

Mg

Se

E

B₁

Zn

A

C



REQUERIMIENTOS DE MINERALES Y SUPLEMENTACIÓN PARA VACUNOS EN PASTOREO



Universidad Francisco
de Paula Santander
Ocaña - Colombia
Vigilada Mineducación

Carlos Andrés Pérez-Buelvas
Naudín Alejandro Hurtado-Lugo

**REQUERIMIENTOS
DE MINERALES Y
SUPLEMENTACIÓN PARA
VACUNOS EN PASTOREO**

**CARLOS ANDRÉS PÉREZ-BUELVAS
NAUDÍN ALEJANDRO HURTADO-LUGO**

Pérez Buelvas, Carlos Andrés, autor

Requerimientos de minerales y suplementación para vacunos en pastoreo / Carlos Andrés Pérez-Buelvas, Naudín Alejandro Hurtado-Lugo -- Primera edición -- Ocaña, Norte de Santander : Universidad Francisco de Paula Santander ; Bogotá : Ecoe Ediciones, 2022
87 páginas. -- (Nutrición de rumiantes. Suplementación animal)

Incluye datos curriculares de los autores -- Incluye glosario

ISBN 978-958-503-469-3 -- 978-958-503-470-9 (e-book)

1. Ganado vacuno - Nutrición 2. Minerales en la nutrición animal 3. Pastoreo I. Hurtado Lugo, Naudin Alejandro, autor

CDD: 636.208527 ed. 23

CO-BoBN - a1098610



Área: Nutrición de rumiantes

Subárea: Suplementación animal



**Universidad Francisco
de Paula Santander**

Ocaña - Colombia
Vigilada Mineducación

© Carlos Andrés Pérez-Buelvas
© Naudín Alejandro Hurtado-Lugo

© Universidad Francisco
de Paula Santander
Vía Acolsure, Sede el Algodonal
Ocaña, Norte de Santander -
Colombia
Teléfono: 5690088

► Ecoe Ediciones S.A.S.
info@ecoeediciones.com
www.ecoeediciones.com
Carrera 19 # 63C 32, Tel.: 919 80 02
Bogotá, Colombia

Primera edición: Bogotá, octubre del 2022

ISBN: 978-958-503-469-3
e-ISBN: 978-958-503-470-9

Directora editorial: Claudia Garay Castro
Coordinadora editorial: Paula Bermúdez B.
Corrección de estilo: Daniela Pérez
Diagramación: Natalia Herrera
Carátula: Wilson Marulanda Muñoz
Impresión: Xpress Estudio Gráfico y digital
Carrera 69 H # 77 - 40

*Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio
sin la autorización escrita del titular de los derechos patrimoniales.*

Impreso y hecho en Colombia - Todos los derechos reservados

A Dios, por su sabiduría.

A nuestras familias, por su compañía y comprensión.

*A la Universidad Francisco de Paula Santander seccional Ocaña, por sus esfuerzos
en pro del desarrollo del conocimiento.*

CONTENIDO

PRÓLOGO	XIII
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. IMPORTANCIA DE LA SUPLEMENTACIÓN MINERAL EN LOS BOVINOS ALIMENTADOS EN SISTEMAS DE PASTOREO	3
1.1 Estructural.....	4
1.2 Fisiológico	4
1.3 Catalítico.....	4
1.4 Regulatorio	5
1.5 Respuesta inmune	5
1.6 Requerimientos de minerales de los vacunos en pastoreo.....	6
CAPÍTULO 2. REQUERIMIENTOS DE MACROMINERALES PARA VACUNOS EN PASTOREO	9
2.1 Beneficios de cada macromineral	15
2.1.1 Fósforo (P).....	15
2.1.2 Calcio (Ca)	17
2.1.3 Magnesio (Mg).....	19
2.1.4 Azufre (S).....	22
2.1.5 Sodio (Na)	23
2.1.6 Potasio (K).....	24

CAPÍTULO 3. REQUERIMIENTOS DE MICROMINERALES PARA VACUNOS EN PASTOREO	27
3.1 Beneficios de cada micromineral	31
3.1.1 Zinc (Zn)	31
3.1.2 Cobre (Cu).....	32
3.1.3 Yodo (I).....	34
3.1.4 Cobalto (Co)	35
3.1.5 Selenio (Se).....	36
3.1.6 Cromo (Cr).....	37
3.1.7 Hierro (Fe).....	37
3.1.8 Manganeseo (Mn)	38
CAPÍTULO 4. DISPONIBILIDAD Y MERCADO DE FUENTES DE FÓSFORO (P)	41
4.1 Orgánicas de origen vegetal	41
4.1.1 Características.....	41
4.1.2 Limitaciones de uso.....	41
4.2 Orgánicas de origen animal	42
4.2.1 Características.....	42
4.2.2 Limitaciones de uso.....	42
4.3 Inorgánicas	42
4.3.1 Características.....	43
4.3.2 Limitaciones de uso.....	43
CAPÍTULO 5. PRINCIPALES MARCAS DE FOSFATO COMERCIALIZADAS EN COLOMBIA Y SUS CARACTERÍSTICAS	45
CAPÍTULO 6. CARACTERÍSTICA Y DIFERENCIAL DE LAS FUENTES DE FOSFATO	51
CAPÍTULO 7. SUPLEMENTACIÓN PROTEICA COMO ESTRATEGIA PARA INCREMENTAR EL DESEMPEÑO ZOOTÉCNICO DE LOS VACUNOS EN PASTOREO	59
CAPÍTULO 8. SALADEROS Y COMEDEROS	63
CAPÍTULO 9. NORMATIVIDAD INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO ICA	66
EPÍLOGO	73
GLOSARIO	75
ANEXOS	85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Coeficientes de absorción y de retención de los macrominerales (Ca, P, Mg, Na y K) encontrados en la literatura.....	6
Tabla 2.	Liberación ruminal <i>in situ</i> a las 24 h, liberación posruminal y liberación total del calcio (Ca), el fósforo (P), el magnesio (Mg) y el potasio (K) del pasto kikuyo (<i>Cenchrus clandestinus</i>) cosechado a los 32 y a los 58 días de rebrote.....	7
Tabla 3.	Requerimientos de macrominerales para mantenimiento de vacunos del grupo genético cebuino en la etapa de levante y ceba para vacas vacías y en gestación.....	9
Tabla 4.	Requerimientos de macrominerales para vacas lactantes del grupo genético cebuino en sistemas ganaderos de cría	10
Tabla 5.	Requerimientos de macrominerales para crías lactantes (hembras y machos) del grupo genético cebuino.....	10
Tabla 6.	Requerimientos de macrominerales en función del grupo genético (cebuinos y cruzados) para diferente peso corporal y ganancia de peso	12
Tabla 7.	Requerimientos de macrominerales para vacas lecheras de alta producción durante la fase de lactación y período seco	14
Tabla 8.	Contenido de algunos minerales en muestras de pasto kikuyo (<i>Cenchrus clandestinus</i>) recolectadas en Antioquia y requerimientos para vacas Holstein en producción	15

Tabla 9.	Requerimientos de microminerales para vacas de cría lactantes del grupo genético cebuino.....	28
Tabla 10.	Requerimiento de microminerales para mantenimiento de vacunos en sistemas de producción de carne y los coeficientes de retención.....	29
Tabla 11.	Requerimientos de microminerales para vacas lecheras de alta producción durante la fase de lactación y período seco	29
Tabla 12.	Requerimientos de microminerales (mg/día) en función del grupo genético (cebuinos y cruzados) para diferente peso corporal y ganancia de peso.....	30
Tabla 13.	Principales marcas de fosfato y sus características. PHOSBIC®	45
Tabla 14.	Principales marcas de fosfato y sus características. TROPICALFOS®	46
Tabla 15.	Principales marcas de fosfato y sus características. Biofos®	46
Tabla 16.	Principales marcas de fosfatos y sus características. Fosfato dicálcico y fosfato monocálcico.....	46
Tabla 17.	Principales marcas de fosfatos y sus características. Fosfato monocálcico, monohidratado grado alimenticio.....	47
Tabla 18.	Principales marcas de fosfatos y sus características. Fosfato monocálcico, dicálcico, Neophos, monodicálcico MDCP	47
Tabla 19.	Principales marcas de fosfatos y sus características. PQP® Fosbical 18 %, PQP® Fosbical 21 %	48
Tabla 20.	Principales marcas de fosfatos y sus características. Fosfato monocálcico, dicálcico y cálcico-sódico Global Feed® ..	48
Tabla 21.	Principales marcas de fosfatos y sus características. Zerophos® DCP, MCP, MDCP, TCP	49
Tabla 22.	Principales marcas de fosfatos y sus características. Lianyungan fosfato dicálcico y fosfato tricálcico	49
Tabla 23.	Humedad, residuo insoluble, pérdida por ignición, pH, densidad aparente y solubilidad de fósforo en muestras comerciales de fosfato dicálcico	54
Tabla 24.	Análisis de digestibilidad de calcio y fósforo y nivel de cenizas en tibia registrados al día 21 en pollo de engorde.....	55
Tabla 25.	Disponibilidad biológica de varias fuentes de fosfato en vacunos de carne.....	57
Tabla 26.	Digestibilidad relativa y coeficiente de absorción real en rumiantes de varias fuentes de fosfato	57
Tabla 27.	Resumen de resultados de investigación sobre suplementación selectiva en crías (<i>creep feeding</i>)	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Materias primas utilizadas en el proceso de producción de ácido fosfórico	52
Figura 2. Cadena de valor industrial del fosfato	53
Figura 3. Tolerancias para la composición garantizada en las sales mineralizadas.....	68



PRÓLOGO



Las estrategias para implementar programas de suplementación mineral de vacunos en pastoreo en el trópico deben considerar la disponibilidad y la calidad nutricional del forraje en las praderas en donde pastorea el componente animal y que, además, se encuentra limitada por las condiciones agroecológicas y climáticas predominantes para cada región colombiana. En consecuencia, se resalta la importancia de cada participante (propietario, administrador y responsable) como un eslabón de la cadena de producción de proteína animal que, basada en la capacidad de gestión y decisión, determinará la respuesta zootécnica en la unidad de producción.

Asimismo, la variación en el consumo de suplementos por parte de los animales debe incorporar estrategias de cuantificación, monitoreo y evaluación del desempeño zootécnico, donde los objetivos fundamentales de productividad del agronegocio deben estrechar la brecha entre el bienestar laboral, el bienestar animal, la satisfacción del consumidor final y la tranquilidad de los acreedores.

INTRODUCCIÓN

En Suramérica, donde el clima es extremo y poco predecible, los suplementos son utilizados para cubrir las deficiencias nutricionales en las temporadas climáticas en las que el crecimiento de las pasturas es limitado. Como consecuencia de lo anterior, los criterios de producción buscan el balance entre la producción por animal y la producción por hectárea (Fulkerson *et al.*, 2017).

En los países tropicales, la producción bovina (considerando el objetivo productivo, cría, levante, ceba, levante y ceba, doble propósito y lechería especializada) tiene en las especies forrajeras (gramíneas, leguminosas y otras especies vegetales) la principal fuente de alimento (Silva *et al.*, 2017).

En ese sentido, es importante que la formulación de dietas y suplementos de macro y microminerales (minerales o elementos traza) considere la oferta y el consumo de forraje, el contenido de minerales del forraje, así como el requerimiento de los animales y el nivel dietario de las materias primas disponibles. Esto con el objetivo de ajustar los requerimientos como normalmente se realiza con otros nutrientes como la energía y la proteína. Aunque en la formulación de dietas y suplementos para bovinos en pastoreo los minerales no reciben el mismo grado de atención que tienen aquellos nutrientes como la energía y la proteína, su impacto potencial sobre la productividad no debería ignorarse (Corah, 1996).

Al respecto, los minerales están presentes en cantidades y proporciones variables en todos los alimentos y tejidos animales (Underwood, 1981, citado en Silva *et al.*, 2017). Sin embargo, a pesar de que muchos de ellos están presentes en el cuerpo, no desempeñan una función específica en el metabolismo animal. Los minerales esenciales son los elementos que ejercen una función específica en el organismo (McDonald *et al.*, 2002, citado en Silva *et al.*, 2017).

Veintidós minerales fueron identificados como esenciales para la vida animal: calcio (Ca), fósforo (P), potasio (K), sodio (Na), cloro (Cl), magnesio (Mg) y azufre (S), considerados macronutrientes minerales. Además, se identificó como primordial el hierro (Fe), yodo (I), zinc (Zn), cobre (Cu), manganeso (Mn), cobalto (Co), molibdeno (Mo), selenio (Se), cromo (Cr), estaño (Sn), vanadio (V), flúor (F), silicio (Si), níquel (Ni) y argón (Ar), los cuales son considerados micronutrientes minerales. De acuerdo con su concentración, el nivel de los macrominerales es expresado en g/kg de tejido animal, mientras que los microminerales se expresan en mg/kg de tejido animal (Costa *et al.*, 2016).

Aunque los minerales están presentes en el cuerpo animal en menor proporción que otros nutrientes como la proteína y la grasa, desempeñan funciones vitales en el organismo, por lo que sus deficiencias pueden acarrear alteraciones nutricionales graves y llevar al animal a presentar respuestas productivas y reproductivas lejos de su potencial (Costa *et al.*, 2016).

CAPÍTULO 1

IMPORTANCIA DE LA SUPLEMENTACIÓN MINERAL EN LOS BOVINOS ALIMENTADOS EN SISTEMAS DE PASTOREO

Enfermedades como la pérdida acelerada de peso vivo (PV -emaciación-), pérdida y despigmentación del pelo, alteraciones en la piel, abortos no infecciosos, diarrea, disminución o pérdida del apetito, anormalidades óseas, tetania, baja fertilidad y pica han sido atribuidas a deficiencias o excesos de minerales en las dietas de los bovinos (McDowell, 2000, citado en Olson, 2007).

Esto es común cuando la discusión alrededor de la nutrición mineral bovina se enfoca en problemas fácilmente observables como los indicados anteriormente. Sin embargo, la probabilidad de que en la práctica pecuaria actual se encuentre alguno de estos síntomas clásicos por exceso o deficiencia es baja o moderada, siendo influenciada por la zona de vida o región donde se encuentre el sistema ganadero y la época climática (Spears y Kegley, 2002).

Por otra parte, la mayoría de las pérdidas económicas asociadas a la nutrición mineral se derivan de circunstancias menos obvias, por ejemplo, deficiencias subclínicas y toxicidad. Además, problemas relacionados con la salud animal y el bajo desempeño zootécnico frecuentemente son el resultado de la interacción en la dieta entre uno o más minerales y no es atribuido a deficiencias o a excesos como tal. Aún más probable, causa mayor detrimento económico si el programa de suplementación mineral es manejado inadecuadamente o es sobrevalorado (Spears y Kegley, 2002).

El ofrecimiento de mezclas minerales completas a voluntad (*ad libitum*) es la práctica de suplementación más comúnmente utilizada. Sin embargo, la variación en el consumo individual es alta (Olson, 2007) y diversos factores pueden influenciar la absorción de los minerales, entre estos se encuentran la edad, la raza o el grupo genético, el sexo, las condiciones ambientales, el pH intestinal, el estado fisiológico del animal y la presencia de antagonistas en la dieta (Underwood y Suttle, 2010, citado en Silva *et al.*, 2017).

De manera general, se observa una enorme disparidad o diferencia en los métodos de suplementación mineral, pues algunos ganaderos suplementan los animales de manera irregular y discontinua, mientras que otros ofrecen apenas cloruro de sodio (NaCl), de modo que diluyen el núcleo mineral de forma incorrecta. Además, existe el problema de ingestión insuficiente de los animales debido a cuestiones de acceso y localización, altura, distancia y cobertura de los saladeros (Peixoto *et al.*, 2005, citado en Silva *et al.*, 2017). Por lo demás, los minerales poseen básicamente cinco tipos de funciones en el organismo animal (Suttle, 2010 y Wilson *et al.*, 2016, citados en Costa *et al.*, 2016), las cuales se describen a continuación.

1.1 Estructural

Composición de los órganos y tejidos corporales como Ca, P, Mg, F y Si en los huesos y dientes y P y S en las proteínas musculares. De igual forma, minerales como Zn y P pueden contribuir a la estabilidad estructural de algunas moléculas y membranas de las que hacen parte (Suttle, 2010). Cerca del 99 % del Ca, el 80 % del P y el 70 % del Mg corporal están presentes en el esqueleto (Agricultural and Food Research Council [AFRC], 1991; Coelho da Silva, 1995; National Research Council [NRC], 2000, citados en Costa *et al.*, 2016).

1.2 Fisiológico

Constituyentes de los tejidos y fluidos corporales responsables del mantenimiento de la presión osmótica, el equilibrio ácido-base y la permeabilidad de la membrana e irritabilidad de los tejidos, como son Na, K, Cl, Ca y Mg en la sangre, el fluido cerebroespinal y el jugo gástrico (Suttle, 2010).

1.3 Catalítico

Acelerador o modificador de sistemas enzimáticos y hormonales cuyo proceso es desempeñado básicamente por los microminerales. Entre los innumerables ejemplos está la regulación ejercida por el Cu en el metabolismo y la síntesis de lípidos, así como la función del Zn en la espermatogénesis (Suttle, 2010).

1.4 Regulatorio

Regulan la replicación y diferenciación celular, como el ion calcio que influencia la transducción de las señales y las selenocisteínas que influyen en la transcripción genética (Suttle, 2010).

1.5 Respuesta inmune

La suplementación con Cu en terneros aumenta la concentración en el hígado durante los desafíos respiratorios, de manera que promueve impactos positivos en la respuesta inmune durante un período de estrés (Wilson *et al.*, 2016, citado en Costa *et al.*, 2016).

Inclusive, ofrecen niveles adecuados de cobre en la dieta, por lo que los animales pueden presentar señales clínicas de una deficiencia (Marques *et al.*, 2014, citado en Silva *et al.*, 2017), siendo importante en este caso realizar una suplementación extra.

Las anteriores funciones pueden ser ejercidas solo si las cantidades suficientes de minerales consumidas por los animales fueran absorbidas y retenidas con el propósito de mantener el crecimiento, el desarrollo y la reproducción, e inclusive reponer los minerales excretados durante la síntesis láctea (Suttle, 2010). Al respecto, los alimentos comúnmente utilizados en la alimentación de bovinos en pastoreo pueden ofrecer esos nutrientes (Genther y Hansen, 2014, citado en Silva *et al.*, 2017), sin embargo, las concentraciones son variables o inadecuadas (Smart *et al.*, 1981, citado en Silva *et al.*, 2017), lo que contribuye al bajo desempeño zootécnico e inclusive a la baja calidad de la carne y la leche (Spears y Kegley, 2002).

Ahora bien, de acuerdo con Arthington *et al.* (2014), la suplementación de minerales puede ocurrir por diferentes rutas o estrategias, incluida la mezcla mineral, los bloques de sal fortificados con minerales, los microminerales inyectables y los suplementos energético-proteicos fortificados con microminerales. De esta manera, la adecuada cantidad de cada mineral dosificado y ofrecido a los animales es formulada para garantizar un correcto desempeño zootécnico y evitar la contaminación del suelo y las fuentes de agua por los minerales excretados a través de las heces y la orina (Costa *et al.*, 2016).

Así, las exigencias de minerales para bovinos son calculadas y expresadas en cantidades por animal y por día o por unidad de producto (sal mineralizada, bloque, suplemento, etc.) o en porcentaje de la materia seca (MS) consumida. Entretanto, factores inherentes a los alimentos o a las dietas como las fracciones orgánicas o inorgánicas del mineral, la disponibilidad y la forma química del elemento en los ingredientes de la mezcla, junto con aspectos relacionados con las interrelaciones (antagonismos y agonismos) entre los minerales también pueden influenciar las exigencias nutricionales de los animales (Suttle, 2010).

1.6 Requerimientos de minerales de los vacunos en pastoreo

Las exigencias de minerales para mantenimiento incluyen los elementos necesarios para mantener la integridad de los tejidos de un animal que no está en crecimiento, no desempeña trabajo, no se está reproduciendo o no genera cualquier producto (Underwood, 1981, citado en Silva *et al.*, 2017).

De otro lado, el mantenimiento de las funciones vitales del cuerpo involucra el metabolismo interno necesario para el proceso de circulación, respiración y otros procesos, junto con las pérdidas externas y movimientos normales del animal. Esas exigencias son relativas a las necesidades de estos para cubrir las pérdidas inevitables del cuerpo, también denominadas secreciones o pérdidas endógenas (Fontes, 1995, citado en Costa *et al.*, 2016).

Sin embargo, no todos los minerales incluidos en la dieta tienen disponibilidad de absorción. Mientras el análisis de la información lo permita, la disponibilidad de los minerales de los forrajes, suplementos concentrados y las fuentes inorgánicas tendrán asignado un coeficiente de absorción (ver Tabla 1 y Tabla 2). El modelo evalúa el contenido mineral absorbible de la dieta total a través de la disponibilidad mineral entregado por cada materia prima que constituye la dieta y los compara con la suma de la cantidad de mineral disponible y los requerimientos del animal (NRC, 2001).

Tabla 1. Coeficientes de absorción y de retención de los macrominerales (Ca, P, Mg, Na y K) encontrados en la literatura

Fuente	Coeficiente de absorción (%) ¹				
	Ca	P	Mg	Na	K
Agricultural Research Council [ARC] (1980)	68	60	17	91	100
AFRC (1991)	-	58 a 70	-	-	-
NRC (2000)	50	68	-	-	-
NRC (2001) – forrajes	30	80	-	81	-
NRC (2001) – concentrado	60	-	-	100	-
Marshal y Long (1971)	80	-	-	-	-
Blaney <i>et al.</i> (1982)	50	-	-	-	-
Field (1983b)	-	58	-	-	-

1 Valores adaptados en la última edición de BR-CORTE (2010).

Fuente	Coeficiente de absorción (%)				
	Ca	P	Mg	Na	K
Ezequiel (1987) ²	62	72	52	66	100
Coelho da Silva <i>et al.</i> (1991)	-	-	16	76	-
Rosado (1991)	-	-	44	57	44
Valadares Filho <i>et al.</i> (1991)	-	-	57	-	-
Boin (1993) – becerros	-	78	-	-	-
Boin (1993) – novillos	-	58	-	-	-
Coelho da Silva <i>et al.</i> (1995)	72	63	38	54	-
Araújo <i>et al.</i> (2001)	59	56	45	94	78
Gionbelli (2010) ^{2,3}	55	56	16	19	4
Costa e Silva <i>et al.</i> (2015a) ^{2,3}	72	82	98	58	70
BR-corte (2016) ^{2,3}	57	68	36	37	43

Nota: la tabla muestra los coeficientes de retención de los siguientes macroelementos: Ca, P, Mg, Na y K.

Fuente: elaboración propia con base en datos de Costa *et al.* (2016).

En el reporte de Correa *et al.* (2011) fue evidente que el calcio (ver Tabla 2) es el mineral que se libera en menor proporción en el rumen, debido muy posiblemente a que este mineral se encuentra principalmente asociado a las paredes celulares y puede ser ligado, así mismo, por el ácido oxálico (Marais, 2001, citado en Correa *et al.*, 2011).

Tabla 2. Liberación ruminal *in situ* a las 24 h, liberación posruminal y liberación total del calcio (Ca), el fósforo (P), el magnesio (Mg) y el potasio (K) del pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) cosechado a los 32 y a los 58 días de rebrote

DR ⁴	Liberación ruminal <i>in situ</i> a las 24 h				
	Ca	P	Mg	K	p ⁵
32 días	49,5b	97,0a	91,4a	99,8a	0,0001
58 días	52,5b	96,4a	96,2a	99,8a	0,0001
Promedio	50,9	96,7	93,8	99,8	

Nota: la tabla muestra la liberación ruminal *in situ* a 24 h.

Fuente: Correa *et al.* (2011).

2 Experimentos realizados en Brasil.

3 Coeficientes de retención.

4 Días de rebrote.

5 Medias en la misma fila con letra distinta son estadísticamente diferentes.

Por la misma razón, el Ca mostró ser un mineral fácilmente quelatado por la fibra contenida en las muestras incubadas, tal y como había sido previamente descrito en otras gramíneas (Emanuele *et al.*, 1991, citado en Correa *et al.*, 2011; Cerešnáková *et al.*, 2005, citado por Correa *et al.*, 2011).

CAPÍTULO 2

REQUERIMIENTOS DE MACROMINERALES PARA VACUNOS EN PASTOREO

Tabla 3. Requerimientos de macrominerales para mantenimiento de vacunos del grupo genético cebuino en la etapa de levante y ceba para vacas vacías y en gestación

Mineral	Requerimiento			
	Mantenimiento	Vacas vacías y hasta 135 días de gestación	Gestación media (136 a 230 días)	Final de gestación (231 días y hasta el parto)
	mg/kg peso corporal			
Ca	11,70	11,70	13,10	15,56
P	67,80	67,80	75,94	90,17
Mg	5,90	5,90	6,61	7,85
Na	6,30	6,30	7,06	8,38
K	23,50	23,50	26,32	31,26
S	10,40	10,40	11,65	13,83

Nota: la tabla muestra los requerimientos de macronutrientes para mantenimiento del grupo genético cebuino en vacunos.
Fuente: elaboración propia con base en datos de Costa *et al.* (2016).

Para vacas gestantes del grupo genético cebuino se sugiere un incremento del 12 al 33 % (ver Tabla 3) en los requerimientos de minerales para mantenimiento para los períodos de media y final del ciclo de gestación. Tales valores se basan en el incremento medio de las exigencias de energía que ocurren en función de la gestación para los períodos mencionados (Costa *et al.*, 2016).

Tabla 4. Requerimientos de macrominerales para vacas⁶ lactantes del grupo genético cebuino en sistemas ganaderos de cría

Requerimiento	Peso corporal (kg)								
	400			450			500		
	Macrominerales ⁶ (g/día)								
GDP ⁷ (kg/día)	0,1	0,2	0,3	0,1	0,2	0,3	0,1	0,2	0,3
CMS ⁸ (kg/día)	9,66	9,68	9,71	10,87	10,89	10,92	12,07	12,10	12,13
Ca	25,30	26,60	28,00	26,30	27,50	28,80	27,20	28,40	29,60
P	17,80	18,30	18,90	18,70	19,20	19,80	19,70	20,20	20,70
Mg	8,31	8,36	8,42	9,14	9,19	9,25	9,97	10,00	10,10
Na	31,40	31,50	31,70	33,80	33,90	34,10	36,20	36,40	36,50
S	9,18	9,81	10,50	9,92	10,60	11,30	10,70	11,40	12,20

Nota: la tabla muestra los requerimientos de macrominerales para el grupo genético cebuino en vacas lactantes en sistemas ganaderos de cría.

Fuente: elaboración propia con base en datos de Costa *et al.* (2016).

Tabla 5. Requerimientos de macrominerales para crías lactantes (hembras y machos) del grupo genético cebuino

Requerimiento	Peso corporal (kg)											
	100			150			200			250		
	Macrominerales (g/día)											
GDP (kg/día)	0,6	0,8	1,0	0,6	0,8	1,0	0,6	0,8	1,0	0,6	0,8	1,0
CMS (kg/día)	2,18	2,25	2,32	2,71	2,78	2,85	3,24	3,31	3,38	3,78	3,85	3,92
Ca	11,10	14,10	17,10	10,80	13,36	15,90	11,00	13,20	15,50	11,40	13,50	15,60
P	8,15	10,20	12,20	9,05	11,11	13,10	9,98	12,00	14,00	10,90	12,90	14,90
Mg	2,26	2,46	2,66	3,09	3,29	3,48	3,92	4,11	4,31	4,74	4,94	5,14
Na	3,39	3,95	4,51	4,22	4,79	5,34	5,06	5,62	6,17	5,90	6,46	7,01
S	6,19	6,63	7,08	8,58	9,02	9,45	11,00	11,40	11,80	13,40	13,80	14,20

Nota: la tabla muestra los requerimientos de macrominerales Ca, P, Mg, Na, S en GDP y CMS para crías lactantes del grupo genético cebuino.

Fuente: elaboración propia con base en datos de Costa *et al.* (2016).

6 Requerimientos considerando una vaca en la décima semana de lactancia y con una producción promedio de leche de 8,13 l/día.

7 Ganancia Diaria de Peso.

8 Consumo de Materia Seca.

A partir de la información generada en los estudios de Fonseca (2009) y de Costa *et al.* (2016), y considerando la curva de lactancia de vacas Nelore, además de la composición media de la leche y de acuerdo con los requerimientos nutricionales obtenidos para las crías (terneras y terneros) en la fase pre-destete, es posible estimar el momento en el que la leche no es suficiente para cubrir la demanda de nutrientes para el crecimiento de la cría (Costa *et al.*, 2016).

Por otra parte, si se considera a la energía y a la proteína como los nutrientes más limitantes, se evidencia que a partir de la duodécima semana de vida (cerca de los 84 días de edad) la leche no ofrece toda la energía necesaria para que la cría tenga una GDP cercana a 1000 g/día. De otro lado, la proteína se torna limitante a partir de la vigésima semana (en torno a los 140 días de vida de la ternera o el ternero), lo que sería alrededor de los 70 a 100 días antes del destete.

Por lo tanto, para que las crías consigan mantener una ganancia de peso del orden de 900 g/día hasta el destete, es necesaria la utilización de suplementos múltiples (Porto *et al.*, 2009; Martins Lemos, 2011; Cárdenas *et al.*, 2015) a partir del tercer mes de vida o, como alternativa a mediano y largo plazo, seleccionar vacas con mayor potencial para la producción de leche (Costa *et al.*, 2016).

Con base en lo anterior, a medida que el aumento en la producción de leche se presente debido a la mayor capacidad genética de las vacas y permita aumentar la ganancia de peso al destete de las crías, no se puede especular que el nivel nutricional en la mayor parte de los sistemas basados en pastoreo es limitante para dar soporte a los niveles elevados de producción de leche (Paulino *et al.*, 2012, citado en Costa *et al.*, 2016). Adicionalmente, entre el tercer y el cuarto mes de edad ocurren cambios considerables en el tracto digestivo de la cría, período en que este animal se transforma efectivamente en rumiante y en el que aumenta la demanda y el consumo de pasto (Porto *et al.*, 2009, citado en Costa *et al.*, 2016).

Tabla 6. Requerimientos de macrominerales en función del grupo genético (cebuinos y cruzados) para diferente peso corporal y ganancia de peso

Peso corporal (kg)	GDP ⁷ (kg/día)	Cebuinos (g/animal/día)						Cruzados (g/animal/día)					
		Ca	P	Mg	Na	K	S	Ca	P	Mg	Na	K	S
200	0,5	13,62	8,27	3,82	4,94	11,45	4,46	14,86	8,94	3,74	5,28	11,45	4,86
	0,6	15,56	9,14	3,92	5,26	11,80	4,82	17,05	9,95	3,83	5,67	11,80	5,26
	0,7	17,50	10,02	4,02	5,57	12,16	5,18	19,24	10,96	3,91	6,05	12,16	5,65
	0,8	19,44	10,89	4,12	5,89	12,51	5,55	21,44	11,98	4,00	6,44	12,51	6,05
	0,9	21,38	11,77	4,22	6,20	12,87	5,91	23,63	12,99	4,08	6,82	12,87	6,44
	1,00	23,32	12,64	4,32	6,52	13,22	6,27	25,82	14,00	4,17	7,21	13,22	6,83
250	0,5	13,62	8,92	4,65	5,69	13,93	5,54	15,12	9,66	4,55	6,11	14,01	6,04
	0,6	15,35	9,73	4,75	5,98	14,29	5,98	17,16	10,61	4,63	6,49	14,39	6,52
	0,7	17,08	10,53	4,85	6,28	14,66	6,43	19,20	11,57	4,71	6,87	14,77	7,01
	0,8	18,81	11,34	4,95	6,57	15,02	6,87	21,23	12,52	4,80	7,25	15,15	7,49
	0,9	20,54	12,14	5,05	6,87	15,39	7,32	23,27	13,48	4,88	7,63	15,53	7,97
	1,00	22,27	12,95	5,15	7,16	15,75	7,76	25,31	14,43	4,96	8,01	15,91	8,46
300	0,5	13,89	9,66	5,48	6,46	16,39	6,61	15,57	10,44	5,36	6,94	16,54	7,20
	0,6	15,46	10,41	5,58	6,74	16,76	7,13	17,49	11,35	5,44	7,31	16,95	7,78
	0,7	17,04	11,16	5,68	7,02	17,14	7,66	19,41	12,26	5,52	7,69	17,36	8,35
	0,8	18,61	11,92	5,79	7,29	17,51	8,18	21,32	13,17	5,59	8,06	17,76	8,92
	0,9	20,19	12,67	5,89	7,57	17,89	8,71	23,24	14,08	5,67	8,44	18,17	9,49
	1,00	21,76	13,42	5,99	7,85	18,26	9,23	25,16	14,99	5,75	8,81	18,58	10,06
350	0,5	14,33	10,45	6,31	7,24	18,86	7,67	16,14	11,26	6,18	7,77	19,08	8,36
	0,6	15,78	11,16	6,41	7,51	19,24	8,27	17,96	12,14	6,25	8,14	19,51	9,02
	0,7	17,24	11,87	6,51	7,77	19,62	8,88	19,78	13,01	6,33	8,51	19,93	9,68
	0,8	18,69	12,58	6,62	8,04	20,00	9,48	21,61	13,89	6,40	8,89	20,36	10,34
	0,9	20,15	13,29	6,72	8,30	20,38	10,09	23,43	14,76	6,48	9,26	20,78	10,99
	1,00	21,60	14,00	6,82	8,57	20,76	10,69	25,25	15,64	6,55	9,63	21,21	11,65
400	0,5	14,89	11,28	7,14	8,04	21,32	8,73	16,78	12,11	7,00	8,60	21,60	9,52
	0,6	16,25	11,96	7,24	8,29	21,71	9,41	18,52	12,96	7,07	8,97	22,05	10,26
	0,7	17,60	12,63	7,34	8,55	22,09	10,10	20,27	13,80	7,14	9,34	22,49	11,01
	0,8	18,96	13,31	7,45	8,80	22,48	10,78	22,01	14,65	7,22	9,71	22,94	11,75
	0,9	20,31	13,98	7,55	9,06	22,86	11,47	23,76	15,49	7,29	10,08	23,38	12,50
	1,00	21,67	14,66	7,65	9,31	23,25	12,15	25,50	16,34	7,36	10,45	23,83	13,24

Peso corporal (kg)	GDP ⁷ (kg/día)	Cebuinos (g/animal/día)						Cruzados (g/animal/día)					
		Ca	P	Mg	Na	K	S	Ca	P	Mg	Na	K	S
450	0,5	15,53	12,13	7,98	8,84	23,77	9,78	17,48	12,98	7,82	9,44	24,12	10,66
	0,6	16,81	12,78	8,08	9,09	24,16	10,54	19,16	14,66	7,89	9,81	24,58	11,49
	0,7	18,08	13,43	8,18	9,33	24,56	11,30	20,84	16,34	7,96	10,17	25,04	12,32
	0,8	19,36	14,07	8,28	9,58	24,95	12,07	22,51	18,01	8,03	10,54	25,51	13,15
	0,9	20,63	14,72	8,38	9,82	25,35	12,83	24,19	19,69	8,10	10,90	25,97	13,98
	1,00	21,91	15,37	8,48	10,07	25,74	13,59	25,87	17,09	8,17	11,27	26,43	14,81

Nota: la tabla muestra los requerimientos macronutricionales (Ca, P, Mg, Na, K, S), peso corporal y ganancia de peso en cebuinos y cruzados.

Fuente: elaboración propia con base en datos de Costa *et al.* (2016).

Los sistemas de producción lecheros en el trópico son generalmente semi-intensivos y se basan en el manejo de praderas con gramíneas como su principal fuente alimenticia. No obstante, los sistemas de producción de leche en pastoreo deben enfrentar limitantes ambientales como los efectos del clima sobre los forrajes y los animales, así como la presencia de parásitos, sumado esto a los problemas socioeconómicos característicos de países tropicales en vía de desarrollo (Cárdenas *et al.*, 2015).

Entre los principales problemas que presentan los animales de alto mérito genético en las condiciones del trópico se encuentra el bajo consumo de materia seca como respuesta al estrés calórico y la baja calidad de los forrajes. En ese sentido, los requerimientos nutricionales se determinan con base en la producción láctea, la composición química de la leche, la fase de gestación o el peso del animal, pero no se tienen en cuenta condiciones básicas de adaptación al medio ni pérdidas debidas a la entropía del sistema (Campos *et al.*, 2007, citado en García, 2015).

Entretanto, vacas lecheras con inadecuadas concentraciones de minerales como calcio, fósforo y magnesio en sangre presentarán problemas metabólicos que afectarán la actividad productiva y reproductiva en esta etapa. Los requerimientos de estos minerales (ver Tabla 7) dependen del peso del animal, la producción y composición de la leche, la raza y la etapa fisiológica, además de las condiciones climáticas de la zona donde se encuentren los animales (Campos *et al.*, 2012, citado en García, 2015).

Tabla 7. Requerimientos de macrominerales para vacas lecheras de alta producción durante la fase de lactación y período seco

Mineral	Requerimiento			
	Vaca lactante	Vaca seca		Nivel máximo admisible
		45 días preparto	15 días preparto	
	% MS de la dieta total			
Ca	0,51-0,67	0,39-0,6	0,39-0,7	1,00
P	0,32-0,41	0,24-0,26	0,24-0,3	1,00
Mg	0,18-0,25	0,16-0,2	0,16-0,2	0,40
Cl	0,24-0,29	0,2	0,2	
K	0,90-1,07	0,65	0,60	3,00
Na	0,18	0,10	0,10	5,00

Nota: la tabla refleja los requerimientos de macrominerales (Ca, P, Mg, Cl, K, Na) en vacas lactantes durante período de sequía, así como el nivel máximo admisible.

Fuente: elaboración propia con base en datos de NRC (2001) y Ministerio de Agricultura, Alimentación y Asuntos Rurales de Canadá (2020).

El contenido de cenizas totales no solo es importante por su relación directa con la concentración de ciertos minerales en particular, sino, además, por su relación con el contenido de energía de los forrajes. Considerando que los minerales no aportan energía en la medida en que su concentración se incrementa, en esa misma medida se reduce la cantidad de energía disponible en los alimentos (NRC, 2001).

Al respecto, en la Tabla 8 se ilustra el contenido de algunos minerales en muestras de pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) recolectadas en Antioquia.

Tabla 8. Contenido de algunos minerales en muestras de pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) recolectadas en Antioquia y requerimientos para vacas Holstein en producción

	% MS de la dieta total					ppm				
	P	Ca	Mg	K	S	Fe	Mn	Cu	Zn	Na
Promedio	0,46	0,32	0,30	3,69	0,20	193,00	108,00	13,90	59,50	0,02
Máximo	0,58	0,42	0,36	5,12	0,35	554,00	357,00	29,00	117,00	0,04
Mínimo	0,28	0,21	0,22	1,68	0,08	63,00	49,00	7,00	30,00	0,01
NRC 2001 ⁹	0,32	0,62	0,18	1,00	0,20	12,30	14,00	11,00	43,00	0,22

Nota: la tabla refleja el contenido de los minerales (P, Ca, Mg, K, S) en % y las ppm de Fe, Mn, Cu, Zn y Na de pastos kikuyo (*Cenchrus clandestinus*).

Fuente: Correa *et al.* (2011).

Se observa que, bajo las condiciones de producción particulares de esta región, se presentan contenidos promedio de fósforo, cobre y zinc ligeramente más altos que los requerimientos para vacas lecheras de alta producción, mientras que muestra marcadas deficiencias en calcio y particularmente en sodio. Al respecto, Marais (2001, citado en Correa *et al.*, 2011) señaló que el pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) tiene muy poca capacidad de absorber y transportar sodio hacia las hojas, suministrando niveles limitantes de este mineral a los animales que lo consumen.

De otro lado, aunque el contenido promedio de S es similar a los requerimientos, la variación en los datos implica que un porcentaje importante de muestras pueden ser deficitarias en este elemento. Por el contrario, los contenidos de magnesio, hierro, manganeso y potasio son mucho más altos que los requerimientos. Es de señalar, además, que los altos contenidos de potasio en esta gramínea se han resaltado como una causa potencial de hipomagnesemia (Correa, 2006; Dugmore, 1998; Meeske *et al.*, 2006, citados en Correa *et al.*, 2011).

2.1 Beneficios de cada macromineral

2.1.1 Fósforo (P)

2.1.1.1 Funciones

- » Implicado en el control del apetito y la eficiencia en el uso de los alimentos.
- » Hace parte importante del proceso para la obtención de la energía. La deficiencia de energía disminuye la ganancia de peso y la producción de leche.

9 Requerimientos para vacas Holstein con 90 días en lactancia y produciendo 25 litros de leche según el NRC (2001).

- » Es precursor de los ácidos nucleicos (ADN-ARN) como estructura del material genético.
- » Contribuye a la formación de huesos y dientes.
- » Balance ácido-base.
- » Es requerido por los microorganismos del rumen para potenciar la digestión de fibra (celulosa) (Burroughs *et al.*, 1951, citado en NRC, 2001) y para la síntesis de proteína microbiana (Breves y Schroder, 1991, citado en NRC, 2001).
- » Interviene en el sostenimiento de la motilidad ruminal (Costa *et al.*, 2016; Suttle, 2010; NRC, 2000, 2001).

2.1.1.2 Deficiencia

- » Consumo excesivo de suelo o materiales extraños (pica o malacia).
- » Deficiente desarrollo y funcionalidad ósea (raquitismo-osteomalacia).
- » Fallas en el metabolismo energético.
- » Debilidad.
- » Menor reutilización del fósforo desde la saliva.
- » Infección e inflamación uterina y retorno al celo posparto.
- » Disminución del apetito.
- » Reducción de la producción de leche.
- » Los signos de deficiencia pueden ocurrir y observarse rápidamente si el fósforo dietario es insuficiente. La deficiencia más común es observada en bovinos pastoreando forrajes que crecen en suelos con bajo nivel de fósforo y animales que consumen forrajes o excedentes de cosecha excesivamente maduros con bajo contenido de fósforo (menor de 0,25 % MS) (Goff, 1998).

De igual modo, el fósforo determina en buena medida la calidad de la sal mineralizada siempre y cuando esté relacionado correctamente con los demás minerales según el requerimiento específico (Costa *et al.*, 2016; Olson, 2007; Suttle, 2010; NRC, 2000, 2001; Goff, 2008; Esposito *et al.*, 2014).

2.1.1.3 Interacciones positivas del P con otros minerales

- » El tratamiento con calcio intravenoso para corregir cuadros de hipocalcemia usualmente resulta en un incremento en el nivel de fósforo en el plasma debido a que la secreción de la hormona paratiroidea es reducida, lo que disminuye la pérdida urinaria y salival de fósforo. Esto, además, estimula la reanudación de la motilidad intestinal, reciclando el fósforo salival y favoreciendo la absorción (NRC, 2001).

- » La administración oral o intravenosa de fuentes solubles de fósforo, como el monofosfato de sodio, puede ayudar a la corrección de la hipofosfatemia (NRC, 2001).
- » Concentraciones dietarias de aluminio, calcio, hierro, magnesio, manganeso, potasio y grasa; pH intestinal y fuentes de fósforo (p.ej., forrajes, concentrados, suplementos de minerales inorgánicos y el fósforo salival) ayudan a mejorar la disponibilidad y la absorción (Irving, 1964; Peeler, 1972; AFRC, 1991; Soares, 1995, citados en NRC, 2001).
- » Los ionóforos pueden tener efectos significativos sobre la asimilación de otros nutrientes adicionales a la energía. En general, incrementan la absorción de nitrógeno, magnesio, fósforo, zinc y selenio con inconsistente efecto sobre el calcio, potasio y sodio (NRC, 2000).

2.1.1.4 Interacciones negativas del P con otros minerales

- » El desbalance de calcio en la dieta predispone la presentación de cuadros de hipocalcemia y este escenario estimula la secreción de la hormona paratiroidea que incrementa la pérdida urinaria y salival de fósforo (NRC, 2001).
- » La secreción de cortisol alrededor del parto también puede deprimir la concentración de fósforo en el plasma (NRC, 2001).
- » En el estudio de la NRC (2001), la eficiencia de absorción de fósforo fue reducida cerca del 18 % debido al incremento de una mayor inclusión de calcio en la dieta.
- » Altos contenidos de hierro y de calcio en la dieta disminuyen la absorción de fósforo.
- » El zinc y el hierro compiten con el fósforo por los puntos de absorción.
- » La mayoría de los suelos de la región tropical son de media a baja fertilidad con elevada cantidad de aluminio (Al) y de hierro (Fe), lo que favorece la formación de compuestos insolubles para la planta y aumenta la deficiencia de fósforo en la dieta de los vacunos en pastoreo (Rincón Castillo, 2011).

2.1.2 Calcio (Ca)

2.1.2.1 Funciones

- » Es un componente de los huesos, los dientes, la sangre, la leche y varias enzimas.
- » Interviene en la síntesis láctea.
- » Responsable de la permeabilidad celular.
- » Contribuye al tono y transmisión de impulsos nerviosos a nivel muscular.

- » Regula los movimientos cardíacos.
- » Secreta hormonas y, además, activa y estabiliza procesos enzimáticos.
- » Es un catión extracelular.
- » Se relaciona directa y permanentemente con el metabolismo del fósforo.
- » Es constituyente de los tejidos y fluidos corporales responsables del mantenimiento de la presión osmótica, del equilibrio ácido-base y la irritabilidad de los tejidos a nivel en la sangre, en el fluido cerebroespinal y el jugo gástrico.
- » Participa en la regulación de la replicación y diferenciación de las células y de la transcripción y transducción genética (Costa *et al.*, 2016; NRC, 2000, 2001).

2.1.2.2 Deficiencia

- » Huesos frágiles (osteoporosis-osteomalacia, desmineralización ósea).
- » Crecimiento retardado.
- » Secreción elevada de la hormona paratiroidea, reabsorción desde riñón, absorción a nivel intestinal, reabsorción de sangre y transferencia desde los huesos.
- » Hipocalcemia subclínica y clínica (síndrome de la vaca caída, fiebre de leche).
- » Atonía muscular.
- » Prolapso uterino.
- » Retención de membranas fetales.
- » Metritis.
- » Alteraciones estrales.
- » Retraso en la involución uterina.
- » Bajo porcentaje de concepción.
- » Mastitis.
- » Desplazamiento de abomaso.
- » Baja producción láctea.
- » Cetosis.
- » Baja calidad seminal (Costa *et al.*, 2016; Olson, 2007; NRC, 2000, 2001; Goff, 2008; Esposito *et al.*, 2014).

De acuerdo con el balance de la dieta para minerales según el tipo de animal, se debe procurar que la complementación de calcio y fósforo sean las correctas para evitar interacciones negativas entre ambos. Asimismo, ante un nivel alto de potasio en la dieta, particularmente en unidades especializadas de producción de leche, debe garantizarse una complementación adicional de calcio (Correa *et al.*, 2011).

De igual modo, en sistemas especializados de producción de leche y en ganaderías para cría el requerimiento de calcio para las vacas es mayor, por lo cual es importante tener presente la relación 2:1 de calcio y fósforo, elementos demandados en procesos metabólicos como el crecimiento y la formación ósea.

2.1.2.3 Interacciones positivas del Ca con otros minerales

- » Constituyente, al igual que el sodio, el potasio, el cloro y el magnesio de los tejidos y fluidos corporales responsables del mantenimiento de la presión osmótica, del equilibrio ácido-base, la permeabilidad de las membranas e irritabilidad de los tejidos en la sangre, fluido cerebroespinal y en el jugo gástrico (Costa *et al.*, 2016).
- » Un balance nutricional y una oferta adecuada de fósforo, magnesio y potasio estimula el apetito, la producción de leche, la eficiencia reproductiva, el aprovechamiento del alimento y, además, disminuye la incidencia de enfermedades metabólicas (NRC, 2001).
- » En relación con los procesos de absorción adecuada con el fósforo, promueve la alcalinización ruminal con el beneficio de mejorar el desempeño productivo (NRC, 2001).

2.1.2.4 Interacciones negativas del Ca con otros minerales

- » El cobre y el zinc compiten con el calcio por los puntos de absorción (NRC, 2000, 2001).
- » Deficiencias de fósforo y magnesio, además de excesos de potasio y sodio predisponen la presentación de enfermedades metabólicas en la lactancia temprana (21 días posparto), las de mayor impacto productivo y reproductivo como hipocalcemia, el síndrome de la vaca caída, hipomagnesemia, cetosis, edema de ubre, desplazamiento de abomaso y metritis (DeGaris y Lean, 2008).

2.1.3 Magnesio (Mg)

2.1.3.1 Funciones

- » Contribuye a la formación y es componente del tejido óseo.
- » Cumple una función muscular.
- » Es cofactor de múltiples complejos enzimáticos para reacciones de oxidoreducción a nivel celular.
- » Es un catión intracelular clave en la conducción nerviosa y la función muscular.
- » Ayuda a la regulación del balance ácido-base a nivel intracelular.
- » Metaboliza carbohidratos, proteínas y lípidos.

- » Está involucrado en los procesos de síntesis de energía a nivel celular y de tejidos.
- » Constituyen los tejidos y fluidos corporales responsables del mantenimiento de la presión osmótica, el equilibrio ácido-base, la permeabilidad de las membranas e irritabilidad de los tejidos en la sangre, el fluido cerebroespinal y el jugo gástrico (Costa et al., 2016; Suttle, 2010; NRC, 2000, 2001).

2.1.3.2 Deficiencia de Mg

- » Hipomagnesemia o tetania de los pastos con espasmo muscular y claudicación del animal.
- » Disminución de la producción láctea.
- » Excitabilidad (nerviosismo evidente).
- » Reducción del consumo de alimentos.
- » Espasmo muscular alrededor de la cara y las orejas.
- » Incoordinación y desplazamiento con el cuello rígido.
- » Anorexia.
- » Hiperemia.
- » Convulsiones.
- » Formación y secreción de espuma en la lengua.
- » Salivación profusa.
- » Calcificación de tejidos blandos.
- » Retención de placenta.
- » Anestro o alteraciones del ciclo estral.
- » Baja calidad seminal (Costa *et al.*, 2016; Olson, 2007; Suttle, 2010; NRC, 2000, 2001; Esposito *et al.*, 2014).

El magnesio, como cloruro de magnesio, se debe reforzar en el suplemento mineral, especialmente durante el período de transición de la vaca.

A su vez, el nivel de magnesio suplementario debe elevarse ante excesos de proteína, potasio o fósforo en la dieta, específicamente en regiones del altiplano de Antioquia, Caldas y Risaralda, lugares en donde se establecen programas de fertilización inorgánica intensiva, así como en los municipios del norte del Valle del Cauca y del Eje cafetero, donde los programas de fertilización involucren vertimientos de estiércol porcino y bovino.

2.1.3.3 Interacciones positivas del Mg con otros minerales

- » La adición de sodio en la dieta puede promover el transporte de magnesio a través de la pared ruminal cuando el sodio en la dieta es bajo (NRC, 2001).
- » La inclusión de glucosa en la dieta puede incrementar la incorporación de amonio en la proteína microbial, lo que reduce el efecto inhibitorio del amonio en el transporte de magnesio (Mayland, 1988, citado en NRC, 2000, 2001).
- » La suplementación con ionóforos (monensina, lasalocida) puede estimular la actividad ruminal del sistema de transporte de magnesio ligado al sodio, incrementado cerca de un 10 % la eficiencia de absorción de magnesio (Greene *et al.*, 1986, citado en NRC, 2000, 2001).
- » Los ionóforos pueden tener efectos significativos sobre la asimilación de otros nutrientes adicionales a la energía. En general, incrementan la absorción de nitrógeno, magnesio, fósforo, zinc y selenio con inconsistente efecto sobre el calcio, potasio y sodio (NRC, 2000).

2.1.3.4 Interacciones negativas del Mg con otros minerales

- » En zonas de clima frío, cuando las pasturas crecen rápidamente, se reduce la absorción de magnesio en el tejido vegetal ligado a la fertilización de la pradera con alto nivel de potasio (Mayland, 1988, citado en NRC, 2001).
- » Alto nivel de suplementación con potasio (0,6 % vs. 4,9 % de la MS total) puede reducir la absorción aparente de magnesio hasta un 50 % (Newton *et al.*, 1972, citado en NRC, 2001).
- » Altas concentraciones dietarias de nitrógeno, ácido cítrico, ácidos grasos de cadena larga, calcio y fósforo pueden reducir la absorción o utilización de magnesio (Fontenot *et al.*, 1989, citado en NRC, 2000).
- » Concentraciones elevadas de NH₃ ruminal se han asociado con predisposición de cuadros de hipomagnesemia en vacas que pastorean praderas con alto nivel de proteína cruda (Martens y Rayssiguier, 1980, citado en NRC, 2000).
- » La solubilidad del magnesio declina rápidamente cuando el pH ruminal se eleva por encima de 6,5. Los animales que pastorean tienden a tener alto pH ruminal debido a que el alto contenido de potasio en la pastura estimula la secreción salival asociada con procesos de rumia (NRC, 2001).
- » Dietas altas en potasio y nitrógeno pueden desencadenar baja eficiencia biológica en la absorción de magnesio (NRC, 2000).
- » La absorción de aluminio a nivel sanguíneo en algunos casos puede reducir la concentración de magnesio en el organismo (Fontenot *et al.*, 1989, citado en NRC, 2001).

- » Dietas con alto nivel de potasio o fósforo predisponen la aparición de cuadros de hipomagnesemia (Goff, 2008; Esposito *et al.*, 2014).

2.1.4 Azufre (S)

2.1.4.1 Funciones

- » Precursor de la síntesis de aminoácidos (metionina, cistina, cisteína, homocisteína, taurina), vitaminas (tiamina y biotina), condroitín sulfato de los cartílagos y de la hormona insulina.
- » Favorece la síntesis de proteína bacteriana a nivel ruminal.
- » Eleva la digestión de la fibra por efecto de las bacterias ruminales.
- » Potencia la respiración celular.
- » Es repelente de ectoparásitos.
- » Está involucrado en la detoxificación de compuestos aromáticos dentro del cuerpo animal (Costa *et al.*, 1983, 2016; Suttle, 2010; NRC, 2000, 2001; Paternina Durango *et al.*, 2015; Departamento de Agricultura de los Estados Unidos [USDA], 2017).

2.1.4.2 Deficiencia de S

- » Acumulación de ácido láctico en tejido muscular (calambre).
- » Salivación excesiva.
- » Menor digestibilidad y consumo de forrajes.
- » Anorexia.
- » Disminución en la producción láctea y de la ganancia de peso.
- » Mayor incidencia de parásitos externos.
- » Disminución del brillo del pelo.
- » Es importante considerar la interacción del azufre con otros minerales como yodo, cobre, selenio y zinc, los cuales interfieren en el desempeño reproductivo (Costa *et al.*, 2016; Olson, 2007; Suttle, 2010; NRC, 2000, 2001; Goff, 2008; Esposito *et al.*, 2014).

Por lo demás, se considera particularmente importante incrementar el nivel de inclusión en las siguientes zonas:

- » Antioquia: subregión suroeste, nordeste, magdalena medio y bajo cauca.
- » Zonas completas de los departamentos de Caldas, Casanare, Meta, Norte de Santander, Santander y Risaralda.

De igual forma, se debe incluir un nivel adicional de azufre en la sal mineral con el objetivo de garantizar menor infestación de garrapata, mosca, nuca en los animales y mejorar el aspecto del pelo.

2.1.4.3 Interacciones positivas de S con otros minerales

- » Para la utilización eficiente de nitrógeno no proteico, la relación nitrógeno: azufre debería estar entre 10 y 12:1 respectivamente (Bouchard y Conrad, 1973, citado en NRC, 2001).
- » Balance adecuado de niveles de sodio, calcio, potasio y magnesio maximizan la retención de azufre (Bouchard y Conrad, 1973, citado en NRC, 2001).

2.1.4.4 Interacciones negativas de S con otros minerales

- » Excesivo azufre dietario puede interferir con la absorción de otros elementos, particularmente cobre y selenio.
- » Un contenido de 5000 mg de sulfato de sodio/kg en agua (1100 mg S/kg o 0,11 %) reduce el consumo de alimento y agua, lo que compromete el crecimiento de los animales (Weeth y Hunter, 1971, citado en NRC, 2001).

2.1.5 Sodio (Na)

2.1.5.1 Funciones

- » Regula la presión osmótica y el mantenimiento del balance ácido-base.
- » Ejerce efectos sobre el proceso de irritabilidad muscular y absorción de los carbohidratos.
- » Principal catión extracelular.
- » Facilita la permeabilidad celular.
- » Metaboliza carbohidratos, proteínas y lípidos.
- » Constituyente de los tejidos y fluidos corporales responsables del mantenimiento de la permeabilidad de las membranas e irritabilidad de los tejidos en la sangre, el fluido cerebroespinal y el jugo gástrico (Costa *et al.*, 2016; Suttle, 2010; NRC, 2000, 2001; Paternina Durango *et al.*, 2015; USDA, 2017; Costa, 1983).

2.1.5.2 Deficiencia de Na

- » Apetencia intensa por la sal.
- » Consumo excesivo de suelo o materiales extraños (pica).
- » Consumo de orina de otros animales.
- » Disminución en el consumo de alimentos.
- » Declive en la producción láctea.
- » Baja retención de líquidos en el canal de ganado gordo.
- » Disminución del brillo de los ojos.

- » Aspecto y sensación de pelo áspero.
- » Deshidratación.
- » Baja calidad seminal (Costa *et al.*, 2016; Olson, 2007; Suttle, 2010; NRC, 2000, 2001; Goff, 2008; Esposito *et al.*, 2014).

2.1.5.3 Interacciones positivas del Na con otros minerales

- » Las interacciones de sodio con potasio, sodio con cloro y sodio con fósforo indican que la respuesta sobre el consumo de materia seca difiere sobre la concentración dietaria de potasio, cloro y fósforo (NRC, 2001).
- » El ganado bovino consume sal libremente si cuenta con acceso a esta sin restricción. Smith *et al.* (1953, citado en NRC, 2001) encontraron en vacas lecheras un mayor consumo de sal cuando tuvieron libre acceso al producto en presentación granulada versus presentación en bloque, pero el consumo neto en bloque fue suficiente para cubrir los requerimientos (NRC, 2001).
- » Al igual que el magnesio, el potasio, el cloro y el calcio, el sodio es constituyente de los tejidos y fluidos corporales responsables del mantenimiento de la presión osmótica, del equilibrio ácido-base, la permeabilidad de las membranas e irritabilidad de los tejidos en la sangre, el fluido cerebroespinal y el jugo gástrico (Costa *et al.*, 2016).

2.1.5.4 Interacciones negativas del Na con otros minerales

- » El consumo excesivo de sodio requiere directamente la activación del proceso de excreción, con lo cual contribuye al incremento de la salinidad del suelo y las fuentes de agua y al aumento de la toxicidad de las plantas (NRC, 2001).
- » El alto consumo de cloruro de sodio puede incrementar la incidencia y severidad de edema de ubre (Randall *et al.*, 1974, citado en NRC, 2001).

2.1.6 Potasio (K)

2.1.6.1 Funciones

- » Principal catión intracelular.
- » Regulador del balance ácido-base y de la presión osmótica a nivel celular.
- » Favorece el equilibrio hídrico celular.
- » Contribuye a la transmisión neuromuscular.
- » Facilita el transporte de oxígeno y de dióxido de carbono.
- » Es activador o cofactor en reacciones enzimáticas.
- » Participa en el metabolismo celular de proteínas y carbohidratos.

- » Ayuda a la integridad del tejido cardíaco y renal.
- » Hace parte de los componentes que constituyen los tejidos y los fluidos corporales responsables del mantenimiento de la presión osmótica, del equilibrio ácido-base, la permeabilidad de las membranas e irritabilidad de los tejidos en la sangre, el fluido cerebroespinal y el jugo gástrico (Costa *et al.*, 2016; Suttle, 2010; NRC, 2000, 2001; Paternina Durango *et al.*, 2015; USDA, 2017; Costa, 1983).

Ahora bien, a continuación se detallan las zonas o subregiones que presentan alto nivel en el tejido foliar de acuerdo con el resultado de los análisis:

- » Antioquia: altiplano oriente y norte. Subregión del nordeste, específicamente los municipios de San Roque y Maceo.
- » Arauca: municipio de Tame.
- » Bolívar: municipio de Zambrano.
- » Boyacá: municipios de Arcabuco, Chiquinquirá, Duitama, Oicata, Paipa, San Miguel de Sema, Sogamoso, Sotaquirá, Tibasosa, Tuta.
- » Cesar: municipio de San Alberto.
- » Córdoba: municipios de Montería y Planeta Rica.
- » Cundinamarca: municipios de Bojacá, Funza, Guacheta, La Vega, Madrid, Mosquera, Nemocón, San Francisco, Sibaté, Simijaca, Suesca, Tabio, Tenjo, Ubaté y Zipaquirá.
- » Santander: municipios de Carmen de Chucurí, Florián, La Belleza, Lebrija, San Vicente de Chucurí y Sucre.

2.1.6.2 Deficiencia

- » Es poco probable, ya que los resultados del análisis foliar de pastos en Colombia indican nivel suficiente y en algunos casos el reporte es excesivo.
- » Disminución del consumo de alimentos.
- » Bajo incremento o pérdida de peso corporal.
- » Pica.
- » Pelaje opaco y áspero.
- » Debilidad muscular.
- » Deficiente calidad seminal (Costa *et al.*, 2016; Olson, 2007; Suttle, 2010; Correa *et al.*, 2011; NRC, 2000, 2001; Goff, 2008; Esposito *et al.*, 2014; Costa, 1983).

2.1.6.3 Interacciones positivas del K con otros minerales

- » Al igual que el sodio, el magnesio, el cloro y el calcio, el potasio es constituyente de los tejidos y fluidos corporales responsables del mantenimiento de la presión osmótica, del equilibrio ácido-base, la permeabilidad de las membranas e irritabilidad de los tejidos en la sangre, el fluido cerebroespinal y el jugo gástrico (Costa *et al.*, 2016).
- » Los ionóforos pueden tener efectos significativos sobre la asimilación de otros nutrientes adicionales a la energía. En general, incrementan la absorción de nitrógeno, magnesio, fósforo, zinc y selenio con inconsistente efecto sobre el calcio, potasio y sodio (NRC, 2000).
- » El balance adecuado con cloro y azufre aumenta la absorción de potasio (NRC, 2000).

2.1.6.4 Interacciones negativas del K con otros minerales

- » Dietas con exceso de potasio predisponen la presentación de cuadros clínicos de hipomagnesemia (NRC, 2001; Goff, 2008).
- » Aunque es baja la posibilidad de observar deficiencias de potasio en animales alimentados en pastoreo, sí se reportan deficiencias en animales en sistemas de estabulación y alimentados con concentrados, heno o forrajes con excesivo estado de madurez (NRC, 2000).
- » El exceso de potasio (>2 % MS) altera el metabolismo del magnesio interfiriendo su absorción a nivel ruminal, no obstante, a nivel posruminal hay una compensación de la absorción de magnesio (Albornoz *et al.*, 2016).
- » Un aumento de la concentración de potasio en la dieta entre 2,6 a 4,3 % reduce la absorción de magnesio en aproximadamente 82 % (Roche, 2003, citado en Albornoz *et al.*, 2016).

CAPÍTULO 3

REQUERIMIENTOS DE MICROMINERALES PARA VACUNOS EN PASTOREO

El contenido de cenizas totales no solo es importante por su relación directa con la concentración de ciertos minerales en particular, sino, además, por su relación con el contenido de energía de los forrajes. Dado que los minerales no aportan energía, en la medida en que su concentración se incrementa, en esa medida se reduce la cantidad de energía disponible en los alimentos (NRC, 2000).

Típicamente, el gran impacto de la deficiencia marginal de los macrominerales (elementos traza) en la industria ganadera puede ser sobre la función o actividad inmunitaria, sin embargo, en casos de deficiencias severas, puede impactar los indicadores de desempeño productivo y la eficiencia reproductiva (Corah, 1996).

El cobre y el zinc son considerados elementos esenciales para el adecuado funcionamiento del sistema inmunológico, por lo que deficiencia de cobre puede generar efectos negativos sobre la síntesis de los neutrófilos y los macrófagos. Esto, a su vez, resulta en una depresión de las células productoras de anticuerpos, lo que disminuye la respuesta inmune (McDowell, 1999, citado en Silva *et al.*, 2017). Por otro lado, el zinc es fundamental en la respuesta inmunitaria mediada por las células, además de funcionar como agente antioxidante y antiinflamatorio (Prasad, 2007, citado en Silva *et al.*, 2017).

En otro orden de ideas, cabe anotar que las fuentes de microminerales varían respecto a la solubilidad en agua y esto puede afectar su reactividad con otros elementos y compuestos antagonistas, además de los microorganismos en el rumen (Caldera *et al.*, 2019).

Los microminerales con mayor influencia probable sobre la producción de bovinos en pastoreo son cobre, cobalto, yodo, selenio, zinc y manganeso, donde una parte de la deficiencia impacta el desempeño reproductivo de los rumiantes en pastoreo y en los indicadores de productividad zootécnica (Corah, 1996).

Por lo demás, otros elementos como el hierro y el molibdeno pueden tener funciones importantes, pero pocas veces se observan deficiencias. En ambos casos el exceso de estos minerales en la dieta puede tener un impacto en el animal directamente relacionado con la utilización del cobre (Corah, 1996).

Tabla 9. Requerimientos de microminerales para vacas de cría lactantes¹⁰ del grupo genético cebuino

Requerimiento	Peso corporal (kg)								
	400			450			500		
	Microminerales (mg/día)								
GDP ⁷ (kg/día)	0,1	0,2	0,3	0,1	0,2	0,3	0,1	0,2	0,3
CMS (kg/día)	9,66	9,68	9,71	10,87	10,89	10,92	12,07	12,10	12,13
Co	27,8	27,8	27,8	28,5	28,5	28,5	29,3	29,3	29,3
Cu	75,1	76,2	77,3	81,7	82,8	83,9	88,2	89,4	90,5
Cr	45,8	46,8	47,7	47,3	48,4	49,4	48,9	50	51,1
Fe	1942	1949	1956	2142	2150	2157	2343	2350	2358
Mn	196	198	199	217	219	221	239	240	242
Zn	655	679	703	683	709	736	710	739	769

Nota: la tabla muestra GDP, CMS y los requerimientos de microminerales Co, Cu, Cr, Fe, Mn y Zn para las vacas de cría lactantes.

Fuente: elaboración propia con base en datos de Costa *et al.* (2016).

La huella de carbono de todos los minerales podría reducirse a través de la alimentación en la que se tenga en cuenta una adecuada estimación de los máximos requerimientos individuales (Suttle, 2010).

¹⁰ Considerando una vaca en la décima semana de lactación y producción de leche de 8,13 kg/día.

Tabla 10. Requerimiento de microminerales para mantenimiento de vacunos en sistemas de producción de carne y los coeficientes de retención

Mineral	Requerimiento neto para mantenimiento (µg/kg PV)	Coefficiente de retención %
Cu	95,6	73,5
Co	13,5	86,8
Cr	22,9	78,4
Fe	2942	73,4
Mn	184,9	49,9
Mo	3,27	49,7
Se	3,72	48,7
Zn	333,4	66,8

Nota: la tabla muestra el requerimiento neto para mantenimiento de los minerales Cu, Co, Cr, Fe, Mn, Mo, Se y Zn y el coeficiente de retención para vacunos de sistemas de producción de carne.

Fuente: elaboración propia con base en datos de Costa *et al.* (2016).

Los programas de alimentación que consideran dietas proveedoras de un nivel adecuado, mas no cantidades excesivas de microminerales, ayudan a promover la rentabilidad de la operación en sistemas ganaderos mientras reduce el impacto ambiental de los hatos lecheros (Weiss, 2019).

Tabla 11. Requerimientos de microminerales para vacas lecheras de alta producción durante la fase de lactación y período seco

Mineral	Requerimiento			Nivel máximo admisible
	Vaca lactante	Vaca seca		
		45 días preparto	15 días preparto	
	mg/kg de la MS de la dieta total			
Cu	10,0-11,0	10,0-12,0	10,0-18,0 ¹	35
Co	0,11	0,11	0,11	2,5
Cr ^b	0,25-1,0	0,12-0,4	0,12-0,4	
Fe	12,3-18,0	50,0 ^c	50,0 ³	750
I	0,4-0,6	0,4-0,6	0,4-0,6	10
Mn	12,0-50,0 ³	12,0-50,0 ³	12,0-50,0 ³	150
Se	0,3	0,3	0,3	0,5
Zn	43,0-55,0	21,0-43,0	21,0-43,0	300

Nota: la tabla muestra los requerimientos de los minerales Cu, Co, Cr, Fe, I, Mn, Se y Zn para vacas lactantes de 45 y 15 días preparto.

Fuente: NRC (2001), Ministerio de Agricultura, Alimentación y Asuntos Rurales de Canadá (2016), Babulal *et al.* (2016) y Corah (1996).

Tabla 12. Requerimientos de microminerales (mg/día) en función del grupo genético (cebuinos y cruzados) para diferente peso corporal y ganancia de peso

GDP (kg/día)	Peso corporal (kg)						
	200	250	300	350	400	450	500
Hierro (mg/día)							
0,5	825,0	1026,0	1228,0	1429,0	1631,0	1832,0	2033,0
0,7	834,2	1036,0	1238,4	1439,8	1642,2	1843,6	2045,0
1,0	848,0	1051,0	1254,0	1456,0	1659,0	1861,0	2063,0
Zinc (mg/día)							
0,5	168,0	208,0	248,0	287,0	326,0	365,0	403,0
0,7	195,6	242,0	287,6	332,6	377,2	421,8	465,8
1,0	237,0	293,0	347,0	401,0	454,0	507,0	560,0
Manganeso (mg/día)							
0,5	88,8	111,0	133,0	155,0	177,0	198,0	220,0
0,7	90,7	113,0	135,4	157,8	180,2	202,0	224,0
1,0	93,5	116,0	139,0	162,0	184,9	208,0	230,0
Cobre (mg/día)							
0,5	30,4	37,3	44,1	50,9	57,6	64,3	71,0
0,7	32,2	39,2	46,1	53,0	59,9	66,7	73,5
1,0	34,9	42,1	49,2	56,3	63,3	70,3	77,2
Cromo (mg/día)							
0,5	9,0	11,0	12,9	14,8	16,6	18,5	20,3
0,7	10,3	12,5	14,6	16,6	18,6	20,6	22,6
1,0	12,3	14,7	17,1	19,4	21,7	23,9	26,1
Cobalto (mg/día)							
0,5	3,1	3,9	4,7	5,5	6,2	7,0	7,8
0,7	3,1	3,9	4,7	5,5	6,2	7,0	7,8
1,0	3,2	3,9	4,7	5,5	6,3	7,0	7,8
Selenio (mg/día)							
0,5	2,3	2,6	3,0	3,4	3,8	4,1	4,5
0,7	2,6	2,9	3,3	3,7	4,0	4,4	4,8
1,0	3,0	3,4	3,7	4,1	4,5	4,8	5,2

GDP (kg/ día)	Peso corporal (kg)						
	200	250	300	350	400	450	500
	Molibdeno (mg/día)						
0,5	1,3	1,7	2,0	2,3	2,7	3,0	3,3
0,7	1,4	1,7	2,0	2,4	2,7	3,0	3,3
1,0	1,4	1,7	2,0	2,4	2,7	3,0	3,4

Nota: la tabla muestra los requerimientos de microminerales (mg/día) de Fe, Zn, Mg, Cu, Cr, Co, Se y Mo en función del grupo genético (cebuinos y cruzados).

Fuente: elaboración propia con base en dato de Costa *et al.* (2016).

3.1 Beneficios de cada micromineral

3.1.1 Zinc (Zn)

3.1.1.1 Funciones

- » Cofactor de múltiples metalo-enzimas.
- » Alto efecto antioxidante.
- » Eleva la inmunidad.
- » Participa en procesos ligados al crecimiento del pelo y las pezuñas y a la cicatrización de tejidos.
- » Favorece la formación de ovocitos y espermatozoides.
- » Es un activador de enzimas involucradas en el proceso de esteroidogénesis que determina la secreción de testosterona.
- » Interviene en reacciones bioquímicas para el metabolismo de carbohidratos, proteínas, lípidos y la síntesis del ácido nucleico ARN.
- » Cofactor en la síntesis de prostaglandinas.
- » Regulador de sistemas enzimáticos y hormonales con relación al metabolismo y a la síntesis de lípidos.
- » Involucrado en el proceso de la regulación del apetito y la saciedad (Costa *et al.*, 2016; Suttle, 2010; NRC, 2000, 2001).

3.1.1.2 Deficiencia

- » Pérdida de apetito.
- » Crecimiento retardado.
- » Alopecia y dermatitis.
- » Lesiones podales.
- » Inmunodepresión.
- » Daño de tejidos y órganos por efecto de radicales libres.

- » Disminución en la producción de leche.
- » Baja tasa de concepción.
- » Anestro.
- » Retraso en la pubertad.
- » Deficiente desarrollo testicular e infertilidad en toros.
- » Baja libido.
- » Involución uterina retardada (Costa *et al.*, 2016; Olson, 2007; Suttle, 2010; Correa *et al.*, 2011; NRC, 2000, 2001).

Con base en lo anterior, cabe resaltar que en aquellas zonas en las que las aguas tienden a ser duras (sulfatos-carbonatos) es conveniente utilizar suplementos altos en zinc. Además, es necesario procurar que la relación entre el nivel de zinc y cobre en la fórmula mineral sea correcta a partir del balance de dieta con el fin de evitar antagonismos entre ambos.

3.1.1.3 Interacciones positivas del Zn con otros minerales

- » La suplementación con zinc, independientemente de la fuente, incrementa el grado de calidad de marmóreo de la carne y tiende a incrementar el grado de productividad y la grasa de cobertura dorsal de la canal (Silva *et al.*, 2017).
- » El cobre tiene relación sinérgica fundamental con el zinc en la modulación del sistema inmune (Silva *et al.*, 2017).

3.1.1.4 Interacciones negativas del Zn con otros minerales

- » El cobre y el azufre compiten con el zinc por los puntos de absorción (Suttle, 2010; NRC, 2000, 2001).
- » El desbalance en el nivel de calcio y fósforo en la dieta disminuye la absorción del zinc (Suttle, 2010).

3.1.2 Cobre (Cu)

3.1.2.1 Funciones

- » Componente de múltiples metalo-enzimas sanguíneas con efectos antioxidantes y de prevención de la inflamación.
- » Interviene en la síntesis de la hemoglobina para transporte de oxígeno en sangre.
- » Participa en la síntesis de melanina como pigmento de la piel.
- » Interviene en la síntesis de moléculas de energía (ATP) a nivel mitocondrial en interacción con el hierro y el cromo.

- » Es mediador en la síntesis de múltiples hormonas (adrenalina, noradrenalina, tiamina, triptamina, serotonina).
- » Interviene en la formación de las fibras de colágeno y elastina.
- » Es regulador de sistemas enzimáticos y hormonales, específicamente en la formación y desarrollo de espermatozoides.
- » La suplementación aumenta la concentración en el hígado durante desafíos respiratorios, lo que resulta en impactos positivos en la respuesta inmune durante períodos de estrés (Costa *et al.*, 2016; Suttle, 2010; NRC, 2000, 2001; Garmendia, 2006).

3.1.2.2 Deficiencia

- » Pérdida de apetito.
- » Bajo crecimiento.
- » Anemia.
- » Decoloración del pelo.
- » Fragilidad de cartílagos y de huesos.
- » Lesiones podales.
- » Baja producción láctea.
- » Anestro o alteraciones del celo.
- » Retraso de la pubertad.
- » Reducción de la tasa de concepción al primer servicio.
- » Alteración de la sobrevivencia embrionaria (programas de transferencia de embriones).
- » Retención placentaria o metritis.
- » Involución uterina retardada.
- » Disminuye la libido.
- » Modifica la calidad seminal (Costa *et al.*, 2016; Olson, 2007; Suttle, 2010; Correa *et al.*, 2011; NRC, 2000, 2001).

Se debe cuidar que la relación entre el nivel de cobre y los niveles de azufre y zinc en la fórmula mineral sea correcta a partir del balance de la dieta para evitar antagonismos entre ambos.

3.1.2.3 Interacciones positivas del Cu con otros minerales

- » El cobre tiene relación sinérgica fundamental con el zinc en la modulación del sistema inmune (Silva *et al.*, 2017).

3.1.2.4 Interacciones negativas del Cu con otros minerales

- » La deficiencia inducida de cobre por la suplementación con molibdeno y azufre produce una menor concentración de inmunoglobulinas en el suero (Cerone *et al.*, 1995, citado en Silva *et al.*, 2017).
- » El molibdeno a nivel ruminal forma complejos de cobre de baja absorción.
- » El azufre a nivel ruminal o en abomaso forma sulfuros de cobre, que son insolubles.
- » Altos contenidos de hierro en la dieta disminuyen la absorción del cobre.
- » Exceso de zinc en la dieta provoca deficiencia de cobre al competir por los puntos de absorción.

3.1.3 Yodo (I)

3.1.3.1 Funciones

- » Interviene en la síntesis de las hormonas tiroideas (tiroxina, triyodotironina) que controlan el metabolismo energético y el crecimiento de los tejidos.
- » Participa en la elevación de la respuesta inmunitaria.
- » Es mediador en la integridad del tejido podal (Costa *et al.*, 2016; Suttle, 2010; NRC, 2000, 2001).

3.1.3.2 Deficiencia

- » Bocio o coto (hiperplasia de glándula tiroides).
- » Falla del metabolismo energético.
- » Disminución o pérdida de apetito.
- » Ritmo anormal de crecimiento.
- » Lesiones podales.
- » Baja en producción de leche.
- » Disminución de la fertilidad en machos y hembras.
- » Pérdidas embrionarias o fetales.
- » Anestro o alteraciones estrales.
- » Disminución de libido.
- » Inmunodepresión.
- » Pérdidas fetales o nacimiento de crías débiles y sin pelo.
- » Retención placentaria o metritis.
- » Involución uterina retardada (Costa *et al.*, 2016; Olson, 2007; Suttle, 2010; Correa *et al.*, 2011; NRC, 2000, 2001; Garmendia, 2006).

En los casos en los que se diagnostica presencia de especies de plantas bociogénicas, es conveniente recomendar referencias con alto porcentaje de yodo, así como en los casos en los que hay una alta incidencia de lesiones podales y baja fertilidad en las hembras bovinas. De igual forma, se debe analizar la relación entre el nivel de yodo y el nivel de selenio en la fórmula mineral y que estos sean correctos a partir del balance de dieta con el fin de evitar antagonismos entre ambos.

3.1.4 Cobalto (Co)

3.1.4.1 Funciones

- » Componente integral de la cianocobalamina (vitamina B12) y, por lo tanto, esencial para la formación de células rojas sanguíneas necesarias para el mantenimiento del tejido nervioso.
- » Esencial en el metabolismo de la glándula mamaria y en el metabolismo que estimula el reciclaje de metionina (Costa *et al.*, 2016; Suttle, 2010; NRC, 2000, 2001).

3.1.4.2 Deficiencia

- » Anemia.
- » Pérdida del apetito.
- » Baja producción de leche.
- » Retraso en el crecimiento.
- » Deficiente respuesta del sistema inmunitario.
- » Anestro o alteraciones del celo.
- » Involución uterina retardada.
- » Baja tasa de concepción (Costa *et al.*, 2016; Olson, 2007; Suttle, 2010; Correa *et al.*, 2011; NRC, 2000, 2001; Garmendia, 2006).

El nivel reforzado de cobalto en la fórmula mineral contribuye a lograr una mejor digestión del forraje en pasturas con bajo valor nutricional y altos contenidos de fibra y, además, favorece la prevención de casos de anemia.

3.1.4.3 Interacciones negativas del Co con otros minerales

- » El hierro compite con el cobalto por los puntos de absorción.

3.1.5 Selenio (Se)

3.1.5.1 Funciones

- » Componente esencial de la enzima glutatión peroxidasa que, asociada con la vitamina E, tiene efecto antioxidante, por lo que previene el daño celular por causa de residuos metabólicos llamados radicales libres.
- » Favorece el metabolismo del yodo.
- » Eleva la respuesta inmunitaria.
- » Favorece la integridad de las fibras musculares.
- » Favorece la espermiogénesis y la ovogénesis (Costa *et al.*, 2016; Suttle, 2010; NRC, 2000, 2001; Hendriks y Laven, 2020).

3.1.5.2 Deficiencia

- » Degeneración de las fibras del tejido muscular (enfermedad del músculo blanco), distrofia muscular y degeneración del músculo cardíaco.
- » Debilidad y temblor en aplomos con remetimiento en el corvejón.
- » Daño en tejidos y órganos por efecto de radicales libres.
- » Inmunosupresión.
- » Mastitis.
- » Reducción de la producción de leche.
- » Retención de placenta.
- » Involución uterina retardada.
- » Baja calidad espermática y del ovocito.
- » Baja fertilidad en hembras y machos reproductores.
- » Pérdidas embrionarias o fetales (Costa *et al.*, 2016; Olson, 2007; Suttle, 2010; Correa *et al.*, 2011; NRC, 2000, 2001; Hendriks y Laven, 2020).

En los casos en los que las fuentes de agua tienden a ser duras (sulfatos, carbonatos), es conveniente recomendar referencias altas en selenio. Por otro lado, ante la alta incidencia de retenciones de placenta o baja fertilidad se deben elegir suplementos altos en selenio y, de igual modo, se debe considerar que la relación entre el nivel de selenio y el nivel de azufre en la referencia recomendada sea correcta según el balance nutricional para evitar antagonismos entre ambos.

3.1.5.3 Interacciones negativas del Se con otros minerales

- » El azufre compite con el selenio por los puntos de absorción (Suttle, 2010).

3.1.6 Cromo (Cr)

3.1.6.1 Funciones

- » Activa el Factor de Tolerancia a la Glucosa (FTG).
- » Controla los niveles de insulina y la interacción con sus receptores a nivel celular.
- » Regula los niveles de glucosa en sangre y eleva su disponibilidad en tejidos.
- » Eleva la respuesta inmunitaria.
- » Mejora la disponibilidad de energía en el organismo.
- » Evita la acumulación de triglicéridos en el hígado.
- » Amortigua el estrés fisiológico (Costa *et al.*, 2016; Suttle, 2010; NRC, 2000, 2001; Rendón *et al.*, 2019).

3.1.6.2 Deficiencia

- » Degeneración del tejido óseo.
- » Daño de tejidos por efecto de radicales libres.
- » Fallas en el metabolismo energético.
- » Bajo desempeño zootécnico.
- » Baja tasa de concepción.
- » Anestro.
- » Retraso en la pubertad.
- » Deficiente desarrollo testicular e infertilidad en toros.
- » Baja libido.
- » Involución uterina retardada (Costa *et al.*, 2016; Olson, 2007; Suttle, 2010; Correa *et al.*, 2011; NRC, 2000, 2001; Rendón *et al.*, 2019).

La inclusión de suficientes niveles de cromo orgánico en la fórmula mineral mejora el aprovechamiento de la energía dietaria, la respuesta inmunitaria, los índices de fertilidad y el rendimiento de la canal (ganado en la etapa de ceba) (Corah, 1996; Costa *et al.*, 2016; Suttle, 2010; NRC, 2000, 2001).

3.1.7 Hierro (Fe)

3.1.7.1 Funciones

- » Componente esencial de la hemoglobina (respiración celular) y la mioglobina.
- » Cofactor de múltiples enzimas.

- » Favorece la síntesis de hemoglobina.
- » Interviene en las reacciones bioquímicas tendientes a la síntesis del ácido nucleico (ARN) e información genética celular (Costa *et al.*, 2016; Suttle, 2010; NRC, 2000, 2001).

3.1.7.2 Deficiencia

- » Es poco probable, ya que los pastos contienen normalmente niveles que van de suficientes a excesivos.
- » Anemia.
- » Crecimiento retardado.
- » Inmunodepresión.
- » Decoloración del pelo.
- » Quistes foliculares.
- » Alteraciones estrales.
- » Anestro y abortos.
- » Bajo porcentaje de gestación (Costa *et al.*, 2016; Olson, 2007; Suttle, 2010; Correa *et al.*, 2011; NRC, 2000, 2001; Hendriks y Laven, 2020).

3.1.7.3 Interacciones positivas del Fe con otros minerales

- » Suficiente nivel de cobre en la dieta favorece la absorción del hierro (Suttle, 2010).

3.1.7.4 Interacciones negativas del Fe con otros minerales

- » El cobre y el zinc compiten con el hierro por los puntos de absorción.
- » La mayoría de los suelos de la región tropical son de media a baja fertilidad con elevada cantidad de aluminio (Al) y de hierro (Fe), lo que favorece la formación de compuestos insolubles para las plantas y aumenta la deficiencia de fósforo en la dieta de los vacunos en pastoreo (Rincón Castillo, 2011).

3.1.8 Manganeso (Mn)

3.1.8.1 Funciones

- » Desarrollo de la matriz orgánica del hueso.
- » Activador de múltiples sistemas enzimáticos con efecto antioxidante.
- » Favorece la síntesis de ácidos grasos y el metabolismo de los carbohidratos.
- » Interviene en las reacciones bioquímicas tendientes a la síntesis del ácido nucleico (ARN) como información genética celular.
- » Favorece la respiración celular a través de la mitocondria (Costa *et al.*, 2016; Suttle, 2010; NRC, 2000, 2001).

3.1.8.2 Deficiencia

- » Anormalidades esqueléticas y cojeras.
- » Daño de cartílagos.
- » Reducción del crecimiento o la producción.
- » Trastornos del equilibrio e incoordinación de movimientos.
- » Daño celular por radicales libres.
- » Baja tasa de concepción.
- » Anestro.
- » Retraso en la pubertad.
- » Deficiente desarrollo testicular e infertilidad en toros.
- » Baja libido.
- » Involución uterina retardada (Costa *et al.*, 2016; Olson, 2007; Suttle, 2010; Correa *et al.*, 2011; NRC, 2000, 2001; Hendriks y Leven, 2020).

En dietas en las que los niveles de calcio, potasio o fósforo sean altos es conveniente adicionar manganeso a la fórmula mineral, ya que la disponibilidad y absorción desde los forrajes es mínima. Por lo demás, la complementación de manganeso en una fórmula especial promoverá notablemente la infertilidad y los trastornos esqueléticos o del equilibrio en el ganado.

3.1.8.3 Interacciones negativas del Mn con otros minerales

- » El hierro compite con el manganeso por los puntos de absorción, disminuyendo su depósito en hueso.
- » Niveles altos de calcio, fósforo y potasio en la dieta inducen una menor absorción del manganeso.

CAPÍTULO 4

DISPONIBILIDAD Y MERCADO DE FUENTES DE FÓSFORO (P)

4.1 Orgánicas de origen vegetal

Entre estas se encuentran las materias primas, los cereales, las fuentes oleaginosas y los subproductos (harinas, tortas, etc.) que son utilizados en la producción de alimentos balanceados. A su vez, entre las principales materias primas se encuentra el maíz, la soya, el sorgo, el trigo, la cebada, los granos secos y los solubles de destilería (DDGS), entre otros (Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal [FEDNA], s.f).

4.1.1 Características

El fósforo está encapsulado en forma de ácido fítico que impide la absorción y el aprovechamiento en los animales monogástricos y gran parte de ese fósforo es excretado en las heces (FEDNA, s.f).

4.1.2 Limitaciones de uso

- » Su oferta está limitada a la época de cosecha (origen nacional) y a la disponibilidad en el mercado internacional.
- » Su aporte mineral es muy bajo.
- » Elevado costo por unidad o gramo de mineral.

4.2 Orgánicas de origen animal

Se extraen de los subproductos de origen animal donde, después del sacrificio de los animales y el retiro de la canal, quedan las vísceras, la sangre, las plumas, los huesos, entre otros, que son procesados para obtener las harinas de hueso evaporado y calcinado, las cuales vuelven a ingresar al sistema de producción de alimentos y de suplementos para animales (FEDNA, s.f).

Por otra parte, la disponibilidad de fósforo que puede aprovechar el animal a partir de estas fuentes es muy variable, siendo aproximadamente de hasta un 70 % y dependerá principalmente del proceso de molienda y del tamaño de partícula obtenido (FEDNA, s.f).

4.2.1 Características

En 1986, cuando se generó el brote de encefalopatía espongiforme bovina (EEB) o enfermedad de las vacas locas, la Unión Europea (2001) prohibió el uso de harinas de carne, de sangre, de hueso (vaporizadas), de carne y hueso y de despojos de mamíferos para la alimentación de rumiantes (Instituto Colombiano Agropecuario, 2001), por lo cual no se puede utilizar para sales mineralizadas ni alimentos concentrados o suplementos para esta especie. No obstante, en aves y cerdos se utilizan sin ningún tipo de restricción.

4.2.2 Limitaciones de uso

- » Propensos a la contaminación con microorganismos patógenos (*Salmonella*, *Escherichia coli*, *Clostridium sp.*).
- » Las harinas de hueso deben asegurar un estricto proceso de calcinación, pues de lo contrario producen olores rancios en la materia prima y en el producto terminado.
- » Son de baja palatabilidad, por lo tanto, las sales producidas con esta materia prima reportan consumo muy bajo.
- » Las sales fabricadas con harinas de hueso deben incluir un alto nivel de melaza para mejorar la palatabilidad del producto.

4.3 Inorgánicas

Esta fuente proviene de la roca fosfórica a la cual se le hacen diferentes procesos químicos para obtener los fosfatos. Entre las principales fuentes se encuentran el fosfato tricálcico defluorinado, el fosfato monocálcico, el fosfato monodivalente y el fosfato bicálcico dihidratado. Cada uno se caracteriza por tener un contenido de fósforo (entre un 18 % y hasta un 21 %) y de calcio (entre 16 % y hasta un 32 %).

Entretanto, la disponibilidad del fósforo de estas fuentes depende de numerosos factores que incluyen la naturaleza de la roca inicial y el proceso de fabricación (FEDNA, s.f).

4.3.1 Características

La disponibilidad biológica de cada uno de ellos varía, teniendo la menor disponibilidad el fosfato tricálcico defluorinado y la mayor disponibilidad el fosfato bicálcico dihidratado (FEDNA, s.f).

4.3.2 Limitaciones de uso

- » El fosfato tricálcico es roca defluorinada molida y, por lo tanto, se caracteriza principalmente por el sabor y el olor a tierra.
- » El fosfato monocálcico y el monodicálcico son producidos con ácido sulfúrico y tienen un sabor amargo característico.
- » Los fabricantes que producen estos fosfatos deben utilizar un alto nivel de melaza, saborizante o aromatizante para enmascarar estas condiciones.
- » Su granulometría es gruesa, lo que limita su homogeneización durante el proceso de mezclado.

CAPÍTULO 5

PRINCIPALES MARCAS DE FOSFATO COMERCIALIZADAS EN COLOMBIA Y SUS CARACTERÍSTICAS

Tabla 13. Principales marcas de fosfato y sus características. PHOSBIC®

Marca comercial	Productor	País (origen)	Ingrediente	Composición garantizada					
				Fórmula química	% P Mín.	% Ca Mín.	% Na Mín.	% F Mín.	% Humedad Máx.
PHOSBIC®	Quimpac S.A.	Perú	Ortofosfato de alta asimilación biológica	$\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ Fosfato con la más alta disponibilidad biológica	18,5	26,0	1,0	0,18	2,5

Nota: la tabla muestra las principales características de fosfatos de la marca PHOSBIC®.

Fuente: ficha técnica de seguridad Quimpac de Colombia S.A. (2020).

Tabla 14. Principales marcas de fosfato y sus características. TROPICALFOS®

Marca comercial	Productor	País (origen)	Ingrediente	Composición garantizada					
				Fórmula química	% P Mín.	% Ca Mín.	% Na Mín.	% F Mín.	% Humedad Máx.
TRICAL-FOS®	Monómeros Colombo Venezolanos S.A.	Colombia-Venezuela	Fosfato de calcio y sodio, silicato de calcio, sílice libre, trazas de óxido de potasio y óxido férrico	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	17,9	32,0	4,6	0,18	1

Nota: la tabla muestra las principales características de fosfatos de la marca TROPICALFOS®.

Fuente: ficha técnica de seguridad Monómeros Colombo Venezolanos S.A. (2008).

Tabla 15. Principales marcas de fosfato y sus características. Biofos®

Marca comercial	Productor	País (origen)	Ingrediente	Composición garantizada					
				Fórmula química	% P Mín.	% Ca Mín.	% Na Mín.	% F Mín.	% Humedad Máx.
Biofos®	MOSAIC®	USA	Fosfato monocálcico monohidratado, fosfato dicálcico dihidratado, fosfato de hierro, sulfato de calcio dihidratado, carbonato de calcio	$\text{H}_4\text{CaO}_8\text{P}_2$ H_2O	21	15,0		0,21	1,0-2,0

Nota: la tabla muestra las principales características de fosfatos de la marca Biofos®.

Fuente: Mosaic® (2020).

Tabla 16. Principales marcas de fosfatos y sus características. Fosfato dicálcico y fosfato monocálcico

Marca comercial	Productor	País (origen)	Ingrediente	Composición garantizada					
				Fórmula química	% P Mín.	% Ca Mín.	% Na Mín.	% F Mín.	% Humedad Máx.
Fosfato dicálcico (18,5 % P) Grado alimenticio	Nutrien Ltda. potash corp. (3° puesto a nivel mundial)	USA	Hidrogenofosfato de calcio, bis dihidrógeno, ortofosfato de calcio, ortofosfato de hierro, sulfato de calcio dihidratado		18,5	20,0		0,18	2,0

Marca comercial	Productor	País (origen)	Ingrediente	Composición garantizada					
				Fórmula química	% P Mín.	% Ca Mín.	% Na Mín.	% F Mín.	% Humedad Máx.
Fosfato monocalcico/ monodicalcico (21 % P) Grado alimenticio	Nutrien Ltda. potash corp. (3° puesto a nivel mundial)	USA	Bis dihidrógeno, ortofosfato de calcio, hidrogenofosfato de calcio , ortofosfato de hierro, ortofosfato de aluminio , sulfato de calcio, dihidratado		21,0	15,0		0,21	2,0

Nota: la tabla muestra las principales características de fosfato dicálcico y fosfato monocalcico.

Fuente: ficha técnica de seguridad Nutrien Ltda. (2019).

**Tabla 17. Principales marcas de fosfatos y sus características.
Fosfato monocalcico, monohidratado grado alimenticio**

Marca comercial	Productor	País (origen)	Ingrediente	Composición garantizada					
				Fórmula química	% P Mín.	% Ca Mín.	% Na Mín.	% F Mín.	% Humedad Máx.
Fosfato monocalcico monohidratado Grado alimenticio	AG Chemi Group s.r.o.	República Checa	Fosfato monocalcico/ monohidratado	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	22,3	15,0		0,20	

Nota: la tabla muestra las principales características de fosfato monocalcico/ monohidratado.

Fuente: AG Chemi Group s.r.o. (2020).

**Tabla 18. Principales marcas de fosfatos y sus características.
Fosfato monocalcico, dicálcico, Neophos, monodicalcico MDCP**

Marca comercial	Productor	País (origen)	Ingrediente	Composición garantizada					
				Fórmula química	% P Mín.	% Ca Mín.	% Na Mín.	% F Mín.	% Humedad Máx.
Fosfato monocalcico MCP	Phosphea 1° puesto a nivel de Europa. 2° puesto a nivel mundial.	Colombia España Francia Serbia		$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	21,0	17,0	,0		

Marca comercial	Productor	País (origen)	Ingrediente	Composición garantizada					
				Fórmula química	% P Mín.	% Ca Mín.	% Na Mín.	% F Mín.	% Humedad Máx.
Fosfato dicálcico dihidratado DCP	Phosphea	España Francia Túnez		CaHPO ₄ 2H ₂ O	18,0	26,0			
Neophos	Phosphea	España Túnez Francia	Fosfato de calcio sodio		20,0	20,0	5,0		
Fosfato monodivalente MDCP	Phosphea	Francia Túnez			21,0				

Nota: la tabla muestra las principales características de fosfato monovalente, divalente, Neophos y monodivalente MDCP.

Fuente: Phosphea® (2020).

Tabla 19. Principales marcas de fosfatos y sus características.

PQP® Fosbical 18 %, PQP® Fosbical 21 %

Marca comercial	Productor	País (origen)	Ingrediente	Composición garantizada					
				Fórmula química	% P Mín.	% Ca Mín.	% Na Mín.	% F Mín.	% Humedad Máx.
PQP Fosbical 18 %	Productos Químicos Panamericanos	Colombia	Fosfato monovalente		18,00	18,0		0,18	3
PQP Fosbical 21 %	Productos Químicos Panamericanos	Colombia	Fosfato monovalente bivalente		21,00	15,0		0,21	3

Nota: la tabla muestra las características de proporción garantizada para los Productos Químicos Panamericanos.

Fuente: ficha técnica de seguridad Productos Químicos Panamericanos S.A. (2018).

Tabla 20. Principales marcas de fosfatos y sus características.

Fosfato monovalente, divalente y divalente-sódico Global Feed®

Marca comercial	Productor	País (origen)	Ingrediente	Composición garantizada					
				Fórmula química	% P Mín.	% Ca Mín.	% Na Mín.	% F Mín.	% Humedad Máx.
Fosfato monovalente MCP	Global Feed	España			22,2	> 16,0		< 0,2	<2,5
Fosfato divalente DCP	Global Feed	España			18,00	> 21		< 0,2	<2,5

Marca comercial	Productor	País (origen)	Ingrediente	Composición garantizada					
				Fórmula química	% P Mín.	% Ca Mín.	% Na Mín.	% F Mín.	% Humedad Máx.
Fosfato cálcico-sódico Socalphos	Global Feed	España			20,00	18,0	5,0	<0,2	<2,5

Nota: la tabla muestra las características de proporción garantizada para los productos Global Feed®.

Fuente: ficha técnica de seguridad Global Feed (2018).

**Tabla 21. Principales marcas de fosfatos y sus características.
Zerophos® DCP, MCP, MDCP, TCP**

Marca comercial	Productor	País (origen)	Ingrediente	Composición garantizada					
				Fórmula química	% P Mín.	% Ca Mín.	% Na Mín.	% F Mín.	% Humedad Máx.
Zerophos DCP (18 % P)	Zerophos Chemical Group Co. Ltda.	China	Fosfato dicálcico	$\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	18,00	21,0		0,18	4,0
Zerophos MCP (22 % P)	Guizhou Zerophos Co. Ltda.	China	Fosfato monocálcico	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	22,00	13,0		0,18	2,0
Zerophos MDCP (21 % P)	Guizhou Zerophos Co. Ltda.	China	Fosfato monodicalcico	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	21,00	15,0		0,18	4,0
Zerophos TCP (18 % P)	Guizhou Zerophos Co. Ltda.	China	Fosfato tricálcico	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	18,00	30,5		0,18	5,0

Nota: la tabla muestra las características de proporción garantizada para los productos Guizhou Zerophos Co. Ltda.

Fuente: Guizhou Zerophos Chemical Co. Ltda. (2020).

**Tabla 22. Principales marcas de fosfatos y sus características.
Lianyungang fosfato dicálcico y fosfato tricálcico**

Marca comercial	Productor	País (origen)	Ingrediente	Composición garantizada					
				Fórmula química	% P Mín.	% Ca Mín.	% Na Mín.	% F Mín.	% Humedad Máx.
Fosfato dicálcico 18 %	Lianyungang debang fine chemical Co. Ltda.	China		$\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	18,00	21,0		0,005	
Fosfato tricálcico	Lianyungang debang fine chemical Co. Ltda.	China		$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	18,00	13,0		0,0075	

Nota: la tabla muestra las características de proporción garantizada para los productos Lianyungang.

Fuente: Lianyungang Debang Fine Chemical Co. Ltda. (2015).

CAPÍTULO 6

CARACTERÍSTICA Y DIFERENCIAL DE LAS FUENTES DE FOSFATO

Los fosfatos inorgánicos alimenticios son fuentes de fósforo de alta calidad para la alimentación animal. Asimismo, la mayoría de los fosfatos inorgánicos se derivan de la roca fosfórica natural -la roca es tratada químicamente para hacer disponible el fósforo para los animales en la forma de fosfato calidad o grado alimenticio-. Ahora bien, los principales fosfatos grado alimenticio son el calcio, el magnesio, el calcio-sodio, el calcio-magnesio, el amonio y los fosfatos de sodio. La composición de estos fosfatos es constante, bajos en impurezas y son considerados por los científicos como la mejor fuente de fósforo disponible para animales.

En ese sentido, una adecuada oferta de fosfato inorgánico grado alimenticio en los animales es esencial para el óptimo desempeño y el bienestar de los animales. Por lo tanto, las principales fuentes ampliamente incluidas para cumplir con los requerimientos de los animales en todas las variedades de alimentos para las especies de interés zootécnico son el fosfato dicálcico (DCP) o el fosfato monocálcico (MCP) (Inorganic Feed Phosphates [IFP], 2020; Bikker *et al.*, 2016; Instituto Nacional de Investigaciones Agronómicas [INRA]¹¹, 2020).

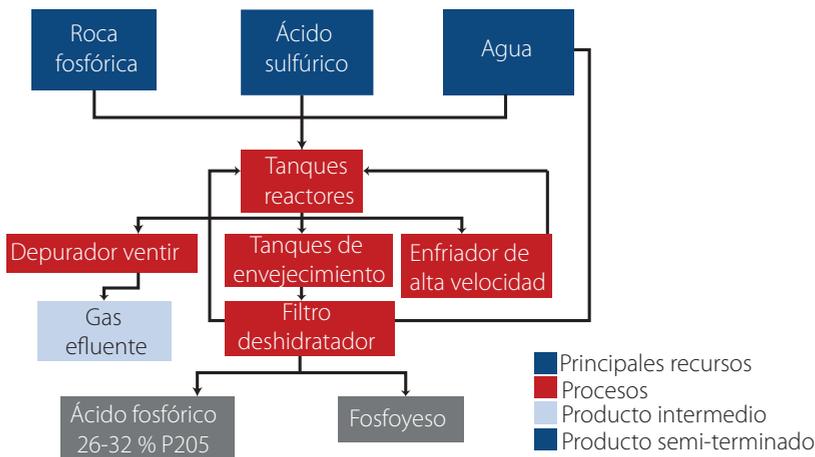
11 Ver la *INRAE-CIRAD-AFZ Tables*. <https://www.feedtables.com/content/tables#:~:text=The%20INRAE%2DCIRAD%2DAFZ%20feed,origin%20and%20100%20mineral%20sources>

Esto es necesario para reducir las concentraciones de fósforo dietario total y la inclusión de estos fosfatos, porque la reserva mineral de fósforo inorgánico mundial es limitada y debido, además, al impacto negativo sobre el ambiente que genera el fósforo excretado a los ecosistemas (Liu *et al.*, 2008, citado en Bikker *et al.*, 2016). Asimismo, esto requiere una adecuada comprensión de la digestibilidad y el valor relativo de las diferentes opciones de fosfatos comúnmente usados. En el pasado, la digestibilidad del fósforo en las materias primas usadas para la elaboración de dietas para avicultura generalmente era determinada por el cálculo de la diferencia entre el fósforo consumido y el fósforo excretado.

No obstante, estos muestreos pueden resultar en una subestimación de la digestibilidad verdadera del fósforo, por ejemplo, en el caso en el que el fósforo absorbido pero no utilizado es excretado vía urinaria. La determinación de la digestibilidad de fósforo prececal en la parte distal del íleo evita la posible subestimación del fósforo digestible de las materias primas (Rodehutschord *et al.*, 2012, citado en Bikker *et al.*, 2016; Lamp *et al.*, 2020) y, probablemente los resultados en los coeficientes de digestibilidad tienen mayor confiabilidad y consistencia (Bikker *et al.*, 2016).

De otro lado, cabe resaltar que el fosfato dicálcico es usado comúnmente como una fuente de fósforo suplementario. Comercialmente, es un producto industrial que resulta de la acidulación de la roca fosfórica (fosfato de roca) regularmente con ácido sulfúrico para neutralizar el ácido fosfórico luego de la purificación con carbonato de calcio (Van Harn *et al.*, 2017). La Figura 1 presenta las materias primas utilizadas en el proceso de producción de ácido fosfórico, mientras que la Figura 2 ilustra la cadena de valor industrial del fosfato.

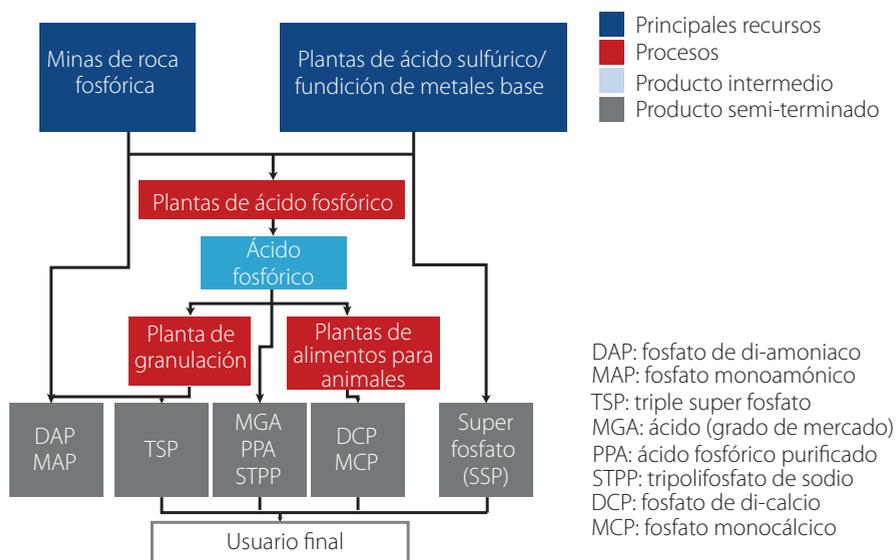
Figura 1. Materias primas utilizadas en el proceso de producción de ácido fosfórico



Nota: la imagen muestra el esquema del proceso de producción de ácido fosfórico.

Fuente: CRU Consulting (2018).

Figura 2. Cadena de valor industrial del fosfato



Nota: la imagen muestra el esquema de la cadena valor industrial del fosfato.

Fuente: CRU Consulting (2018).

En las investigaciones que evalúan la disponibilidad de fósforo en las diferentes materias primas incluidas en la formulación de dietas y suplementos para animales, el fosfato dicálcico comercial a menudo es utilizado como un producto de referencia estándar, así como en la formulación de dietas comerciales en las que el fósforo del fosfato dicálcico es matrizado con el 100 % de disponibilidad (Van Harn *et al.*, 2017; Lamp *et al.*, 2020).

En otro orden de ideas, en un trabajo realizado por Lima *et al.* (1995) se evaluó la composición química y física de siete muestras comerciales de fosfato dicálcico (cinco comercializadas en Brasil y dos en Estados Unidos) en comparación con el fosfato dibásico dihidratado purificado ($\text{CaHP0}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). El contenido de humedad, residuo insoluble, pérdida por ignición, pH, densidad aparente y los valores de solubilidad de fósforo en ácido cítrico al 2 % son presentados en la Tabla 23.

Tabla 23. Humedad, residuo insoluble, pérdida por ignición, pH, densidad aparente y solubilidad de fósforo en muestras comerciales de fosfato dicálcico

Fuente de P	Humedad	Residuo insoluble	Pérdida por ignición	pH	Densidad aparente	Solubilidad del P
	%				(g/L)	(%)
CaHP ₄ ·2H ₂ O	0,15	0,77	24,1	5,8	556	97,6
2	1,58	1,57	13,7	6,1	840	94,8
3	1,34	1,82	23,9	3,2	967	92,4
4	0,96	1,35	17,1	5,8	849	90,4
5	0,99	5,14	16,3	4,8	814	96,5
6	1,31	2,84	16	5,7	572	94,9
7	2,17	2,88	21,4	3,5	920	85,9
8	1,8	2,5	22,6	3,9	844	94,6
Promedio	1,29	2,36	19,4	4,8	795	93,4
SE	0,61	1,35	4,1	1,2	151	3,8

Nota: la tabla muestra los porcentajes de humedad, residuo insoluble y la pérdida por ignición.

Fuente: Lima *et al.* (1995).

Productos muy finos o gruesos se dispersan heterogéneamente en el alimento mezclado evitando que los animales reciban regularmente el fósforo disponible básico en las cantidades especificadas por el nutricionista y, con esto, el desempeño zootécnico se ve afectado (Van Harn *et al.*, 2017).

Ahora bien, los valores de solubilidad del fósforo en ácido cítrico al 2 % reportados por Lima *et al.* (1995) están en un rango que va del 85,9 % al 97,6 %. Estos valores concuerdan con los resultados de Sullivan *et al.* (1992) en los que hallaron solubilidad del fósforo en ácido cítrico al 2 % superior al 90 % en más de 13 muestras analizadas de fosfato dicálcico. Igualmente, los resultados de Lima *et al.* (1995) también son comparables con las observaciones de Potter (1988), quien reportó para fosfatos comerciales valores del 94,2 %, 95,5 %, y el 98,6 % para una muestra de fosfato monocálcico y dos muestras de fosfato dicálcico respectivamente.

Tabla 24. Análisis de digestibilidad de calcio y fósforo y nivel de cenizas en tibia registrados al día 21 en pollo de engorde

Treatments	DCP	MDP	MCP	DFP	DMM	MCP +SiO ₂	Treatment P-value	Tukey's HSD1	Treatment SEM	Linear contrasts ²
Tibia ash (%)	47,2 ^b	48,0 ^a	47,8 ^{a,b}	47,2 ^b	47,5 ^{a,b}	47,4 ^{a,b}	0,0078	0,6833	0,1624	b
Tibia ash (mg/chick)	675,0 ^b	723,1 ^{a,b}	769,0 ^a	712,8 ^{a,b}	753,6 ^a	708,3 ^{a,b}	0,0026	68,065	16,1727	a
Tibia weight (mg)	1430,7 ^b	1506,5 ^{a,b}	1610,4 ^a	1509,3 ^{a,b}	1585,7 ^a	1495,7 ^{a,b}	0,0078	144,38	34,3050	a
Ashed tibia weight (mg)	675,0 ^b	723,1 ^{a,b}	768,9 ^a	712,8 ^{a,b}	753,6 ^a	708,3 ^{a,b}	0,0026	68,065	16,1727	a
AID Ca coefficient (%)	44,78 ^c	75,02 ^a	62,50 ^b	69,82 ^{a,b}	68,62 ^{a,b}	68,92 ^{a,b}	< 0,0001	10,468	2,4872	a,b,c
AID P coefficient (%)	29,05 ^b	74,65 ^a	68,19 ^a	66,41 ^a	74,21 ^a	74,87 ^a	< 0,0001	9,1215	2,1673	a,c
Digestible Ca concentration (%)	0,280 ^c	0,557 ^a	0,463 ^b	0,523 ^{a,b}	0,506 ^{a,b}	0,476 ^b	< 0,0001	0,0694	0,0165	a,b,c
Digestible P concentration (%)	0,136 ^c	0,378 ^a	0,343 ^{a,b}	0,315 ^b	0,350 ^{a,b}	0,350 ^{a,b}	< 0,0001	0,0436	0,0103	a,b,c

a–cMeans within a column not sharing a common superscript differ significantly (P<0.05).Abbreviations: AID Ca coefficient, apparent ileal Ca digestibility coefficient; AID P coefficient, apparent ileal P digestibility coefficient; DCP, dicalcium phosphate; DFP, defluorinated phosphate; DMM, 1/5 MCP, 1/5 monosodium phosphate, 3/5 DCP; MCP, monocalcium phosphate; MCP1SiO₂, MCP1SiO₂(67:33); MDP, monocalcium phosphate.1HSD: honestly significant difference.2Significant (P<0.05) linear contrasts were expressed by letters as follows: a = DCP vs. MCP; b = MDP vs. DMM; and c = DCP vs. MCP1SiO₂.

Nota: la imagen muestra la digestibilidad de calcio y fósforo registrado en pollo de engorde.

Fuente: Lamp *et al.* (2020).

Usando bioensayos en avicultura, se ha determinado un valor biológico (BV) para las fuentes de fósforo grado alimenticio en lugar de expresarlas como porcentaje de disponibilidad del fósforo retenido. Sobre esto, el BV de un alimento o fosfato se determina midiendo la ganancia de peso, conversión alimenticia y el porcentaje de cenizas en la tibia después de alimentar a las aves en las tres semanas iniciales de vida, variando las cantidades de fosfato en la prueba de deficiencia de fósforo. El BV para fosfatos usualmente es expresado en BV relativo (RBV) (Coon *et al.*, 2007).

Por otro lado, diferentes fuentes de fósforo son usadas para suplementar o balancear deficiencias de este macromineral en las dietas de los rumiantes. Así, la cantidad requerida dependerá de la concentración y de la disponibilidad biológica de fósforo en el alimento y en el suplemento. Por lo demás, la digestibilidad verdadera del fósforo en las dietas de los rumiantes está en un rango que va del 50 % al 94 % (Kleiber *et al.*, 1951; Lofgreen y Kleiber, 1953; Field *et al.*, 1984, 1986; Braithwaite, 1986, citados en Dayrell y Ivan, 1989).

Sin embargo, Lofgreen (1960) reportó una digestibilidad verdadera del fósforo en ovinos del 50 %, 46 %, 33 % y 14 % para fosfato dicálcico, harina de hueso, fitato de calcio y roca fosfórica respectivamente. El fósforo proveniente del fosfato dicálcico es absorbido y retenido en mayor cantidad que otras fuentes como la roca fosfórica defluorinada y la roca fosfórica (Arrington *et al.*, 1963, citado en Dayrell y Ivan 1989).

Asimismo, una alta proporción del fósforo de los forrajes frescos y secos es absorbida tanto por bovinos como por ovinos (AFRC, 1991; NRC, 2001) independientemente de la especie forrajera con un promedio de coeficiente de absorción de fósforo del $0,74 \pm 0,09$ (desviación estándar) (AFRC, 1991, citado en Suttle, 2010).

En ovinos destetados (Braithwaite, 1986; Portilho *et al.*, 2006), terneras(os) (Challa *et al.*, 1989) y caprinos (Vitti *et al.*, 2000) la absorción de fósforo linealmente está relacionado con el consumo de fósforo inorgánico en un amplio rango con altos coeficientes de 0,68–0,80. La desfosforilación y la hidrólisis de fósforo fítico ingerido en granos y semillas es realizado por las fitasas y fosfatasas microbial, liberando PO_4 en el rumen (Reid *et al.*, 1947; Nelson *et al.*, 1976; Morse *et al.*, 1992) y esto en gran medida es incorporado en la proteína microbial, pero no en la degradación del fósforo fítico. El fósforo microbial es marginalmente menos absorbible que el PO_4 , el cual es -al igual que otro anión- fácilmente absorbido (Suttle, 2010).

Entretanto, la eficiencia de absorción del fósforo depende de varios factores como la edad (o el peso corporal) del animal, el estado fisiológico (p. ej., no lactante versus lactante); la cantidad de materia seca o el nivel de fósforo ingerido, así como de la relación fósforo: calcio (NRC, 2001). Dicha absorción también depende de la forma química del elemento, el sexo, la grasa y nivel energético, las condiciones medio ambientales, el flujo hormonal, las enfermedades y los parásitos, además del nivel de proteína y los elementos traza; las interacciones con otros minerales y nutrientes,

los quelatantes, la naturaleza física de las fuentes de fósforo y otras materias primas incluidas en la dieta (especialmente el tamaño de partícula, procesamiento y mezcla del alimento, entre otros) (Gillis *et al.*, 1954).

De igual modo, los productos de origen animal y acuícola tienen alto nivel de fósforo. Con relación a la disponibilidad, las fuentes de suplementación de fósforo se distribuyen de la siguiente forma: fosfato dicálcico, fosfato defluorinado y harina de hueso (ver Tabla 25) (Peeler, 1972; Gillis *et al.*, 1954).

Tabla 25. Disponibilidad biológica de varias fuentes de fosfato en vacunos de carne

Fuente	Long ¹²	Arrington ¹³	Ammerman ¹⁴	O'Donovan ¹⁵
	% disponibilidad biológica			
Fosfato dicálcico	100	100	100	100
Fosfato defluorinado		71	95	93
Roca fosfórica	17	68	88	

Nota: la tabla muestra los porcentajes de disponibilidad de varias fuentes de fosfato en vacunos de carne.

Fuente: Peeler (1972).

Tabla 26. Digestibilidad relativa y coeficiente de absorción real en rumiantes de varias fuentes de fosfato

Fosfato	Fórmula química	Ca %	P %	Digestibilidad relativa en rumiantes %	Coefficiente de absorción real en rumiantes %
Monosódico monohidratado (Patrón)		0,00	22,50	100	67
Bicálcico dihidratado	Ca(HPO ₄) ₂ ·2H ₂ O	25,00	17,70	100	68
Bicálcico anhidro	CaHPO ₄	27,00	19,00		68
Monocálcico monohidratado	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ ·2H ₂ O	16,90	22,70	96	68
Monobicálcico monohidratado	CaHPO ₄ ·Ca(H ₂ PO ₄) ₂ ·2H ₂ O	20,80	21,10	97	66

Nota: la tabla muestra los porcentajes de digestibilidad relativa y coeficiente de absorción real en rumiantes.

Fuente: FEDNA (2018); Instituto de Investigaciones Agronómicas (2017, 2020).

12 Respuesta de crecimiento. Long *et al.* (1956).

13 Retención neta (técnica de isótopo). Arrington *et al.* (1963).

14 Absorción verdadera (agotamiento-saciedad). Ammerman *et al.* (1965).

15 Digestibilidad verdadera (prueba de balance). O'Donovan *et al.* (1965).

Por otro lado, Coppock *et al.* (1972, 1975) evaluaron la práctica de alimentación a voluntad (*free choice*) de suplementos que contenían fósforo para novillas y vacas en lactancia con el fin de hallar los requerimientos cuando las dietas fueron marginalmente bajas o deficientes en fósforo y calcio. Con las novillas fue baja la relación entre la necesidad por el mineral y el consumo voluntario de fosfato dicálcico y fosfato defluorinado.

Entretanto, para las vacas lactantes se ofreció una dieta basal que proveía fósforo y calcio por debajo de los requerimientos para la semana 9 y 12 de lactancia y no hubo evidencia de que las vacas hayan consumido fosfato dicálcico y fosfato defluorinado para corregir la deficiencia o que el apetito por suplementos de fósforo o calcio coincidiera con los requerimientos nutricionales de los animales (NRC, 2001).

En otro orden de ideas, es de resaltar que el fosfato dicálcico tiene un coeficiente de absorción verdadera del 75 % en vacunos (Tillman y Brethour, 1958; Challa and Braithwaite, 1988) y del 67,3 % en ovinos (Dayrell y Ivan, 1989). Asimismo, el coeficiente de absorción verdadera del ácido fosfórico es del 90 % en vacunos (Tillman y Brethour, 1958), mientras que del fosfato monosódico es del 90 % en ovinos (Tillman y Brethour, 1958). Dichos valores son tomados como referencias estándar (NRC, 2001).

En rumiantes, el pool de fósforo en el rumen constituye una zona de almacenamiento. La concentración de fósforo en el rumen declina en dietas bajas, ya que esto resulta en una reducción del flujo de fósforo de la saliva hasta el rumen (Wright *et al.*, 1984; Challa *et al.*, 1989; Valk *et al.*, 2001). Sin embargo, los factores fisiológicos y ligados a la dieta tienen influencia sobre el flujo salival y en el plasma de fósforo ingerido, lo que afecta la concentración de fósforo alcanzado en el rumen (Suttle, 2010).

CAPÍTULO 7

SUPLEMENTACIÓN PROTEICA COMO ESTRATEGIA PARA INCREMENTAR EL DESEMPEÑO ZOOTÉCNICO DE LOS VACUNOS EN PASTOREO

El tenor de proteína en la dieta tiene correlación positiva con el consumo de las vacas lactantes. Este efecto proviene parcialmente del aumento de la proteína degradable en el rumen que mejora la digestibilidad de los alimentos (Roffler *et al.*, 1986, citado en Souza *et al.*, 2014). Al estudiar el efecto de la adición de harina de soya en las dietas de vacas recién paridas se confirmó que el aumento del consumo por unidad porcentual de proteína bruta disminuyó exponencialmente conforme aumentó el nivel de proteína bruta en la dieta total (Allen, 2000, citado en Souza *et al.*, 2014). Esto sugiere que la correlación positiva entre la proteína bruta en la dieta y el consumo puede ser efecto de la producción reducida de propionato cuando la proteína sustituye el almidón (Souza *et al.*, 2014).

Asimismo, en raciones de bajo nivel proteico la cantidad total de proteína ingerida podría aumentar si hubiese un aumento en la demanda de energía, lo que incrementaría el consumo. Tenores críticos de ingestión de proteína provocan depresión en el consumo, siendo que para los rumiantes el límite crítico es más bajo debido a la síntesis proteica de la microflora ruminal (Souza *et al.*, 2014).

Según Detmann *et al.* (2007, citado en Souza *et al.*, 2014), la urea es un buen regulador de consumo de suplementos para bovinos en pastoreo debido al aprendizaje en función de sensaciones de malestar en los animales. Las características sensoriales de la urea también controlan el consumo de suplementos debido al sabor amargo y el olor característico.

En esa misma vía, y de acuerdo con Salman *et al.* (1996, citado en Souza *et al.*, 2014). El uso de urea por los rumiantes es limitado en virtud de su baja palatabilidad, su segregación cuando se mezcla con harinas y su toxicidad en dosis elevadas.

Por su parte, Valadares *et al.* (2006, citado en Souza *et al.*, 2014). Concluyeron que, con los resultados presentados, se verifica que la urea es eficaz como controlador del consumo de suplementos múltiples para los bovinos en pastoreo. Alcântara *et al.* (2010, citado en Souza *et al.*, 2014) verificaron que la mezcla mineral y la urea tienen el mismo poder regulatorio del consumo de los suplementos.

Así, si se considera a la energía y a la proteína como los nutrientes más limitantes, se evidencia que a partir de la duodécima semana de vida (cerca de los 84 días de edad) la leche no ofrece toda la energía necesaria para que la cría tenga una GDP cercana a 1000 g/día. Por otro lado, la proteína se torna limitante a partir de la vigésima semana (en torno de los 140 días de vida de la ternera o el ternero), lo que sería alrededor de los 70 a 100 días antes del destete. Por lo tanto, para que las crías consigan mantener una ganancia de peso del orden de 900 g/día hasta el destete, es necesario la utilización de suplementos múltiples a partir del tercer mes de vida o, como alternativa a mediano y largo plazo, seleccionar vacas con mayor potencial para la producción de leche (Costa *et al.*, 2016).

De esa forma, es necesario conocer el régimen de lluvias de la región donde se encuentra el predio ganadero y determinar los períodos de transición lluvia-período seco, puesto que en esta fase ocurre una disminución en la calidad y cantidad de forraje disponible para el pastoreo. Consecuentemente, la diferencia entre las exigencias nutricionales de las crías y la cantidad de nutrientes cubiertos por la leche y el pasto tiende a aumentar, lo que pone a la cría en un escenario desfavorable para alcanzar el equilibrio nutricional (Porto *et al.*, 2009; Martins Lemos, 2011; Cárdenas *et al.*, 2015). De manera que en los sistemas intensivos de producción de bovinos que exigen un mayor aporte nutricional se visualiza la suplementación en los animales lactantes del uso estratégico y selectivo de suplementos minerales y formulaciones proteico-energéticas en un sitio cuyo acceso es restringido solo a las terneras y los terneros (Paulino *et al.*, 2012, citado en Costa *et al.*, 2016).

Por otra parte, estudios sobre la implementación estratégica y selectiva de suplementos minerales y formulaciones proteico-energéticas (*creep feeding*) en condiciones tropicales han demostrado consistentemente un aumento en el peso corporal de las crías (terneras y terneros) al destete (ver Tabla 27), lo que evidencia la importancia del uso estratégico y selectivo de suplementos minerales y formulaciones proteico-energéticas (*creep feeding*) para disminuir la edad al sacrificio y el inicio de la actividad reproductiva de los animales criados en condiciones de pastoreo (Paulino *et al.*, 2012, citado en Costa *et al.*, 2016). Con lo anterior, la ganancia de peso adicional obtenida con la utilización de suplementos múltiples selectivos es variable. Factores como la cantidad y la calidad del pasto, la

producción de leche de las vacas, el potencial de crecimiento de las crías, la raza, el sexo, la edad de las crías al destete, el mismo tipo de suplemento y el tiempo de utilización de la suplementación múltiple y selectiva influyen el desempeño de los animales (Costa *et al.*, 2016).

Tabla 27. Resumen de resultados de investigación sobre suplementación selectiva en crías (*creep feeding*)

Estudio ¹⁶	Período experimental (d)	Sexo cría	Consumo de suplemento (g) ¹⁷	Nivel de PB suplemento (g/kg)	% de PB suplemento	GDP ¹⁸	
						SM	SUP
De Paula <i>et al.</i> (2012)	112	Macho	583	300	30 %	662	728
Valente <i>et al.</i> (2013)	112	Macho	530	150-550	15 %-55 %	608	804
Barros <i>et al.</i> (2014)	112	Hembra	500	250	25 %	687	769
Lopes <i>et al.</i> (2014)	140	Macho	900	80-410	8 %-41 %	727	880
Márquez <i>et al.</i> (2014)	150	Hembra	450	250	25 %	628	677
Cárdenas <i>et al.</i> (2015)	140	Hembra	500	80-400	8 %-40 %	619	677
Barros <i>et al.</i> (2015)	140	Macho	850	250	25 %	731	843
Lopes (2015)	140	Macho	1200	250	25 %	720	873
Almeida (2016) ¹⁹	140	Hembra	800	250	25 %	642	732
Martins (2016) ¹⁹	140	Macho	1600	250	25 %	500	900

Nota: la tabla muestra de manera resumida resultados de suplementación selectiva en crías (*creep feeding*).

Fuente: elaboración propia con base en datos de Costa *et al.* (2016).

De esta forma, obedeciendo el límite impuesto por la genética, cuanto menor es la capacidad del pasto o la leche para cubrir la demanda nutricional de las crías, mayor será la respuesta relativa al utilizar la suplementación múltiple y selectiva, viéndose reflejado positivamente en la eficiencia y en la rentabilidad de esa técnica (Costa *et al.*, 2016).

16 Datos procesados. Para acceder a datos individuales consultar las referencias.

17 Consumo promedio de suplementos de los animales suplementados.

18 GDP: ganancia diaria de peso promedio (g), SM: crías recibían solo sal mineralizada, SUP: crías recibieron suplementos múltiples selectivos (*creep feeding*).

19 Datos no publicados.

Sin embargo, es difícil recomendar el mejor nivel de suplementación (% peso vivo) y el mejor nivel de proteína bruta en el suplemento una vez que esa combinación es inversamente proporcional, de manera que cuando el objetivo es ofrecer menor cantidad de suplemento, se debe proporcionar un mayor nivel de proteína bruta. Por lo anterior, la cantidad de suplemento y el nivel de proteína en el suplemento va a depender directamente del objetivo del productor y de la ganancia de peso estimada (Costa *et al.*, 2016).

CAPÍTULO 8

SALADEROS Y COMEDEROS

Lo cierto es que los nutricionistas tienen mucho que aprender acerca de la regulación del consumo de minerales, de interacciones de los minerales en la dieta, sobre la disponibilidad de mineral de las diferentes materias primas y acerca de la capacidad de los animales para almacenar minerales en el tejido corporal (Olson, 2007).

La mayoría de los productores tienen una percepción alta sobre la capacidad que tienen los bovinos para intuir cuando la dieta tiene alguna deficiencia particular de algún mineral. El argumento de esta percepción radica en que se han observado animales consumiendo suelo o madera cuando se ha privado la oferta o se ha hallado deficiencia de algún mineral en la dieta (p. ej., pica) (Olson, 2007).

De igual modo, la evidencia de la literatura científica demuestra que la mayoría de los mamíferos exhiben una pequeña sabiduría nutricional y que los animales seleccionan una dieta palatable y de calidad pobre en preferencia a una dieta no palatable y balanceada nutricionalmente, algunas veces en momentos críticos. La palatabilidad y las consecuencias posingestivas en lugar de las demandas metabólicas son los factores que controlan la cantidad y la frecuencia del consumo de minerales en el ganado bovino (Olson, 2007).

Al parecer, la tendencia a ofrecer suplementos minerales para aumentar el apetito de los animales no considera la capacidad de estos para conservar tales elementos en los tejidos y en los fluidos. Lo anterior es una clara evidencia que soporta el proceso regulatorio del organismo para movilizar las reservas en el momento requerido,

además, las deficiencias pueden tomar un largo período hasta poder ser observadas. Igualmente, es conocido que el apetito de los animales no es un indicador de la deficiencia mineral, por lo que el subconsumo de suplementos minerales, aun bajo condiciones de libre voluntad, solo requeriría alterar la formulación para promover la palatabilidad (Olson, 2007).

Ahora bien, la suplementación mineral indirecta se refiere al incremento del contenido mineral de los alimentos con el propósito de encontrar el requerimiento mineral de los animales. El método de suplementación mineral indirecta usado con mayor frecuencia incluye el establecimiento de especies forrajeras que, en combinación con la aplicación de fertilizantes al cultivo forrajero, probablemente permita alcanzar el balance mineral para cubrir el requerimiento de los animales (McDowell, 1996).

En ese sentido, el establecimiento y mantenimiento de praderas con una base diversa de forrajes es una herramienta efectiva para maximizar el consumo de minerales de los animales a través del pastoreo. Las leguminosas tienden a tener un nivel más alto de calcio, potasio, magnesio, cobre, zinc, hierro y cobalto que las gramíneas cuando crecen en el mismo suelo. En contraste, los pastos tienden a incrementar el nivel de manganeso. Lo anterior también involucra secuestro de minerales al interior de las especies de gramíneas y leguminosas respectivamente. Por lo demás, algunos administradores de los predios pecuarios han empleado el uso de fertilizantes con el propósito de fortificar el contenido mineral de los forrajes, no obstante, e infortunadamente, esta práctica arroja resultados limitados (Olson, 2007).

Esto porque la mayoría de las especies forrajeras solo absorben del suelo la cantidad suficiente de un determinado mineral para optimizar su crecimiento (Berger, 1995, citado en Olson, 2007). En el caso del fósforo y de la mayoría de los macrominerales, la cantidad del mineral requerido para el óptimo crecimiento de la planta es significativamente menor que la cantidad requerida por los animales en pastoreo. Greene *et al.* (2000) concluyeron que los intentos por incrementar el consumo de minerales de los animales en sistemas de pastoreo a través de programas agresivos de fertilización de forrajes es un método costoso e ineficiente, de modo que es necesario implementar programas de suplementación para alcanzar los requerimientos nutricionales de los animales.

En otro orden de ideas, los métodos directos de suplementación mineral incluyen la adición de minerales en el agua de bebida o en el suplemento, inyección parenteral, utilización de bolos intraruminales y suplementación a voluntad en sitios de consumo (comederos y saladeros (ver anexos) (Olson, 2007).

Con relación a la suplementación a voluntad, el consumo es reducido y el requerimiento de mano de obra es menor, además de que el costo de la labor adicional también es relativamente menor (Olson, 2007). El método extensamente

usado para ofrecer minerales a los animales es a través de suplementos a voluntad (Green, 2000). Por otro lado, para estimular el óptimo consumo y el uso de suplementos minerales a voluntad, estos deben estar posicionados adecuadamente cerca de las áreas o al avance del pastoreo. Es necesario, entonces, disponer de un comedero o saladero por cada 25 a 50 animales en consideración al peso vivo y a la etapa o fase de crecimiento (MacPherson, 2000, citado en Olson, 2007). El diseño y los modelos de comederos y saladeros se pueden visualizar en la lista de anexos.

CAPÍTULO 9

NORMATIVIDAD INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO (ICA)

9.1 Directivas técnicas de alimentos para animales y sales mineralizadas (Instituto Colombiano Agropecuario [ICA], 1999)

La producción de sales mineralizadas en Colombia está regulada por el ICA bajo la norma *Directivas técnicas de alimentos para animales y sales mineralizadas*, la cual establece lo siguiente:

Bogotá, mayo de 2001

DIRIGIDO A: Productores e importadores de sales mineralizadas.

OBJETIVO: Establecer los niveles de tolerancia de la composición garantizada para los macroelementos y microelementos en las sales mineralizadas.

DEFINICIONES:

Sal mineralizada: Mezcla formada por cloruro de sodio, calcio y fósforo, con adición de otros macroelementos y microelementos.

Macroelementos: Componen este grupo, elementos minerales indispensables en la alimentación animal, tales como: cloro, sodio, calcio, fósforo, magnesio, potasio y azufre.

Microelementos: Componen este grupo, elementos minerales indispensables en la alimentación animal en pequeñas cantidades, tales como: hierro, zinc, yodo, manganeso, cobalto, molibdeno, selenio, cobre y cromo.

Productor: Toda persona natural o jurídica que contando con una planta de producción se dedique a la elaboración de sales mineralizadas cumpliendo con todos los requisitos exigidos por la División de Insumos Pecuarios del ICA.

Tolerancia: Nivel de variación aceptado para un parámetro medido en una sal mineralizada.

ANTECEDENTES: Concertación con los industriales de la ANDI.

Resolución No. 1056 del INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO ICA. Abril de 1996.

NORMAS: Se establecen las siguientes tolerancias para la composición garantizada en las sales mineralizadas. (Instituto Colombiano Agropecuario [ICA], 2001, p. 6)

Figura 3. Tolerancias para la composición garantizada en las sales mineralizadas

	SALES MINERALIZADAS COMPOSICIÓN GARANTIZADA "TOLERANCIAS"	DIP-30-100-004
		Página 2 de 2
PARAMETRO	TOLERANCIA	
FÓSFORO	Máximo hasta un 10% por debajo del porcentaje garantizado	
CALCIO	Máximo hasta un 10% por debajo del porcentaje garantizado	
CLORURO DE SODIO	Máximo hasta un 5% por debajo del porcentaje garantizado	
OTROS MACROELEMENTOS Y MICROELEMENTOS	Máximo hasta un 20% por debajo del porcentaje garantizado	
RELACIÓN FLUOR - FÓSFORO	Máximo una parte por millón de flúor por cada de 100 partes por millón de fósforo	
HUMEDAD	Máximo 5%	

Nota: la imagen muestra la tolerancia garantizada de las sales minerales.

Fuente: ICA (2001).

9.2 Resolución No. 00991 del 1 de junio de 2001

Por medio de la cual se prohíbe el uso de harinas de carne, de sangre, de hueso (vaporizadas), de carne y hueso y de despojos de mamíferos para la alimentación de rumiantes.

CONSIDERANDO

Que es responsabilidad del Instituto Colombiano Agropecuario ICA proteger la sanidad agropecuaria del país a fin de prevenir la introducción y propagación de enfermedades que puedan afectar la ganadería nacional y ejercer el control técnico de los insumos pecuarios que se importen, exporten, produzcan, comercialicen y utilicen en el territorio nacional, a fin de minimizar los riesgos para la salud humana, la sanidad animal y el medio ambiente.

Que la Encefalopatía Espongiforme Bovina - EEB no ha sido registrada hasta la fecha en Colombia, por lo tanto, es catalogada como una enfermedad exótica en el territorio nacional.

Que las harinas de carne, de sangre, de hueso vaporizadas, de carne y hueso y de despojos de mamíferos son ingredientes proteicos utilizados en la elaboración de alimentos balanceados y suplementos para la alimentación de rumiantes.

Que a nivel internacional existen evidencias de que las harinas de carne, de sangre, de hueso vaporizadas, de carne y hueso y de despojos de mamíferos utilizadas en la alimentación de rumiantes, son material de riesgo para la transmisión de la EEB.

Que la Organización Mundial de la Salud OMS, la Oficina Internacional de Epizootias OIE, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO, recomiendan prohibir el uso de las harinas de carne, de sangre, de hueso vaporizadas de carne y hueso y de despojos de mamíferos en la alimentación de rumiantes dentro de las estrategias para prevención de la EE3.

Que las harinas de carne, de sangre, de hueso vaporizadas, de carne y hueso y despojos de mamíferos pueden ser sustituidas por otras materias primas para la formulación de alimentos balanceados y suplementos para la alimentación de rumiantes.

Que las harinas de hueso calcinadas o también denominadas cenizas de hueso obtenidas mediante el método de calcinación elimina la posibilidad que las mismas presenten proteínas y por lo tanto, no constituyen riesgo para la transmisión de la Encefalopatía Espongiforme Bovina, EEB.

Que es necesario que el ICA tome las medidas preventivas necesarias para minimizar los posibles riesgos de ingreso y transmisión de la EEB.

RESUELVE

ARTÍCULO PRIMERO: Prohibir el uso de harinas de carne, de sangre, de hueso vaporizadas, de carne y hueso y de despojos de mamíferos nacionales o importadas, en la formulación de alimentos, sales mineralizadas para rumiantes y en la elaboración de abonos o fertilizantes.

PARÁGRAFO: Los productores comerciales y para autoconsumo de alimentos y suplementos para animales deben establecer las siguientes medidas para prevenir la contaminación cruzada:

a. Aplicar y mantener documentadas las medidas de limpieza y desinfección establecidas en el manual para Buenas Prácticas de Fabricación de Alimentos (BPFA), antes de la elaboración de cualquier lote de alimentos y suplementos con destino a rumiantes.

b. Almacenar en forma separada las harinas de carne, de sangre, de hueso vaporizadas, de carne y hueso y de despojos de mamíferos, así como los alimentos que las contengan, de cualquier otra materia prima y de los alimentos y suplementos con destino a rumiantes.

c. No reutilizar empaques que hayan contenido harinas de carne, de sangre, de hueso vaporizadas de carne y hueso y de despojos de mamíferos. ni de alimentos que las contengan.

d. Mantener documentados los procedimientos para producción, almacenamiento y distribución de las harinas de carne, de sangre, de hueso vaporizadas, de carne y hueso y de despojos de mamíferos, así como de los alimentos que las contengan, por lo menos durante ocho años.

e. Mantener registros de recepción, procesamiento y uso de las harinas de carne, de sangre, de hueso vaporizadas, de carne y hueso y de despojos de mamíferos, así como de los alimentos que las contengan, por lo menos durante ocho años.

f. Las demás medidas que el ICA considere necesarias, para prevenir la contaminación cruzada.

ARTÍCULO SEGUNDO: Los productores comerciales y para autoconsumo que utilicen cenizas de hueso calcinadas para la fabricación de alimentos y sales mineralizadas para rumiantes, además de cumplir con lo establecido en el Parágrafo del Artículo anterior, deben mantener y suministrar la siguiente información y documentos:

a. Nombre del proveedor

b. Volumen de compra

c. Procedencia del hueso

d. Presentar resultado de análisis que demuestre que las cenizas de hueso no contienen proteína.

ARTÍCULO TERCERO: Las harinas de carne, de sangre, de hueso vaporizadas, de carne y hueso y de despojos de mamíferos que se importen deben proceder de países libres de la Encefalopatía Espongiforme Bovina, EEB y que adicionalmente demuestren esa condición con base en las directrices establecidas por la OIE.

PARÁGRAFO PRIMERO: El país de origen deberá demostrar la existencia y funcionamiento de un sistema continuo de vigilancia, específico para la EEB establecido oficialmente. Igualmente deberá contar con la prohibición de importación de bovinos y sus productos de países afectados.

PARÁGRAFO SEGUNDO: En cualquier caso, el ICA evaluará la situación del país de origen con respecto a la EEB. (ICA, 2001, pp. 7-9).



EPÍLOGO

Los requerimientos de minerales y suplementos para vacunos en pastoreo en los países tropicales cuyas características medioambientales son tan variables, toman gran importancia al momento de realizar la formulación de dietas que brindan los macro y los microminerales.

Así, la suplementación de minerales tiene como fin contribuir a la nivelación de nutrientes para mejorar el desempeño zootécnico, así como la calidad de carne y la leche del individuo, por consiguiente, la formulación de dietas y suplementos resulta ser un factor inherente para la disponibilidad de los minerales y las exigencias nutricionales del animal, en las que, por lo demás, se debe considerar la oferta y el consumo de los distintos forrajes que consolidan las materias primas de las dietas que brindan una mezcla de minerales en cantidades suficientes para que al momento de ser consumidas el animal las absorba y retenga.

Por último, la prescripción de minerales y suplementos de bovinos en pastoreo aporta a la estabilidad de la dieta de acuerdo con la especie rumiante por tratar, lo que mejora la tasa de crecimiento y la producción de leche. En ese sentido, se recomienda implementar dicha suplementación por medio de métodos directos a través de la adición de minerales en el agua de bebida o en el suplemento, inyección parenteral, utilización de bolos intraruminales y suplementación a voluntad en sitios de consumo.



GLOSARIO



Buenas Prácticas de Fabricación de Alimentos (BPFA): documento base de todos los procedimientos para seguir en la elaboración de insumos alimenticios.

Ectoparásito: patógeno que generalmente infecta solo las capas superficiales de la piel.

Hato lechero: se refiere a una porción de rumiantes (vacas, ovejas y cabras) o a las fincas destinadas a la crianza de estos animales para la producción de leche.

Hipomagnesemia: es un trastorno electrolítico, una enfermedad metabólica típica de los rumiantes en la cual se presenta un nivel bajo de magnesio en la sangre, pero es especialmente importante en la vaca lechera durante los primeros 150 días de lactancia (Schroeder, 1993 citado en Machado, 2010).

ICA: Instituto Colombiano Agropecuario.

Macroelementos: componen este grupo elementos minerales indispensables en la alimentación animal tales como cloro, sodio, calcio, fósforo, magnesio, potasio y azufre.

Microelementos: componen este grupo elementos minerales indispensables en la alimentación animal en pequeñas cantidades tales como hierro, zinc, yodo, manganeso, cobalto, molibdeno, selenio, cobre y cromo.

Productor: toda persona natural o jurídica que, contando con una planta de producción, se dedique a la elaboración de sales mineralizadas cumpliendo con todos los requisitos exigidos por la División de Insumos Pecuarios del ICA.

Sal mineralizada: mezcla formada por cloruro de sodio, calcio y fósforo con adición de otros macroelementos y microelementos.

Tolerancia: nivel de variación aceptado para un parámetro medido en una sal mineralizada.

REFERENCIAS

- AG Chemi Group s.r.o. (2020). *Monocalcium Phosphate monohydrate Feed Grade*. AG Chemi Group s.r.o. <https://www.agchemigroup.eu/storage/app/uploads/public/598/098/0ea/5980980eafae2756018689.pdf>
- Albornoz, L., Albornoz, J.P., Morales, M., y Fidalgo, L.E. (2016). Hipocalcemia Puerperal Bovina. Revisión. *Veterinaria (Montevideo)*, 52(201), 28-31. <http://www.scielo.edu.uy/pdf/vet/v52n201/v52n201a04.pdf>
- Arthington, J.D., Moriel, P., Martins, P.G.M.A., Lamb, G.C. y Havenga, L.J. (2014). Effects of trace mineral injections on measures of performance and trace mineral status of pre- and postweaned beef calves. *Journal of Animal Science*, 92(6), 2630-2640. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-7164>
- Babulal, B., Garg, M., Goswami, A., Tandon, M. y Shankpal, S. (2016). Chromium-A New Essential Trace Mineral for Dairy Animals: A Review. *Livestock Research International*, 3, 94-103. https://www.researchgate.net/publication/316972412_Chromium-A_New_Essential_Trace_Mineral_for_Dairy_Animals_A_Review/citations
- Bikker, P., Spek, J.W., Van Emous, R.A. y Van Krimpen, M.M. (2016). Precaecal phosphorus digestibility of inorganic phosphate sources in male broilers. *British Poultry Science*, 57(6), 810-817. <https://doi.org/10.1080/00071668.2016.1222604>
- Caldera, E., Weigel, B., Kucharczyk, V.N., Sellins, K.S., Archibeque, S.L., Wagner, J.J. y Engle, T.E. (2019). Trace mineral source influences ruminal distribution

- of copper and zinc and their binding strength to ruminal digesta. *Journal of Animal Science*, 97(4), 1852-1864. <https://doi:10.1093/jas/skz072>
- Cárdenas, J., Maza, A. y Cardona, J. (2015). Comportamiento productivo de terneros lactantes suplementados con maíz más torta de algodón en el departamento de Córdoba, Colombia. *Revista Colombiana de Ciencia Animal RECIA*, 7(2), 171-178. <https://revistas.unisucre.edu.co/index.php/recia/article/download/261/302/>
- Coon, C.N., Seo, S. y Manangi, M.K. (2007). The determination of retainable phosphorus, relative biological availability, and relative biological value of phosphorus sources for broilers. *Poultry Science*, 86(5), 857-868. <https://doi.org/10.1093/ps/86.5.857>
- Corah, L. (1996). Trace mineral requirements of grazing cattle. *Animal Feed Science and Technology*, 59(1-3), 61-70. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(95\)00887-X](https://doi.org/10.1016/0377-8401(95)00887-X)
- Correa, H., Pabón, M. y Carulla, J. (2011). *Efecto del manejo del pastoreo y la suplementación alimenticia en vacas lactantes de sistemas especializados sobre su metabolismo energético y proteico y el contenido de proteína en la leche* [Tesis de doctorado en Ciencias de la producción animal]. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/8605/hectorjairocorreacardona.2011.parte1.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Costa, L.F., Silva Filho, S.D.C.V., Rotta, P.P., Inácio, M., Marcondes, D.Z., Gionbelli, M.P. y Paulino, M.F. (2016). Exigências de minerais para bovinos de corte. En S.C. Valadares Filho *et al.* (eds.), *Cálculo de exigências nutricionais, formulação de dietas e predição de desempenho de zebuínos puros e cruzados*. BR-Corte.
- Costa, N.A. (1983). *Uso de enxofre no controle de carrapato (Boophilus microplus) em bovinos*. Embrapa Amazônia Oriental. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/57828/1/CPATU-PA95.pdf>
- CRU Consulting. (4 de diciembre de 2018). *Roca fosfórica. Caracterización y análisis de mercado internacional de minerales en el corto, mediano y largo plazo con vigencia al año 2035*. CRU Consulting. http://www1.upme.gov.co/simco/Cifras-Sectoriales/Datos/mercado-inter/Producto2_Roca_fosf_FINAL_12DIC2018.pdf
- Dayrell, M.S. y Ivan, M. (1989). True absorption of phosphorus in sheep fed corn silage and corn silage supplemented with dicalcium or rock phosphate. *Canadian Journal of Animal Science*, 69, 181-186. <https://www.nrcresearchpress.com/doi/pdfplus/10.4141/cjas89-021>
- DeGaris, P.J. y Lean, I.J. (2008). Milk fever in dairy cows: A review of pathophysiology and control principles. *The Veterinary Journal*, 176(1), 58-69. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tvjl.2007.12.029>
- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos [USDA]. (2017). *Sulfur Livestock*. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos [USDA]. <https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/SulfurLivestockTR.pdf>

- Esposito, G., Irons, P.C., Webb, E.C. y Chapwanya, A. (2014). Interactions between negative energy balance, metabolic diseases, uterine health and immune response in transition dairy cows. *Animal Reproduction Science*, 144(3-4), 60-71. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2013.11.007>
- Fulkerson, W.J., Lowe, K.F. y Hume, D.E. (2017). Forages and Pastures: Perennial Forage and Pasture Crops—Establishment and Maintenance. *Reference Module in Food Science*, 586-593. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081005965218520?via%3Dihub>
- Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal [FEDNA]. (s.f). *Ingredientes para piensos. Fuentes de fósforo*. FEDNA. http://www.fundacionfedna.org/ingredientes_para_pensos/fuentes-de-f%C3%B3sforo
- García, K. (2015). *Suplementación mineral y vitamínica de vacas lecheras en trópico durante el período de transición: efecto sobre perfil metabólico, lácteo, hormonal y resistencia insulínica* [Tesis de maestría en Ciencias Agrarias]. Universidad Nacional de Colombia.
- Garmendia, J. (2006). *Los minerales en la reproducción bovina*. Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad Central de Venezuela. <https://docplayer.es/21864572-Los-minerales-en-la-reproduccion-bovina-julio-garmendia-facultad-de-ciencias-veterinarias-universidad-central-de-venezuela-maracay.html>
- Gillis, M.B., Norris, L.C. y Heuser, G.F. (1954). Studies on the Biological Value of Inorganic Phosphates. *The Journal of Nutrition*, 52(1), 115–125. <https://doi:10.1093/jn/52.1.115>
- Global Feed. (2018a). Fosfato monocálcico. https://www.globalfeed.es/images/fichas/2019/MCP_GF_grano_esp.pdf
- Global Feed. (2018b). Fosfato bicálcico. Global Feed. https://www.globalfeed.es/images/fichas/2019-11/DCP/FT_DCP_es.pdf
- Global Feed. (2018c). SOCALPHOS. Global Feed. <https://www.globalfeed.es/images/fichas/2019-11/SOCALPHOS/FTSocalphos.pdf>
- Global Feed. (2018d). *Ficha de datos de seguridad, fosfato bicálcico*. Global Feed. https://www.globalfeed.es/images/fichas/2019-11/DCP/FDS_DCP_ES.pdf
- Global Feed. (2018e). *Ficha de datos de seguridad, fosfato cálcico-sódico*. Global Feed. https://www.globalfeed.es/images/fichas/2019-11/SOCALPHOS/FDS_Socalphos_ES.pdf
- Goff, J.P. (2008). The monitoring, prevention, and treatment of milk fever and subclinical hypocalcemia in dairy cows. *The veterinary journal*, 176(1), 50-57. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tvjl.2007.12.020>
- Green, R.D., Field, T.G., Hammett, N.S., Ripley, B.M. y Doyle, S.P. (2000). Can cow adaptability and carcass acceptability both be achieved? *Journal of Animal Science*, 77(1), 1-17. <https://doi:10.2527/jas2000.00218812007700es0046x>

- Guizhou Zerophos Chemical Co. Ltda. (2020a). *Dicalcium Phosphate Feed Grade*. Guizhou Zerophos Chemical Co. Ltda. <http://www.zerophos.com/feed-additives/17-dicalcium-phosphate-feed-grade.html>
- Guizhou Zerophos Chemical Co. Ltda. (2020b). *Monocalcium Phosphate Feed Grade*. Guizhou Zerophos Chemical Co. Ltda. <http://www.zerophos.com/feed-additives/17-dicalcium-phosphate-feed-grade.html>
- Guizhou Zerophos Chemical Co. Ltda. (2020c). *Monodicalcium Phosphate Feed Grade*. Guizhou Zerophos Chemical Co. Ltda. <http://www.zerophos.com/feed-additives/17-dicalcium-phosphate-feed-grade.html>
- Guizhou Zerophos Chemical Co. Ltda. (2020d). *Tricalcium Phosphate*. Guizhou Zerophos Chemical Co. Ltda. <http://www.zerophos.com/feed-additives/17-dicalcium-phosphate-feed-grade.html>
- Hendriks, S.J. y Laven, R.A. (2020). Selenium requirements in grazing dairy cows: A review. *New Zealand Veterinary Journal*, 68(1), 13-22. <https://10.1080/00480169.2019.1673256>
- Inorganic Feed Phosphates [IFP]. (2020). Website. <https://www.feedphosphates.org/index.php>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (2016). *Proporción del área de suelos degradados por salinización*. IDEAM. <http://www.ideam.gov.co/documents/11769/48213633/5.02+HM+Proporcion+suelos+salinizacion.pdf/0fda512c-3e0f-4064-89cf-80836cb4ac92>
- Instituto Nacional de Investigación sobre Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente de Francia [INRAE]. (2020). *INRAE-CIRAD-AFZ Feed Tables. Dicalcium phosphate dihydrate*. <https://feedtables.com/content/dicalcium-phosphate-dihydrate>
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (1999). *Directivas de alimentos y sales mineralizadas para animales*. ICA. <https://www.ica.gov.co/getdoc/7d27ee5e-cfe4-47a2-868e-7c53f4e49473/directivastecnicasalimentosanimales.aspx>
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2001). *Resolución N°. 00991 del 1 de junio de 2001*. ICA. <https://www.ica.gov.co/getattachment/b4470e63-f79a-4dca-8490-5a161d77caa0/991.aspx>
- Lamp, A.E., Mereu, A., Ruiz-Ascacibar, I. y Moritz, J.S. (2020). Inorganic feed phosphate type determines mineral digestibility, broiler performance, and bone mineralization. *Journal of Applied Poultry Research*, 29(3), 559-572. <https://doi.org/10.1016/j.japr.2020.03.003>
- Lianyungang debang fine chemical Co. Ltda. (2015a). *Tricalcium Phosphate (Food grade)*. Lianyungang debang fine chemical Co. Ltda. http://www.dbfine.com.cn/product_detail_en/id/4.html

- Lianyungang debang fine chemical Co. Ltda. (2015b). *Dicalcium Phosphate (Food grade)*. Lianyungang debang fine chemical Co. Ltda. http://www.dbfine.com.cn/product_detail_en/id/1.html
- Lima, F.R., Mendonça Jr, C.X., Álvarez, J.C., Ratti, G., Lenharo, S.L.R., Kahn, H. y Garzillo, J.M.F. (1995). Chemical and physical evaluations of commercial dicalcium phosphates as sources of phosphorus in animal nutrition. *Poultry Science*, 74(10), 1659-1670. <https://doi.org/10.3382/ps.0741659>
- Lofgreen, G.P. (1960). The Availability of the Phosphorus in Dicalcium Phosphate, Bonemeal, Soft Phosphate and Calcium Phytate for Mature Wethers. *The Journal of Nutrition*, 70(1), 58-62. <https://doi:10.1093/jn/70.1.58>
- Martins Lemos, B.J. (2011). *Suplementação de rebanhos de cria e recria de bovinos de corte em pastejo* [Tesis de maestría en Ciencia Animal]. Universidade Federal de Goiás. https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/67/o/semi2011_Barbara_Juliana_2c.pdf
- McDowell, L.R. (1996). Feeding minerals to cattle on pasture. *Animal Feed Science and Technology*, 60(3-4), 247-271. [https://doi:10.1016/0377-8401\(96\)00983-2](https://doi:10.1016/0377-8401(96)00983-2)
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Asuntos Rurales de Canadá. (2016). *Dry and Close-Up Transition Cow Mineral and Vitamin Nutrition*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Asuntos Rurales de Canadá. http://www.omafra.gov.on.ca/english/livestock/dairy/facts/info_mineral.htm
- Monómeros Colombo Venezolanos S.A. (2008a). *Tricalfos*. Monómeros Colombo Venezolanos S.A. <http://www.monmeros.com/descargas/fotricalfos.pdf>
- Monómeros Colombo Venezolanos S.A. (2008b). *Hoja de Datos de Seguridad del Material*. Monómeros Colombo Venezolanos S.A. <http://www.monmeros.com/descargas/hstricalfos.pdf>
- Mosaic®. (2020). *Biofos®*. <https://www.knowde.com/stores/mosaic/products/biofos/>
- National Research Council [NRC]. (2000). *Nutrient Requirements of Beef Cattle* (Séptima edición). National Research Council [NRC]. https://www.nap.edu/login.php?record_id=9791&page=https%3A%2F%2Fwww.nap.edu%2Fdownload%2F9791
- National Research Council [NRC]. (2001). *Nutrient requirements of dairy cattle* (Séptima edición). National Research Council [NRC]. https://www.nap.edu/login.php?record_id=9825&page=https%3A%2F%2Fwww.nap.edu%2Fdownload%2F9825
- Nutrien Ltda. (2019a). *Fosfato bicálcico*. Nutrien Ltda. https://nutrien-prod-asset.s3.us-east-2.amazonaws.com/s3fs-public/products/datasheet/FEED_DCP%20SP_JopMarWW_Oct172019.pdf
- Nutrien Ltda. (2019b). *Fosfato monocálcico/Monodicalcium*. Nutrien Ltda. https://nutrien-prod-asset.s3.us-east-2.amazonaws.com/s3fs-public/products/datasheet/FEED_MCP%20MDCP%20SP_JopMarWW_Oct172019.pdf

- Nutrien Ltda. (2019c). *Ficha de datos de seguridad fosfato dicálcico (18,5 % P)*. Nutrien Ltda. <https://www.nutrien.com/sites/default/files/2019-10/SDS%20205%20-%20Dicalcium%20Phosphate%20%2818%2C5%20P%29%20DCP-US-ES-v2.PDF>
- Nutrien Ltda. (2019d). *Ficha de datos de seguridad fosfato monocálcico (21-22,3 % P)*. Nutrien Ltda. <https://www.nutrien.com/sites/default/files/2020-01/SDS%20207%20-%20Monocalcium%20Phosphate%20%2821-22%2C3P%29%20MCP-ES-v2.1.pdf>
- Nutrien Ltda. (2019e). *Ficha de datos de seguridad fosfato bicálcico (18.5 % P)*. Nutrien Ltda. https://nutrien-prod-asset.s3.us-east-2.amazonaws.com/s3fs-public/products/datasheet/FEED_DCP%20SP_JopMarWW_Oct172019.pdf
- Olson, K.C. (2007). Management of mineral supplementation programs for cow-calf operations. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 23(1), 69-90. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2006.11.005>
- Osorio-Arce, M.M. y Segura-Correa, J.C. (2011). Sustentabilidad de los sistemas de producción bovina en el trópico: mejoramiento genético. *Livestock Research for Rural Development*, 23(180). <http://www.lrrd.org/lrrd23/8/osor23180.htm>
- Paternina Durango, E.M., Maza Angulo, L.A., Medina Ríos, H., Simanca Sotelo, J.C. y Vergara Garay, O.D. (2015). Evaluación de la flor de azufre en sales mineralizadas como repelente de ectoparásitos (moscas y garrapatas) en bovinos mestizos *Bos taurus* x *Bos indicus*. *Livestock Research for Rural Development*, 27, 8. <http://www.lrrd.org/lrrd27/8/pate27157.html>
- Peeler, H.T. (1972). Biological Availability of Nutrients in Feeds: Availability of Major Mineral Ions. *Journal of Animal Science*, 35(3), 695-712. <https://doi.org/10.2527/jas1972.353695x>
- Phosphea. (2020). *Lo mejor en fosfatos alimenticios*. Phosphea. <https://phosphea.com/es/nuestros-productos/>
- Porto, M.O., Paulino, M.F., Valadares Filho, S.D.C., Detmann, E., Sales, M.F.L. y Couto, V.R.M. (2009). Fontes de energia em suplementos múltiplos para bezerros Nelore em creep-feeding: desempenho produtivo, consumo e digestibilidade dos nutrientes. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38, 1329-1339. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009000700024>
- Productos Químicos Panamericanos S.A. (2017). *Ficha técnica FOSBICAL*. Productos Químicos Panamericanos S.A. <https://www.pqp.com.co/wp-content/uploads/2020/02/FT-CC-29-Fosbical-18-y-21.pdf>
- Productos Químicos Panamericanos S.A. (2018). *Hoja de seguridad del FOSBICAL 18 y 21*. Productos Químicos Panamericanos S.A. <https://www.pqp.com.co/wp-content/uploads/2020/02/HS-CC-54-Fosbical-18-y-21.pdf>

- Quimpac de Colombia S.A. (2020a). *Fosfato bicálcico*. Quimpac de Colombia S.A. https://www.quimpac.com.co/images/portal/certificaciones/msds_fosfato%20bicalcico.pdf
- Quimpac de Colombia S.A. (2020b). *Fosfato bicálcico*. Quimpac de Colombia S.A. https://www.quimpac.com.co/images/portal/certificaciones/msds_fosfato%20bicalcico.pdf
- Rendón, J.G., Del Campo, M. y Tous, M.G. (2019). Algunas anotaciones sobre la importancia del cobre en la reproducción bovina. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 11(1), 1-10. <https://doi.org/10.24188/recia.v11.n1.2019.716>
- Rincón Castillo, A. (2011). Efecto del potasio sobre la producción y calidad de forraje de *Brachiaria decumbens* Stapf en el piedemonte de los Llanos Orientales de Colombia. *Acta Agronómica*, 60(3), 285-291. https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/28824/29123
- Silva, J.S., Zanetti, M.A., Carvalho, R.S.B., Macedo, S.N., Calviello, R.F., Santana, R.S.S. y Barreto, R.S.N. (2017). Efeito da suplementação parenteral extra de cobre e zinco sobre a resposta imunológica de vacas Nelore. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 69(4), 870-876. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-9237>
- Souza, E., Almeida de Santana, H., Oliveira, E., Carvalho, A., Dos Santos, M., Fernandes de Oliveira, Z., Borges, C. y Martins de Brito, J. (2014). Reguladores de consumo de bovinos em pastagem: recentes avanços. *Revista Eletrônica Nutritime*, 11(5), 3672-3682. <https://www.nutritime.com.br/site/artigo-271-reguladores-de-consumo-de-bovinos-em-pastagem-recentes-avancos/>
- Spears, J.W. y Kegley, E.B. (2002). Effect of zinc source (zinc oxide vs zinc proteinate) and level on performance, carcass characteristics, and immune response of growing and finishing steers. *Journal of Animal science*, 80(10), 2747-2752. <https://doi.org/10.1093/ansci/80.10.2747>
- Suttle, N.F. (2010). *Mineral nutrition of livestock* (Cuarta edición). CABI Publishing. http://www.ucv.ve/fileadmin/user_upload/facultad_agronomia/Produccion_Animal/Minerals_in_Animal_Nutrition.pdf
- Sykes, A. (1993). Hipomagnesemia en bovinos. *Primeras Jornadas Chilenas de Buiatría*, 117-148.
- Unión Europea. (2001). *Reglamento (CE) N°. 999 del 22 de mayo de 2001 por el que se establecen disposiciones para la prevención, el control y la erradicación de determinadas encefalopatías espongiformes transmisibles*. Parlamento de la Unión Europea. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?qid=1456745645114&uri=CELEX:02001R0999-20160203>

- Van Harn, J., Spek, J.W., Van Vuure, C.A. y Van Krimpen, M.M. (2017). Determination of pre-cecal phosphorus digestibility of inorganic phosphates and bone meal products in broilers. *Poultry Science*, 96(5), 1334-1340. <https://doi:10.3382/ps/pew458>
- Weiss, B. (16 de Agosto de 2019). *Update on Trace Mineral Requirements for Dairy Cattle*. DAIREXNET. <https://dairy-cattle.extension.org/update-on-trace-mineral-requirements-for-dairy-cattle/>

ANEXOS

Anexo A: saladeros y comederos



Saladero fijo material madera con techo en metal.



Saladero fijo empleando material llanta (rueda de caucho), soporte en madera y descubierto.



Saladero móvil empleando material madera y descubierto.



Saladero móvil empleando material plástico (corte longitudinal de caneca o estaño) sin cubierta.



Saladero móvil empleando material plástico (corte longitudinal de caneca o estaño) con cubierta.

REQUERIMIENTOS DE MINERALES Y SUPLEMENTACIÓN PARA VACUNOS EN PASTOREO

La variación en el consumo de suplementos por parte de los animales debe incorporar estrategias de cuantificación, monitoreo y evaluación del desempeño zootécnico, donde los objetivos fundamentales de productividad del agrogocio deben estrechar la brecha entre el bienestar laboral, el bienestar animal, la satisfacción del consumidor final y la tranquilidad de los acreedores.

Es importante que la formulación de dietas y suplementos de macrominerales y microminerales (minerales o elementos traza) considere la oferta y el consumo de forraje, el contenido de minerales del forraje, el requerimiento de los animales y el nivel dietario de las materias primas disponibles, con el objetivo de ajustar los requerimientos como normalmente se realiza con otros nutrientes como la energía y la proteína.

La vigencia del texto construido va dirigido a estudiantes de pregrado y profesionales en Zootecnia, Medicina Veterinaria y Zootecnia, Medicina Veterinaria, Ingeniería Agropecuaria, Administración de Empresas Agropecuarias, Ingeniería Agronómica, Agronomía, Biología y áreas vinculadas a la producción agropecuaria.

Incluye

- ▶ Descripción de los principales elementos minerales que intervienen sobre el desempeño zootécnico.
- ▶ Análisis específico de los requerimientos minerales en las diferentes etapas fisiológicas.
- ▶ Principales materias primas de origen mineral y oferta comercial, utilizadas para el diseño y elaboración de suplementos minerales.
- ▶ Acercamiento a la normatividad regulatoria establecida para la elaboración de suplementos nutricionales para animales en Colombia.

Carlos Andrés Pérez-Buevas

Magíster en Gestión de la Producción Animal del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, (Medellín, Antioquia) y profesional en Zootecnia de la Universidad de Antioquia.

Naudin Alejandro Hurtado-Lugo

Posdoctor en Zootecnia, posdoctor en Genética y Mejoramiento Animal, doctor en Zootecnia y magíster en Mejoramiento Genético Animal de la Universidad Estadual Paulista Brasil. Zootecnista de la Universidad de Antioquia.



Universidad Francisco
de Paula Santander
Ocaña - Colombia
Vigilada Mineducación



Grupo de Investigación en Innovación para la Sostenibilidad,
Manejo y Territorialidad en Agroecología



ISBN 978-958-503-469-3



e-ISBN 978-958-503-470-9