y los métodos analíticos y experimentales deben ser expuestos claramente. En total la base de datos reunió 222 publicaciones para todos los minerales y especies animales, y se aplicaron factores de ponderación para tener en cuenta

la pertinencia y fiabilidad de los parámetros estudiados. Este dato es susceptible de modificación según que el aporte sea a nivel de necesidades del animal o sensiblemente por debajo.

En el caso de medida de la concentración tisular, para algunos elementos (cobre, zinc, selenio), los valores fueron transformados en logaritmos decimales para mantener el VBR en los límites fisiológicos.

Para tener en cuenta la potencia de los dispositivos experimentales, los valores medios han sido ponderados por la raíz cuadrada del número de ensayos en una misma publicación.

En las tablas de EMFEMA, los valores indican únicamente, para cada animal y para cada elemento mineral, el número de ensayos, la media y la desviación típica, y en la mayoría de los casos la fuente de referencia es única (VBR=100), lo que permite una comparación directa de las fuentes estudiadas.

### **Suplementos minerales**

Debemos tener en cuenta que:

***Necesidades del animal – aporte de los alimentos = necesidad de suplemento mineral***

El aporte al animal puede ser por diferentes vías, con el concentrado, en caso de suplementación; con la ración completa (en su caso) y a libre disposición en animales en pastoreo, ya se trate de: oligoelementos, mezcla completa, suplemento líquido o presentaciones especiales según la zona (con melaza, urea u otro tipo de bloques).

## **METABOLISMO MINERAL EN EL GANADO VACUNO LECHERO**

Es necesario su estudio para un racionamiento práctico puesto que existen grandes diferencias en las pautas de: absorción, transporte, excreción, tasa de renovación de los tejidos y control homeostático, entre los elementos minerales. Estos procesos están en equilibrio mediante las distintas formas en que el elemento pueda presentarse y están influidas por el pH de los

fluidos del organismo, la presencia de otros minerales, secreciones hormonales o la adición de quelatos.

**Absorción de los minerales**

La proporción de mineral que se absorbe en el animal varía según los deferentes minerales. Podemos destacar las siguientes vías de absorción:

- a) Tracto digestivo: es la más importante, siendo la parte más activa, aunque variable según los distintos minerales. Los iones Co, Na, Cl y K, más relacionados con los líquidos corporales, pueden ser absorbidos en más de un 70 %. La absorción de los alcalino térreos está entre 5-70 % y la de los metales Fe, Cu, Zn, Mn, etc., no supera el 5 %. En el intestino delgado se absorben cationes divalentes (Ca, Zn, Mn y Fe) y en el retículo-rumen el Mg.
- b) *Aparato respiratorio*: Cadmio.
- c) Piel: inyección de determinados compuestos.

Como mecanismos de absorción destacaríamos (Cuadro 8) difusión simple en los iones monovalentes Na, K y Cl, y difusión facilitada en los cationes divalentes Ca, Zn y Fe. El proceso de absorción se resumiría en dos etapas, paso a través de la mucosa intestinal, y transferencia al plasma sanguíneo (que lo transporta hasta los distintos tejidos).

A la vez, en la expresión de absorción se debería diferenciar entre la absorción real, cantidad total que llega a los tejidos y la neta o retenida, que es la real menos la excretada puesto que parte de la real vuelve a ser excretada al poco tiempo de su absorción.

**Transporte y tasa de renovación de los minerales en los tejidos**

Una vez absorbidos, los minerales son transportados por todo el organismo del animal, a través del plasma como combinados con compuestos orgánicos (proteínas o amonoácidos); como iones (Na, K, Cl) y como parte de iones (fosfatos)

Una vez que los minerales llegan a los tejidos, se fijan a éstos bajo forma de combinaciones muy diversas. Cabe destacar aquí el concepto tasa de renovación, que sería el periodo de tiempo desde que un elemento llega a un tejido orgánico hasta que es eliminado. Por lo que se deduce que la tasa de renovación depende de: los distintos elementos, de sus combinaciones químicas, y de los diferentes tejidos corporales (el hueso es el de peor comportamiento).

**Excreción de los elementos minerales**

En cuanto a los minerales excretados, debemos considerar dos tipos: la porción contenida en los alimentos que no es absorbida y llega a las heces, y la parte que tras ser absorbida es posteriormente excretada (origen endógeno). La excreción endógena es importante cuantitativamente en Na, Cl, K y Mg, por la orina, y de Fe, Zn, Mn y Cd, por las heces. Como vías de excreción citamos: heces y/o orina, sudor y respiración (en el caso del Se en exceso). No se debe considerar la leche como vía de excreción, puesto que se trata de una secreción.

Una serie de elementos son eliminados por la orina, como Na, K, P, S, Fe y Co. Muchos se vierten en las secreciones digestivas para ser después reabsorbidos en mayor o menor cuantía, así el Zn y Cu, en el

**Cuadro 8. Tipo de absorción de algunos elementos minerales.**

Elemento	Difusión simple	Difusión facilitada	
		Quelados	Proteínas ligantes
Na, K, Cl	+		
P	+	¿?	¿?
S			
Ca	+	+	+
Mg			
F	¿?	+	+
Cu, Zn, Mn, Co, Ni, Cr, Fl, V, Mo, Sn, Si, Se, I	¿?	+	+

jugo pancreático y biliar, respectivamente, o el Cl en el jugo gástrico. Hay también pérdidas de minerales por descamación de la piel y el sudor (Na, Cl y K).

**Control homeostático de los niveles de minerales en los tejidos**

La homeostasis se podría definir como “situación de relativa uniformidad que tiene lugar como consecuencia de los ajustes de los seres vivos a los cambios en su medio”. Luego el rumiante, aunque consuma minerales altamente variables mantiene constante los niveles de los elementos minerales funcionales en los tejidos, gracias a un control homeostático. La gran variación en el consumo y el rendimiento normal es consecuencia del control homeostático.

En la práctica de la nutrición, es de gran importancia, puesto que las variaciones en el consumo y en el rendimiento normal hay que tenerlas en cuenta, por la posibilidad y consecuencias graves de las deficiencias y las intoxicaciones, sobre todo, cuando la ingestión se va más allá de la necesaria para que los animales sean capaces de mantener los elementos minerales dentro de unos niveles aceptables. La homeostasis mineral se debe estudiar desde dos puntos:

- Metabolización de los minerales: ingestión variable de un elemento mediante cambios en absorción (principal mecanismo

adaptativo), excreción en la orina; en deposición en los tejidos (reserva fácilmente utilizable o reserva de difícil utilización no perjudicial) y secreción en leche.

- Excreción endógena con las heces.

Podemos esquematizar las principales vías que emplean los animales para adaptarse a las distintas ingestiones de los elementos minerales (Cuadro 9).

Se observa que el grado de homeostasis mineral y los mecanismos implicados varían notablemente con los diferentes minerales, y las diferencias existentes entre ellos en cuanto a las cantidades absorbidas, retenidas y excretadas se desarrollarán como forma de supervivencia.

**DETERMINACIÓN DE LAS NECESIDADES Y TOLERANCIA DE LOS MINERALES**

Tanto los niveles de necesidades como la tolerancia a los minerales se han determinado por dos enfoques básicos: método factorial y ensayos de alimentación.

- a) **Método factorial.** Se compone de dos fases. La primera, en que se calcula la cantidad neta depositada en los tejidos durante: crecimiento, reproducción, secreción en la leche a las que se les añade las pérdidas

**Cuadro 9. Principales vías de adaptación a distintas ingestiones de minerales.**

<u>Vía</u>	Grado de importancia en la adaptación			
	++++	+++	++	+
Absorción	Ca, Fe,Zn,Mn		Mg,Se	Na, Cl,K, I,Cd
Excr.endog.fecal	Mn,Ca	I	Zn	Se,Cd
Perdidas urinarias	Mg,Na,Cl,K, I,Se,Fl	Ca	Ni,Cd	Zn,Cu,Mn
Deposición en tejidos	Ca (hueso) Fe, Cu (higado) Mo, Fl	I Cd	Mg,Na,Mn Zn,Co,Se	
Secreción en leche	I (diagn.) Mo	Zn	Cu,Co,Mn Se,Fl	Ca,Na,Cl,K, Fe,Ni,Cd.



del elemento en el organismo por mantenimiento y pérdidas endógenas. La segunda, por ensayos de metabolismo se determina el porcentaje de utilización del elemento en cuestión. Por tanto, las necesidades netas se dividen por el porcentaje de utilización para así poder llegar a la cantidad total que se precisa en la dieta. El inconveniente de este método reside en la dificultad de determinar las necesidades de mantenimiento, las pérdidas endógenas y el porcentaje de utilización de algunos elementos.

b) **Ensayos de alimentación.** Consiste en administrar cantidades conocidas del mineral en estudio y observar las respuestas y los rendimientos de los animales. El inconveniente es disponer de criterios precisos que indiquen una sensibilidad clara a la estimación exacta de las necesidades.

Conviene que ambos métodos coincidan, de lo contrario se estudian medias concretas, que para tomarlas es necesario tener en cuenta ciertas consideraciones generales: Por ejemplo si los niveles tisulares están siendo repleccionados, si los criterios de deficiencia son poco sensibles y si la eficiencia de utilización varía para las diferentes funciones. Los niveles de tolerancia o cantidades máximas que pueden administrarse sin que se presenten síntomas se determinan casi exclusivamente en ensayos de alimentación.

### **EFFECTO DE LAS DEFICIENCIAS MINERALES EN LOS ANIMALES**

Varía ampliamente para cada mineral, pues muchos síntomas se superponen por que las deficiencias en ellos dan lugar a los mismos signos carenciales, al tener efectos similares, y por consiguiente resulta difícil diagnosticarlas. Aún se complica más por el hecho de que la deficiencia a largo plazo tiene un efecto negativo sobre la salud y rendimiento y es posible que tenga lugar una notable depleción de algún elemento antes de que disminuyan los rendimientos.

### **TOXICIDAD Y TOLERANCIA**

Todos los elementos son potencialmente tóxicos si se consumen en cantidades suficientemente altas, pero generalmente los niveles de tolerancia sin que aparezcan efectos negativos en el rendimiento o salud son muy superiores a las necesidades mínimas, y normalmente el margen de tolerancia entre los niveles de deficiencia y toxicidad es mayor para los oligoelementos que para los macrominerales (Cuadros 10 y 11).

Conviene recordar que algunos microminerales como  $\text{F}$ ,  $\text{I}$  y  $\text{Cu}$  pueden dar toxicidad en ciertas condiciones de alimentación.

Como muchas otras sustancias tóxicas, también en el caso de los minerales, y más en los microminerales ocurre el fenómeno de la **hormesis**. Hormesis es una palabra de origen griego: *hormo* que significa excitar. La hormesis describe el fenómeno beneficioso que ejerce toda sustancia tóxica cuando se presenta al organismo a dosis muy bajas (Hadley, 2003). Es decir, dosis muy bajas de  $\text{As}$ ,  $\text{Cd}$ ,  $\text{F}$ , pueden estimular el sistema inmune del animal, mejorar sus defensas, y su estado de salud. Por lo tanto, el hecho de que algunos microminerales sean considerados tóxicos, no significa que deban excluirse por completo de la alimentación animal.

Además de los microminerales esenciales para el correcto funcionamiento del organismo, existen microminerales que pueden resultar tóxicos incluso a dosis bajas. Las concentraciones de estos microminerales tóxicos están regulados en la Unión Europea por la Directiva 2002/32/EC de 7 de mayo de 2002 como sustancias indeseables en la alimentación animal.

Esta legislación limita las concentraciones máximas de microminerales tóxicos y obliga a conocer su concentración en todas las materias primas y aditivos, ya que se habla de inclusión máxima, es decir, contenido final como suma de las aportaciones por los alimentos y por los correctores (Cuadro 12).

**Cuadro 10. Necesidades mínimas (por kg de MS) y niveles de seguridad.**

Mineral	Necesidad mínima	Seguridad máxima	Intervalo seguridad
Cl, Na, %	0,46	5	11
Fe, ppm	50	1000	20
Co, ppm	0,1	20	200
Cu, ppm	10	80	8
Mn, ppm	40	1000	25
Zn, ppm	40	1000	25
I, ppm	0,5	50	100
Se, ppm	0,1	5	50

**Cuadro 11. Concentraciones máximas legales (Unión Europea) y tóxicas de microminerales con riesgo de inducir toxicidad en rumiantes (Bach y Devant, 2004).**

	Máximo límite legal	Concentraciones tóxicas
E1 Fe	750 ppm	500-1000 ppm
E2 I	10 ppm	8-50 ppm
E3 Co	2 ppm	30 ppm
E4 Cu	Ovinos: 15 ppm Bovinos: 35 ppm Prerumiantes: 15 ppm Otras especies: 25 ppm	Bovinos 40-100 Terberos: 30 ppm Ovino: 8 ppm ya puede ser tóxico Corderos son más sensibles: 38-40 mg/d durante 16-20 semanas pueden ser tóxicas
E5 Mn	150 ppm	Bovinos: 500-1000 ppm
E6 Zn	150 ppm	Bovinos: 500-1000 ppm Terberos 250 ppm
E7 Mo	2,5 ppm	Bovinos: 3-10 ppm
E8 Se	0,5 ppm	Bovinos Crónica: 3-40 ppm Aguda: 20 mg/kg peso vivo

**Cuadro 12. Límites máximos recomendados (ppm) y máximos legales (ppm) de microminerales tóxicos.**

	Límites máximos recomendados	Máximos legales
Arsénico	Arsénico inorgánico: 50 Arsénico orgánico: 100	2
Vanadio	Vacuno: 50 Corderos: 7	-
Cadmio	0,5	1
Flúor	40	Lactantes: 30 No lactantes: 50
Plomo	30 (200 ppm son letales)	5
Mercurio	2	0,1
Aluminio	1000	-
Bromo	200	-
Estroncio	2000	-
Cromo	1000	-
Níquel	50	-

Fuente: Directiva 2002/32/EC, Transpuesto a España por el RD 465/2003 de 29 de abril de 2003.

### IMPORTANCIA DE LAS DEFICIENCIAS E INTOXICACIONES MARGINALES

Posiblemente las deficiencias marginales sean más graves que las agudas y

para demostrarlo basta con hacer una comparación con un iceberg. La punta representa las grandes deficiencias, y la parte escondida (la mayor extensión) representaría la enfermedad marginal, y antes que se

**Cuadro 13. Principales formas orgánicas para la suplementación de minerales.**

Tipo	Ratio en moles Fuente orgánica: Mineral	Peso molecular
Complejos de aminoácidos	1 : 1	Bajo
Quelatos	2 : 1	Bajo
Proteínatos	-	Alto
Complejos de polisacáridos	-	Alto

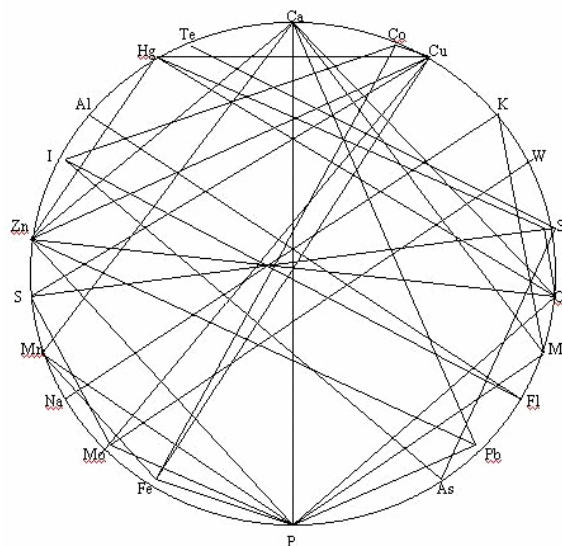
presenta la enfermedad aguda en un animal, la deficiencia marginal esta afectando el rendimiento negativamente a un grupo muy numeroso de animales.

Es tan importante esta deficiencia mineral que de ella destacaríamos que puede reducir el rendimiento de la producción lechera, puede reducir el ritmo de crecimiento, puede reducir la resistencia a las enfermedades y puede reducir la fertilidad, como consecuencias de que existe una variación de estos parámetros según el individuo y que para poder detectar un problema es necesario que existan diferencias de los parámetros en un 5 % como mínimo. Todo ello puede hacer que se disminuyan los rendimientos de un rebaño y por tanto se disminuyan los ingresos sin que se pueda sospechar la existencia de un problema. Así mismo, la adicción incontrolada de minerales puede dar lugar a intoxicaciones marginales y problemas de desequilibrio que tengan efectos no detectados sobre el rendimiento y por tanto sobre los beneficios netos.

### INTERACCIONES MINERALES

El metabolismo, las cantidades necesarias y los niveles de seguridad de los elementos se ven afectados por los demás elementos de la dieta y las interrelaciones deben tenerse en cuenta en muchas circunstancias de la alimentación practica (Fig. 1). No están muy estudiadas la mayoría de estas interrelaciones pero sería conveniente saberlas para conocer con exactitud la seguridad de la dieta. Dentro de las relaciones se podría efectuar una primera división:

- Antagonismo entre minerales: la presencia de un elemento disminuye la disponibilidad de otro. Así ocurre entre Cu y Mo, Ca y P, Fe, I, Zn y Mn, por lo que la presencia en determinadas cantidades de un elemento,

**Figura 1. Interacciones minerales.**

puede hacer aumentar las necesidades de otros al provocar un cambio en su absorción o en una excreción mas rápida, un cambio de los efectos a nivel tisular o funcional, o cambio en su distribución en tejidos o líquidos corporales.

- Interacciones entre los minerales y los componentes orgánicos de la dieta: Aunque se da más importancia a las relaciones entre los elementos no hay que olvidar las interacciones mineral – compuesto orgánico de la dieta. Así ocurre entre la vitamina D y Ca en la síntesis de proteínas ligantes de Ca para de esta forma aumentar las absorción del Ca. También interviene esta vitamina en el metabolismo de Mg, Zn, Cd y Pb. La vitamina E y Se : un nivel alto de tocoferol explica la escasa deficiencia de Se. Los fitatos y P : el fósforo de las cereales al unirse a las fitinas puede ser mal utilizado por los animales

Las interacciones todavía se complican más si tenemos en cuenta que hasta las

hormonas pueden influir en su utilización, así es el caso de hormona paratiroidea (Ca y P), aldosterona (Na y K) y calcitonona y estrógenos Ca).

### **FUENTES ORGÁNICAS DE MINERALES; LOS MICROMINERALES**

Existe una amplia investigación sobre el empleo de diferentes tipos de minerales suministrados no bajo forma convencional (sulfatos, óxidos, carbonatos) sino en forma orgánica (Cuadro 13). En vacuno de leche, los minerales que principalmente se suplementan de forma orgánica son: zinc, cobre, manganeso, hierro y cobalto (Cuadro 14).

Los microminerales tienen un papel principal en el organismo como cofactores de los sistemas enzimáticos. Hay identificados más de 300 sistemas enzimáticos, en los que se conocen funciones específicas de ciertos microminerales (Cuadro 15). A nivel fisiológico; Fe, Cu, Zn y Mn se asocian con fertilidad y crecimiento, aunque se les conoce otras áreas de influencia.

Las ventajas de empleo de fuentes orgánicas frente a las inorgánicas se resumen en: mejor absorción y metabolismo más efectivo; no reaccionan con otros componentes de la ración (esto es importante en el caso de las vitaminas del premix cuando ambos se adicionan juntos); su absorción no se ve influenciada por otros componentes de la ración (el ácido fólico reduce linealmente la absorción del zinc) y evitan el antagonismo de absorción entre microminerales.

Pero también existen desventajas del empleo de formas orgánicas, entre las que destacamos: el precio, pues las formas orgánicas suponen un coste de suplementación por unidad de mineral muy superior al de las sales inorgánicas; el control analítico es complicado y no siempre permite diferenciar las formas orgánicas técnicamente bien diseñadas de las simples mezclas de minerales y aminoácidos, dónde realmente no existe una unión química entre la matriz orgánica y el micromineral y por último que los resultados que aparecen en la literatura científica no son siempre consistentes y es

difícil constatar por tanto la efectividad de su uso

De los más de 300 sistemas enzimáticos en los que se reconoce función específica a diferentes microminerales, pueden citarse como ejemplos los mostrados en los Cuadros 17 y 18.

### **PROBLEMAS METABÓLICOS OCASIONADOS POR LOS MINERALES**

Este conjunto de enfermedades comprende la hipocalcemia, desplazamiento de cuajar y cetosis, y aunque son trastornos independientes casi siempre unos inducen a los otros y se presentan asociados, aunque en intervalos de tiempo diferentes.

Estos problemas están asociados con el nivel de producción y a medida que éste aumenta, por lo general, el riesgo de que aparezcan es mayor ya que se emplean niveles de alimentación de más riesgo. En una reciente publicación, citada por Acedo-Rico (1997), se presenta un estudio de campo con 7523 vacas en el estado de Nueva York exponiendo las causas por las que se desechaban los animales:

Mamitis	14,5%
Quistes ováricos	10,6%
Retención placenta	9,5%
Metritis	4,2%
Cetosis	5,0%
Desplazamiento cuajar	5,3%
Hipocalcemia	1,0%

El resto se debe a razones de producción, edad y otros factores. Simplificando, se puede decir que el 50 % del ganado desechado se debe a trastornos sanitarios y, como se puede ver, el 11 % es debido a trastornos metabólicos. Estos resultados explican el interés existente a nivel de la investigación para determinar mejor las causas que los producen y prevenir su incidencia. Es bien conocido por los ganaderos que estos trastornos hay que evitarlos ya que cuando suceden, aunque se corrijan las secuelas que dejan, en esa lactación siempre son manifiestos.

**Cuadro 14. Máximos legales y necesidades de microminerales (ppm) según diferentes sistemas de alimentación.**

Micromineral	Máximo legal	NRC		
		Vacuno lechero (2001)	Vacuno de carne (1996)	Ovino (1985) y caprino (1981)
E1 Fe	Ovino: 500	Terneros lactantes: 150>12	Ternero:40-50	30
E2 I	10	Vacas secas: 0,33 lactación: 0,45	Terneros: 0,5	Corderos: 0,18-0,27 Adultos: 0,1-0,8
E3 Co	2	0,11	0,10	0,10
E4 Cu	Ovino:15 Bovino prerumiante: 15 Rumiante: 35	Vaca: Producción: 16 Final gestación: 14 Terneras reposición no gestantes: 12 Final gestación: 15	10 En dietas ricas en concentrado se puede disminuir, pues le Cu es más disponible que en dietas forrajeras	Si Mo<1 Crecimiento: 8-10 Gestación: 9-11 Lactación: 7-8 Si Mo>3 Crecimiento:17-21 Gestación: 19-23 Lactación: 14-17
E5 Mn	150	Reposición: 22-25 Vacas: 17	Terneros: 20 Vacas nodrizas: 20	Cabras: 6 Ovejas: 20
E6 Zn	150	Terneras: 30 Vacas lactantes: 63 Vacas secas: 23	30	Cabras: 10 Ovino crecimiento: 22 Adulto: 33
E7 Mo	2,5	-	-	-
E8 Se	0,5	0,3	0,1	0,12

**Cuadro 14. Máximos legales y necesidades de microminerales (ppm) según diferentes sistemas de alimentación (Continuación).**

Micromineral	Máximo legal	ARC	INRA
		General (1980)	General (1989)
E1 Fe	Ovino: 500	Terneros prerumiantes: 100 Rumiantes:30 Vacas: 40-50 Ovejas: 30	30
E2 I	10	0,5	0,5
E3 Co	2	0,08-0,1	0,10
E4 Cu	Ovino:15 Bovino prerumiante: 15 Rumiante: 35	Corderos: 1-5 Ovejas - Mantenimiento: 4,6-5,8 - Gestación: 6,2-7,5 - Lactación: 4,6-8,6 Ternero prerumiante:1-2 Rumiante: 8-15	10

Diversos autores que han estudiado los efectos de la hipocalcemia (en trabajos recientes sobre formas de prevención de la hipocalcemia) apuntan que una vez que ésta aparece el riesgo de contraer otros problemas aumenta como se señala en Cuadro 19.

La incidencia económica de todos estos trastornos es enorme y en los últimos años han aparecido gran número de trabajos científicos sobre ello, pero quizás donde más interés hay, es en la hipocalcemia y su prevención. La hipocalcemia sucede cuando se produce una falta de calcio disponible para

**Cuadro 15. Deficiencias de microminerales en rumiantes (INRA).**

<b>Función</b>	<b>Fe</b>	<b>Cu</b>	<b>Co</b>	<b>I</b>	<b>Mn</b>	<b>Zn</b>	<b>Se</b>
Reducción del crecimiento	X	X	X		X	XX	
Descenso de producción de leche		X	X	X		XX	
Pérdida de apetito		X	X	X		X	
Anemia		X	X				
Cojeras		X			X	X	
Deformación del casco						X	
Problemas de equilibrio					X		
Alopecia						XX	
Decoloración del pelo	X	X					
Bocio				X			
Degeneración muscular							X
Infertilidad		X	X	X	XX	XX	XX

Fuente: Acedo-Rico, 1998.

**Cuadro 16. Ejemplos de antagonismo entre microminerales.**

<b>Micromineral</b>	<b>Situación</b>	<b>Consecuencia</b>	<b>Competidores en absorción</b>
Cu/Zn	Exceso Zn	Deficiencia de Cu	
Fe/Cu	Deficiencia Cu	Absorción Fe	
Cu/Mo/S	Interacciones en rumen		
Fe/Co	Exceso Fe	Absorción Co	
	Exceso Co	Absorción Fe	
Cu			Ca, Fe, Cd, Zn
Zn			Ca, P, Cu, Cd, Fe
Fe			Zn, P, Cd, Co, Mn

el animal, siendo el momento de más riesgo tras el parto, el 75 % de los casos ocurre a las 24 horas post parto. Además es más frecuente en altas productoras y no en novillas y la causa es el fuerte drenaje de calcio en la leche en el arranque de la lactación. Un descenso en la concentración de calcio en corazón, sangre y músculos afecta a su funcionamiento, produciéndose flojera y falta de movilidad. Si la parálisis se prolonga, los músculos que regulan la respiración fallan y se produce la muerte.

La corrección urgente consiste en la adición de calcio intravenoso para una rápida asimilación. Existen también geles cálcicos de aplicación oral. El objetivo es prevenir la aparición del problema haciendo que haya más calcio disponible para el arranque de la lactación. Existe una línea de investigación de gran actividad enfocada a la prevención de la hipocalcemia; se trata del "Empleo de Sales Aniónicas".

La adición de aniones fuertes ( $\text{Cl}^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$ ) en la ración produce en el organismo,

tras su absorción, una reacción de equilibrio liberando cationes fuertes. El  $\text{H}^+$  es el más fácilmente producido, lo que induce una situación de acidez y por tanto un descenso de pH. Esta situación favorece la prevención de la hipocalcemia ya que el calcio se moviliza más fácilmente en un medio ácido. El empleo de sales aniónicas en el período de secado estimula la posterior movilización del calcio y por tanto previenen la hipocalcemia.

Se ha desarrollado un concepto denominado DCAD (Diferencia Cation-Anión en la Dieta):

$$\text{DCAD} = \text{meq} [(\text{Na}^+ + \text{K}^+) - (\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-})]$$

Los cationes fuertes  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$  deberán minimizarse en su adición a la dieta si lo que buscamos es un valor negativo en la reacción arriba descrita. El concepto DCAD se ha definido para su empleo en la formulación de raciones de vacas de leche de alta producción y se considera deseable que en dichas raciones se alcancen valores de:

**Cuadro 17. Papel enzimático del Zinc (Zn).**

Enzima	Órgano/Función
DNA/RNA Polimerasa	Síntesis de proteína
Fosfatasa alcalina	Formación ósea
Carboxipeptidasa	Digestión péptidos (jugo pancreático)

**Cuadro 18. Enzimas implicados en una deficiencia de Cobre (Cu).**

Enzima	Órgano/Función	Síntomas
Polifenol-oxidasa	Síntesis de melanina	Decoloración del pelo
Citocromo-oxidasa	Metabolismo de glucosa	Retraso en el crecimiento
Amino-oxidasa	Oxidación aminoácidos	Alteración síntesis del colágeno y proteínas óseas

**Cuadro 19. Incremento del riesgo de aparición de un problema tras una hipocalcemia.**

Trastorno	Riesgo
Retención placenta	3X
Cetiosis	9X
Mamitis	8X
Mamitis por coliformes	9X
Desplazamiento del cuajar	3X

- Fase de producción: DCAD = 20 meq.
- Fase de secado: DCAD = -75 meq.

En el caso de Venezuela, donde las producciones son más bajas que en las explotaciones especializadas de climas templados, la primera cifra debería ser menor.

Las sales que se emplean para aportar aniones fuertes son las denominadas SALES ANIONICAS. Las más empleadas de forma individual o mezcladas entre sí son: Cloruro amónico, Sulfato amónico, Sulfato de calcio y Sulfato de magnesio. El Cloruro de calcio no se emplea por ser irritante y el Cloruro de magnesio tampoco por ser muy caro. El problema que tiene el empleo de estas sales es que normalmente son muy impalatables y deben emplearse bien mezcladas con otros componentes de la ración para evitar oscilaciones de consumo. Es preciso una adaptación entre 5 y 21 días.

Para aplicar correctamente en

formulación el concepto DCAD hay que analizar el nivel de K y Na de los alimentos de forma sistemática. Los forrajes generalmente son altos en K (alfalfa) y debe limitarse su empleo en la fase de secado. Por este motivo, un control de efectividad fácil de emplear a nivel de campo, sobre el nivel de actuación de dichas sales es el control de pH de la orina. Este es básico normalmente pero con el empleo de sales aniónicas se acidifica. Debe vigilarse que no descienda la ingestión y no emplearse en novillas pues éstas no suelen sufrir hipocalcemias. En el Cuadro 20 se recogen datos de un trabajo donde el único factor negativo encontrado por la utilización de sales aniónicas fue la reducción de ingestión en uno de los lotes, donde se produjo un balance energético casi cero.

El equilibrio ácido-base puede verse perturbado en situaciones de estrés por calor ya que se produce una acidosis en sangre por exceso de  $\text{CO}^3$ . La suplencia con cationes es

**Cuadro 20. Efectividad del empleo de sales aniónicas en vacas y novillas (Moore, 1997).**

DCAD	+14	0	-15
pH orina	7,98	7,30	6,21
Balance energético, Mcal/día	5,10	5,50	0,80
Ca en plasma Vacas, mg/dl	3,66	3,91	4,43
Ca en plasma Novillas, mg/dl	4,45	4,55	4,58

favorable en estos casos.

## NECESIDAD DE SUPLEMENTACIÓN EN MICROMINERALES

Los principales microminerales son Fe, Cu, Zn, Mn. Las funciones más importantes en las que intervienen son:

- Fe: representa el 0,33 % de la molécula de hemoglobina; necesario para el transporte de oxígeno por la sangre a los tejidos; interviene en la síntesis de Mioglobina (constituyente muscular), Transferrina (plasma sanguíneo), Ferritina (en hígado).
- Cu: influencia en la fertilidad; activación enzimática; factor de crecimiento en animales jóvenes.
- Zn: constituyente de la pezuña; reducción del estrés; reducción de células somáticas; restaurador de los epitelios; factor de fertilidad en los animales adultos.
- Mn: incrementa el contenido muscular; factor de fertilidad en animales adultos; activación enzimática.

La suplementación de los microminerales se hace necesaria ya que las distintas materias primas empleadas en alimentación animal no suelen aportar niveles suficientes para satisfacer las necesidades.

## MECANISMOS DE ABSORCIÓN, METABOLISMO Y BIODISPONIBILIDAD

La absorción de los minerales depende de factores ligados al animal: edad, estado fisiológico, estado sanitario y estado nutricional y de factores ligados al alimento: tipo de mineral, nivel en la dieta e interacciones.

Los microminerales que de forma natural están presentes en las materias primas se liberan durante la digestión por acción de enzimas y del pH quedando en forma de cationes. La absorción tiene lugar por tres mecanismos distintos desde el lumen intestinal a los enterocitos:

Absorción pasiva: los cationes pasan al enterocito sin gasto energético sólo por

equilibrar la concentración cuando ésta es superior en el lumen. Este mecanismo es marginal ya que casi siempre la concentración de cationes es superior en el enterocito.

Absorción activa: se produce a través de gasto energético.

Formación de complejos entre el catión con otros ingredientes del alimento. Este complejo puede ser de pesos moleculares variables. Los de alto peso molecular son más susceptibles a ser excretados en heces por ser de más difícil absorción. Los de bajo peso molecular son fácilmente absorbidos. La absorción de los microminerales suplementados como óxidos o sulfatos puede verse afectada por su reacción con otros elementos de la dieta. (Cuadros 21, 22 y 23).

**Cuadro 21. Nutrientes que influyen en la absorción de los microminerales.**

Nutrientes	Fe	Cu	Mn	Zn
Aminoácidos	↑	↑	↑	↑
Fibras	↓	↔	↓	↓
Acido fítico	↓	↓	↓	↓
Taninos	↓	↓	↓	↓
Vitaminas	↓	↓	↓	↓

En ocasiones este complejo se forma entre catión y aminoácidos. En este caso la absorción que se produce es la misma que cuando se trata de un aminoácido sólo. Una vez que el complejo está absorbido en el enterocito, es favorable que la unión catión-aminoácido no sea muy estable para que el catión sea liberado y pase al plasma para su transporte a los diferentes tejidos corporales. El total de microminerales aportado por la dieta que alcanza los tejidos, es lo que se define como cantidad biodisponible.

## OLIGOELEMENTOS Y RESPUESTA INMUNITARIA

En cuanto a los oligoelementos, en Cuadro 24 se resumen los mecanismos de acción y los efectos principales de los microminerales más involucrados en la respuesta inmunitaria, siendo más abundante la bibliografía en monogástricos que en



**Cuadro 22. Coeficientes de absorción o disponibilidad según diferentes fuentes de microminerales en rumiantes.**

	<b>FEDNA (2003) % biodisponibilidad</b>	<b>NRC (2001) % Coef. de absorción</b>	<b>EFEMA (2002) % biodisponibilidad</b>
<b>E1 Fe</b>	Sulfato ferroso, heptahidratado:100% Carbonato ferroso: 15-95% Óxido férrico: 10%	Sulfato ferroso, heptahidratado:60%	
<b>E2 I</b>	--	Yoduro potásico: 90%	Yoduro potásico: 100% Iodato cálcico: 106% Yoduro cálcico: 110%
<b>E3 Co</b>	Sulfatos y carbonatos alta disponibilidad, Óxido de Co el más elevado, pero su uso está prohibido	---	Sulfato cobaltoso, heptahidratado 100% Carbonato cálcico cobaltoso, monohidratado: 101%
<b>E4 Cu</b>	Sulfato cúprico pentahidratado es la referencia, Los carbonatos tienen valores medios y el óxido cúprico bajos.	Cloruro cúprico, deshidratado: 5% Óxido cúprico: 1% Sulfato cúprico, pentahidratado: 5%	Sulfato cúprico, pentahidratado: 100% Cloruro cúprico, deshidratado: 104% Acetato cúprico, monohidratado: 104% Carbonato básico cúprico, monohidratado: 93%
<b>E5 Mn</b>	Buena disponibilidad	Carbonato de manganeso:0,15%	Carbonato manganeso: 69% Óxido manganeso: 80% Óxido mangánico: 67% Sulfato manganeso, tetrahidratado:100% Teróxido de manganeso: 113%
<b>E6 Zn</b>	La fuente de referencia es el sulfato de zinc heptahidratado	Carbonato de zinc: 10% Cloruro de zinc, monohidratado:20% Óxido de zinc: 12% Sulfato de zinc: monohidratado: 20%	Sulfato de zinc, heptahidratado: 100% Carbonato de zinc: 105-58% Cloruro de zinc, monohidratado: 42% Óxido de zinc: 98% Complejo Zn-aminoácido:102% Proteinato de zinc:102% Quelado de zinc: 97%
<b>E7 Mo</b>	-	-	-
<b>E8 Se</b>	El Se de las levaduras y del trigo y sus subproductos es muy disponible	Entre un 30-60%	Selenito sódico: 100% Selenato sódico: 10% Levaduras: 109%

rumiantes. Los minerales que muestran mayores necesidades para una óptima respuesta inmunitaria que para una máxima respuesta zootécnica en monogástricos son el Zn y el Se, en menor medida el Cu, y en según que casos el Fe.

Un aspecto controvertido es el referente a la eficacia relativa de distintas fuentes de minerales, ya sean sales minerales o bien proteinatos, quelatos o complejos con aminoácidos. Puls (1994) atribuyó a Zn-Met, Zn-Lys, ZnO, y al cloruro de Zn la misma disponibilidad o ligeramente inferior al sulfato en cerdos, y en avicultura la biodisponibilidad de Zn-Met es superior a la del sulfato de Zn (117-177 % según composición de la dieta), pero similar a la del óxido. Este autor también estima que Zn-Met es más eficaz que el ZnO

en situaciones de calor y estrés por su mayor eficacia en el sistema inmunitario (tabla 24).

También se ha comprobado en reproductoras pesadas, que el complejo Zn-Met mejora la respuesta inmunitaria de la progenie.

Un oligoelemento que ha recibido atención durante los últimos años es el cromo (Cr). El papel fisiológico predominante del Cr es como integrante del factor de tolerancia a la glucosa (FTG), que potencia la acción de la insulina. En situaciones en las que se precise una actuación efectiva de la insulina, el aporte de Cr por parte de las materias primas puede ser insuficiente. Este puede ser el caso de situaciones de estrés en donde los niveles de insulina aumentan. En general la insulina a

**Cuadro 23. Efectos en la absorción de microminerales cuando hay exceso o defecto en alguno de ellos.**

	Fe	Cu	Zn	Mn	Se	Cr	I	Co
<b>Exceso</b>								
Fe		↔	↔	↓				↓
Cu			↓		↓			
Zn	↓	↓				↓		
Mn	↓						↓	
Cr			↓					
Co	↓	↓					↓	
S			↓	↓				
<b>Defecto</b>								
Fe								↑
Cu	↓							
Zn						↑		
Cr			↑					
Co	↑						↓	
Se								↓
I								↓

niveles moderados potencia la inmunidad celular, y de hecho, existen receptores de la insulina en monocitos. El estrés también conduce a un aumento de los niveles de glucocorticoides, especialmente en estrés de tipo agudo, quienes actúan como inmunodepresores, principalmente a nivel de inmunidad celular.

Mowat (1997) y Kegley (1997) indicaron que con la adición de Cr en dosis de 0,2 a 0,4 ppm en terneros los niveles de cortisol disminuyen y como consecuencia Mowat (1997) observó una mejor respuesta inmunitaria en términos de títulos de anticuerpos, después de una vacunación frente a IBR. Sin embargo, Chang *et al.* (1996) encontraron aumentos en el título de anticuerpos frente a una vacunación de BVD (diarrea vírica bovina) pero no frente a vacunaciones de IBR, parainfluenza-3, virus respiratorio sincitial bovino, ni frente a *P. haemolytica*.

Parece que la influencia del Cr sobre la inmunidad humoral en terneros es variable según el antígeno e incluso según el genotipo del animal (Mowat, 1997<sup>a</sup>). Este último autor también indicó que el cromo mejora el status de vitamina C del organismo protegiendo esta vitamina de la oxidación. Tal como se ha indicado anteriormente esta vitamina juega un

papel importante en la disminución de la inmunodepresión producida por el estrés.

### **COSTE DE LOS MINERALES ESENCIALES**

Quisiéramos destacar los siguientes hechos:

- Los minerales esenciales que precisa el ganado son inferiores al 3 % de la MS ingerida.
- El coste de los macrominerales es relativamente bajo, excepto el P.
- La mezcla de materias primas también aporta minerales esenciales.
- Luego el coste de suplementación con minerales es muy bajo, y resultaría mas caro si el descenso de los rendimientos es como consecuencia de las deficiencias, intoxicaciones o desequilibrios en algún elemento esencial.

Y todavía nos quedaría otra incógnita, si la presentación de un problema mineral agudo por las condiciones prácticas de alimentación es raro, quien puede asegurar que algunos problemas inexplicables relacionados con la sanidad y el rendimiento no se deba a situaciones de deficiencia, excesos o desequilibrios minerales?

Cuadro 24. Oligoelementos relevantes en la respuesta inmunitaria.

	Mecanismo de acción	Efecto	Observaciones
Zn	Cofactor de la timulina (hormona del timo) Cofactor superóxido dismutasa	Peso del timo y bazo, diferenciación y proliferación de linfocitos T, integridad células inmunitarias. Actividad de neutrófilos y macrófagos a niveles plasmáticos de Zn bajos.	La respuesta inmunit. es más sensible al Zn que la respuesta zootécnica.
Cu	Cofactor de la ceruloplasma y de la superóxido dismutasa	Inmunidad en general, peso del timo	Interacción en la absorción con el Zn
Fe	Cofactor de la transferrina (sérica), lactoferrina, Ovotransferrina. Ferritina y hemosiderina (hígado)	Factor de crecimiento de microorganismos. Proliferación de linfocitos T, actividad de neutrófilos	Necesaria para el sistema inmunitario y crecimiento bacteriano. En aves más sensible el 1º y en mamíferos el 2º ante exceso de Fe.
Co	Cofactor de la vitamina B12	Resistencia frente a parásitos, actividad de neutrófilos	En rumiantes, respuesta inmunitaria más sensible que la respuesta zootécnica.
Mo		Resistencia frente a parásitos intestinales	En rumiantes
Se	Cofactor de la glutación peroxidasa	Inmunidad tumoral y celular. Citotoxicidad	Respuesta inmunitaria más sensible que la zootécnica. Interacción con la vitamina E
Cr	Factor de tolerancia a la glucosa	Reducción de la inhibición del sistema inmunitario en estrés.	En rumiantes

Fuente: Santomá, 1998.

## CONCLUSIONES

Tras esta exposición, queremos resaltar que los elementos minerales son tan esenciales como cualquier otro nutriente y que dirigen como catalizadores todas las reacciones orgánicas del organismo, por lo tanto influyen en el estado de bienestar del animal y cualquier variación puede alterar los rendimientos.

Hay que tener muy en cuenta la nutrición mineral, puesto que la toxicidad o deficiencia nos puede conducir a un serio descenso de nuestros beneficios, tanto por carencias agudas como marginales, ya que la deficiencia o toxicidad, aún con aportaciones que superen las necesidades mínimas pueden aparecer por las interrelaciones existentes.

También es necesario considerar que existen lagunas sobre funciones de algunos minerales, sobre su determinación en alimentos y organismo y sus interacciones, calidad y disponibilidad en algunas fuentes, su metabolismo, y sobre la toxicidad y necesidades según estado fisiológico o productivo. Por ello, es imprescindible tener en

cuenta con qué ganado trabajamos, cuales son sus necesidades en minerales según los últimos estudios, en que zona nos encontramos y con qué materias primas vamos a contar, para de esta manera hacer una correcta suplementación mineral, ya que su coste no es elevado y se ve siempre compensado con mayor productividad y rendimiento económico.

Por último resaltar que la inclusión de los microminerales en el reglamento europeo de aditivos implica que: 1) sólo se pueden usar las fuentes descritas en la lista positiva de la legislación, 2) los aportes deben respetar el máximo legal, y 3) el etiquetaje de los productos debe mencionar la fuente mineral usada. Los límites máximos de inclusión de los microminerales, en teoría, no deberían suponer ningún problema para conseguir suplir los requerimientos animales. Sin embargo, las interacciones entre microminerales, las interacciones entre minerales y fracciones orgánicas de la ración podrían resultar en deficiencias microminerales en algunas situaciones. Asimismo, los límites máximos, están por debajo de las concentraciones

tóxicas con la excepción del cobre, hierro, yodo cadmio y el fluor.

A pesar de estas consideraciones, en la Unión Europea, la legislación para humanos es más laxa que la legislación animal, puesto que regula un menor número de microminerales tóxicos y no exige condiciones de etiquetaje.

## REFERENCIAS

- Acedo-Rico, J. 1997. XIII Curso de especialización. Avances en nutrición y alimentación animal. FEDNA.
- Acedo-Rico, J. 1998. XIV Curso de especialización. Avances en nutrición y alimentación animal FEDNA.
- Ammerman, C.B., Baker, D.H., Lewis, A.J., 1995. Bioavailability of nutrients for animals: amino acids, minerals and vitamins. Academic Press, San Diego.
- Bach, A. y Devant, M. 2004. Microminerales en la nutrición de rumiantes: Aspectos técnicos y consideraciones legales. XX Curso de especialización. Avances en nutrición y alimentación animal. FEDNA.
- Berger, L. L. 1995. Animal Feed Science Technology 53: 99-107.
- Chang, G.X., Mallard, B.A., Mowat, D.N. y Gallo, G.F. 1996. Can. J. Vet.Res. 60:140-144.
- Cashman, K.D., Flynn, A. 1999. Proceeding of the Nutrition Society 58: 497-505.
- EMFEMA 2002. Bioavailability of major and trace minerals. EMFEMA. Bruxelles.
- Failla, M.L. 1999. Proceeding of the Nutrition Society 58: 477-487.
- FEDNA 2003. Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos (2ª edición).
- French, M.H. y Chaparro, L.M. 1960. Agron. Trop (Venezuela) 10: 57-69.
- Hadley, C. 2003. What doesn't kill you makes you stronger. EMBO reports 4:924-926.
- Kegley, E.B., Spears, J.W. y Brown JR., J. 1997. Dairy Sci. 79: 1278-1283.
- Marín A, C., Marín (h), C. y M. de López, N. 1987. FONAIAP DIVULGA nº 26.
- Moore 1997. J. Dairy Sci. 80, Supl. 1: 116.
- Mowat, D.N. 1997. Feedstuffs 69: N1 43,12.
- Mowat, D.N. 1997a. Organic Chromium in Animal Nutrition. Chromium Books. Guelph. Canadá.
- NRC 1981. Nutrient requirements of goats: angora, dairy, and meat goat in temperate and tropical countries. National Academy Press, Washington.
- NRC 1988. Nutrient requirements of Dairy Cattle. National Academy Press, Washington.
- NRC 1996. Nutrient requirements of beef cattle (7<sup>th</sup> Ed.). National Academy Press, Washington.
- NRC 2001. Nutrient requirements of dairy cattle (7<sup>th</sup> Ed.). National Academy Press, Washington.
- Faria, J. 1983. Zoot. Trop. 1: 111-128.
- Puls, R. 1994. Mineral Levels in Animal Health. Sherpa International. Clearbrook. Canadá.
- Rojas, L.X., Moya, A., McDowell, L.R., Martín, F.G. y Conrad, J.H. 1994. Zoot. Trop. 12 (2).
- Santomá, G. 1991. VII Curso de especialización. Avances en nutrición y alimentación animal. FEDNA.
- Santomá, G. 1998. XIV Curso de especialización. Avances en nutrición y alimentación animal. FEDNA.
- Tejos M., R. 2001. XLI Reunión Científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos, Alicante. Pp. 301-314.
- Velásquez, J.A. 1981. ALPA, Memorias 16: 46 (Resumen).