

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS MÉDICO VETERINARIAS



Manejo del suplemento mineral en un establo lechero.

Por:

GUMARO ESAÚ ROSAS GONZÁLEZ

MONOGRAFIA

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Torreón, Coahuila, México
Septiembre 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS MÉDICO VETERINARIAS

Manejo del suplemento mineral en un establo lechero.

Por:

GUMARO ESAÚ ROSAS GONZÁLEZ

MONOGRAFIA

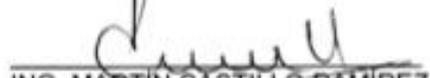
Que se somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial para obtener el título de:

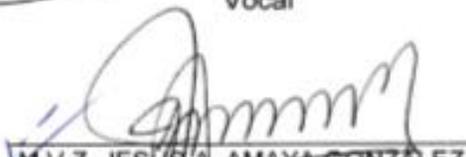
MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Aprobada por:


MVZ. RODRIGO I. SIMÓN ALONSO
Presidente


M.C. JOSÉ LUIS PCO. SANDOVAL ELÍAS
Vocal


ING. MARTÍN CASTILLO RAMÍREZ
Vocal


M.V.Z. JESÚS A. AMAYA GONZÁLEZ
Vocal suplente


MC. J. GUADALUPE RODRÍGUEZ MARTÍNEZ
Coordinador de la División Regional de Ciencia Animal



Torreón, Coahuila, México
Septiembre 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS MÉDICO VETERINARIAS

Manejo del suplemento mineral en un estable lechero.

Por:

GUMARO ESAÚ ROSAS GONZÁLEZ

MONOGRAFIA

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Aprobada por el Comité de Asesoría:

M.V.Z. RODRIGO I. SIMÓN ALONSO
Asesor Principal

M.C. JOSÉ LUIS FCO. SANDOVAL ELÍAS
Coasesor

ING. MARTÍN CASTILLO RAMÍREZ
Coasesor

MC. J. GUADALUPE RODRÍGUEZ MARÍN
Coordinador de la División Regional de Ciencias Médicas



Torreón, Coahuila, México
Septiembre 2019

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, Gumaro Rosas de Anda e Imelda Leonor González Mendoza los cuales siempre me apoyaron tanto económicamente como emocionalmente a continuar mis estudios y echarle ganas a la escuela.

A mi familia, mis hermanos Samuel, Yuridia, Oscar y Pamela a mis tíos Manuel, Lucia, a mis primos Víctor, Pamela, Axl, María y a todos los demás por darme su apoyo incondicional.

A mi pareja, Patricia Monserrat Diaz López por su apoyo y confianza en los 7 años que hemos estado juntos.

A la UAAAN UL, porque estos 5 años que permanecí en esta gran institución logre hacer muy buenos amigos y colegas, aparte de que la universidad me brindo todo desde alimento (comedor) hasta un apoyo económico por mi desempeño académico (beca) y enseñanzas por parte de todos los docentes desde académicas como de vida y por lo cual estoy muy agradecido.

A mi asesor el MVZ Rodrigo Simón Alonso, el cual me arropo y me guio por buen camino para finalizar con mi proyecto de monografía además de que me dio clases y de el aprendí mucha de la teoría con la que me desarrollo y desarrollare profesionalmente en el ámbito laboral.

Al jurado examinador, asesores y profesores de mi universidad, sin los cuales todo esto no sería posible, ya que con sus enseñanzas logre llegar hasta el final de esta hermosa y humilde profesión.

DEDICATORIAS

A mis padres, Gumaro Rosas De Anda e Imelda Leonor González Mendoza porque ellos me dieron la vida y me apoyan en cada paso que doy.

A mi familia, con los cuales no sería posible todo lo poco o mucho que he logrado en mi vida y que con ellos a mi lado la vida es más fácil y alegre.

A mi novia, Patricia Monserrat Díaz López que a través de estos 8 años siempre ha me ha acompañado en las buenas y en las malas.

A mis amigos, a los de antaño y a los que hice en la universidad porque siempre fui feliz a su lado y recibí su apoyo durante toda mi estancia en la escuela.

A el señor y señora, Raúl Díaz Ramírez y María López Aguilar, padres de mi novia los cuales me han dado su apoyo desde hace 7 años.

Y en especial a mi hijo Isaac, el cual llego para alegrarme la vida y por el que me esfuerzo día a día para cumplirle y darle lo mejor.

RESUMEN

Los minerales cumplen un importante papel en la nutrición de los bovinos productores de leche porque, aunque no proporcionan energía son esenciales para la utilización y síntesis biológica de nutrientes esenciales. En muchos establos lecheros existen problemas de deficiencia de uno o más minerales; sin embargo, estos se presentan en forma subclínica la cual no es fácilmente diagnosticada. Este tipo de deficiencia podría causar pérdidas importantes en la producción láctea debido a que los minerales cumplen un rol importante en la síntesis de la leche, metabolismo, reproducción y salud en general. Se debe considerar que un buen manejo de la suplementación mineral es saber cuánto de cada mineral necesita consumir el animal en cada estado fisiológico y cuanto es aportado por la ración por lo que es importante conocer el contenido y biodisponibilidad de las sales minerales en los diferentes alimentos suministrados a los animales para así cuantificar la falta de alguno y administrarlo por medio de la suplementación.

Palabras clave: Nutrición, Suplementación, Síntesis biológica, Estado fisiológico, Deficiencias minerales.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	i.
DEDICATORIAS	ii.
RESUMEN	iii.
INDICE	iv.v
INDICE DE CUADROS	vi.
INDICE DE FIGURAS	vii.
1.INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVO	2
2. REVISION DE LITERATURA	3
2.1 Generalidades de los minerales	3
2.2 Clasificación de los minerales en nutrición bovina	3
2.2.1 Macroelementos	4
2.2.1.1 Calcio (Ca)	4
2.2.1.2 Fosforo (P)	6
2.2.1.3 Magnesio (Mg)	7
2.2.1.4 Potasio (K)	9
2.2.1.5 Sodio (Na)	11
2.2.2 Microelementos	12
2.2.2.1 Cobre (Cu)	12
2.2.2.2 Hierro (Fe)	14
2.2.2.3 Zinc (Zn).	16
2.2.2.4 Selenio (Se)	17
2.2.2.5 Cobalto (Co)	19
2.3 Importancia de los minerales en la nutrición del ganado bovino productor de leche.	20
2.4 Requerimientos de minerales para vacas lecheras en periodos productivos/reproductivos.	23
2.5 Balance catión- anión en las dietas de vacas lecheras	27

2.5.1 Principio de electroneutralidad	28
2.6 Dietas aniónicas	29
2.6.1 Efecto de las dietas aniónicas sobre el metabolismo del calcio:	31
2.7 Sales aniónicas	32
2.7.1 Formulación de dietas preparto con sales aniónicas	35
2.7.2 Control de la suplementación aniónica	37
2.7.3 Ventajas y desventajas en el uso de sales aniónicas en dietas de bovinos lechero.	40
2.8 Cationes	41
2.8.1 Los cationes y la bomba sodio potasio.	41
2.8.2 La excreción renal de sodio y potasio.	42
2.8.3 Equilibrio acido-base en la sangre.	42
2.8.4 Cationes en el desempeño lactacional de la vaca.	43
2.8.5 Ventajas y desventajas del uso de cationes en vacas lecheras.	45
2.9 Principales fuentes de minerales	45
2.10 Deficiencias de minerales en el ganado lechero y sus posibles repercusiones	46
2.11 Toxicidad de los minerales en el ganado bovino de leche	49
2.12 Resultados y recomendaciones en el uso de minerales en bovinos lecheros.	51
3. CONCLUSIONES	54
4. LITERATURA CITADA	59

INDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1 Requerimientos de minerales de vacas lecheras lactantes.	20
Cuadro 2 Requerimientos nutricionales y condición corporal (CC) sugerida de las vacas lecheras según producción, periodo de lactancia y preñez.	23
Cuadro 3 Necesidades minerales y máximas concentraciones por Kg de MS para bovinos de leche.	24
Cuadro 4 Principales iones y su peso atómico, valencia y peso en mEq (mg y gr).	27
Cuadro 5 Contenido en minerales de alimentos de origen vegetal	45
Cuadro 6 Contenido en minerales de algunas semillas	46
Cuadro 7 Composición mineral de la alfalfa y el silo de maíz según el estado vegetativo.	46
Cuadro 8 Deficiencias de distintos minerales en rumiantes y su repercusión en el ganado	48
Cuadro 9 Concentraciones máximas legales (unión europea) y tóxicas de minerales con riesgo de inducir toxicidad en rumiantes.	50
Cuadro 10 Límites máximos recomendados(ppm) y máximos máximos legales (ppm) de microminerales.	50
Cuadro 11 Categorización de iones simples en plasma de bovino adulto	53

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Estatus mineral y cronología de afectaciones fisiológicas por deficiencia de minerales.	26
Figura 2 Efecto de las dietas aniónicas para elevar el calcio plasmático	30
Figura 3 Cambio del pH a partir del suministro de dietas aniónicas vs dieta control	38
Figura 4 Distribución porcentual de los animales según rango de pH urinarios de los animales que recibían o no sales aniónicas en la dieta de parto.	39
Figura 5 Diagnóstico inicial de los disturbios acido-base	52

1.INTRODUCCIÓN

Todo ser vivo y en general los mamíferos requieren de nutrientes los cuales son esenciales para su crecimiento, desarrollo, mantenimiento y en este caso en los bovinos para la producción láctea.

Cada uno desde las proteínas, carbohidratos y lípidos son esenciales para el organismo ya que estas moléculas son las principales en cuanto a estructura, energía y reservas de energía en el cuerpo de los mamíferos, pero hay ciertas sustancias las cuales, a pesar de ser fundamentales para el funcionamiento, conformación y regulación de muchos procesos en el cuerpo pasan a veces desapercibidas o no se les toma la importancia debida y con esto me refiero a los minerales.

Estos elementos naturales son de vital importancia ya que son los encargados de procesos como la formación ósea (calcio y potasio principalmente), reacciones de transferencia de energía, síntesis de proteínas, transferencia genética, producción de hormonas, sistemas enzimáticos, funciones de regulación (presión osmótica, equilibrio acido-base, permeabilidad de la membrana celular, actividad neurológica y muscular, componentes de vitaminas, etc) (Ciria *et al.*, 2005).

Los minerales por lo general se clasifican en dos grupos macroelementos y microelementos, los del primer grupo son en especial los que más requiere el bovino productor de leche el cual necesita entre un cuatro-cinco por ciento de su peso vivo de sales minerales para el correcto funcionamiento de su organismo y para tener una óptima producción láctea, ya que los mismos son la mayoría de las

veces deficientes en el alimento en general por lo cual las necesidades de la vaca superan la concentración de los minerales contenidos en los forrajes y por lo mismo se requiere implementar la suplementación de estos elementos inorgánicos en la ración y así cubrir los requerimientos de las vacas de acuerdo a su estado productivo ya sea que estén en producción, secas, frescas, reto, etc.

OBJETIVO

Dicho todo lo anterior el objetivo de la presente monografía será proporcionar y plasmar de manera detallada en las siguientes paginas el correcto manejo de la suplementación de minerales en un establo lechero abarcando todos los panoramas y dudas que el futuro lector de este humilde trabajo tenga, desde tipos de minerales, clasificaciones, etc., hasta su uso en las etapas fisiológicas y productivas de los bovinos productores de leche, su uso de acuerdo a las mismas, que minerales ocupar y en general todo lo referente a la suplementación de sales minerales en las vacas lecheras.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1 Generalidades de los minerales

Un mineral es una sustancia natural que se diferencia del resto por su origen inorgánico, su homogeneidad, composición química preestablecida y que corrientemente ostenta una estructura de cristal. Entre sus funciones principales se cuenta la de ser un componente decisivo y fundamental para la conservación y la salud de los seres vivos, ya que su presencia resulta determinante para la actividad de las distintas células (Tarbuck y Lutgens, 2005).

Las cenizas o minerales son sales y óxidos de los diferentes elementos químicos. Es en base a esos elementos, que, en el lenguaje de la producción Animal, se nombra y se conoce a los minerales.

2.2 Clasificación de los minerales en nutrición bovina

Desde el punto de vista académico y nutricional los elementos inorgánicos se clasifican en dos grupos: macroelementos y microelementos.

Para los primeros las necesidades dietéticas se establecen por encima de las 100 partes por millón (ppm), -porcentaje de la ración o gramos por día – y para los microelementos por debajo de estas cantidades.

Del mismo modo, la concentración media en los tejidos supera las 100 ppm para los macroelementos siendo menor para los microelementos (en general por debajo de las 20 (ppm).

También se pueden realizar otras clasificaciones por ejemplo de acuerdo con su carga: cationes, que por su valencia pueden ser monovalentes (sodio, potasio) o divalentes (Calcio, Magnesio, Zinc, de absorción más lenta) y aniones (fosforo, azufre, cloro, yodo y hierro) (Ciria *et al.*, 2005).

2.2.1 Macroelementos

2.2.1.1 Calcio (Ca)

El Calcio es esencial en la formación del esqueleto y los dientes, interviene en la coagulación de la sangre, en la regulación de la actividad neuromuscular y cardíaca, en la regulación del equilibrio ácido-básico y en la presión osmótica. Es el mineral más abundante del organismo del animal, representa el dos por ciento del peso corporal del animal, cerca del 98 por ciento del calcio se encuentra en el esqueleto y los dientes, el dos por ciento restantes se encuentra distribuido en tejidos blandos con una mayor concentración en plasma sanguíneo (NRC, 2001).

Pequeñas cantidades de Calcio pueden ser absorbidas desde el rumen, pero el mejor sitio de absorción es el intestino delgado, donde se realiza principalmente de forma iónica por mecanismos de transporte activo y difusión pasiva (Church *et al.*, 2002), controlada por la hormona paratiroidea (HTP) y la forma fisiológicamente activa de la vitamina D3 1,25-dihidroxicolecalciferol (calcitrol, 1,25(OH)₂ D3) (Underwood y Suttle, 1999), donde actúa lentamente,

abriendo los canales de Calcio y facilitando su capacitación , con ayuda de la calbindina (proteína transportadora de Ca) (Hurwitz, 1996).

El Calcio se secreta en leche, en rumiantes se excreta por vía fecal en cantidades bajas, apenas se ven afectadas por la ingestión o el balance orgánico del Calcio; su excreción en orina y sudor se vuelve importante en la acidosis metabólica de vacas en producción de leche (Church *et al.*, 2002).

Para la mayoría de los tipos de producción animal el calcio (Ca) puede ser cubierto por el forraje que contenga aproximadamente cuatro gramos/ Kilogramo de Materia seca (Minson, 1990). El nivel máximo tolerable indicado por el NRC (2001) para vacas lecheras es de dos por ciento de la Materia seca (MS) total. El consumo deficiente de Ca es causa de debilidad ósea, crecimiento lento, baja producción láctea (McDowell y Arthington, 2005), en deficiencias crónicas hay evidencia de cambios químicos, físicos, histológicos y radiológicos, que reflejan una reducción en la mineralización de los huesos (Underwood y Suttle, 1999), raquitismo en animales jóvenes y osteomalacia en animales adultos (Church *et al.*, 2002).

Cuando los animales ingieren forrajes deficientes en Ca, asociado con cantidades altas en fosforo (P), se puede presentar una anomalía llamada hiperparatiroidismo nutricional secundario, que consiste en una alta movilización de calcio de los huesos, el cual es sustituido por tejido conectivo fibroso provocando un engrosamiento de los huesos faciales (Maynard *et al.*, 1981).

El nivel máximo tolerable de Ca es de dos por ciento para bovinos, sin embargo, niveles superiores no se consideran tóxicos, debido a que los mecanismos homeostáticos aseguran que el exceso de calcio sea excretado en heces (Underwood y Suttle, 1999). El exceso en el consumo de Ca puede evitar la absorción de algunos minerales, puede causar calcificación en sitios de daño celular, tumores en la tiroides en respuesta a la hiperactividad y cálculos urinarios (Church *et al.*, 2002).

2.2.1.2 Fosforo (P)

El P es esencial para la producción de leche, el desarrollo y mantenimiento del tejido esquelético, además contribuye en la composición de los ácidos nucleicos y en la membrana celular en forma de fosfolípidos (Church y Pound, 1987). Es el segundo mineral más abundante en el organismo, aproximadamente el 80 por ciento se encuentra en huesos y dientes,

Concentración mineral y parámetros productivos de bovinos lecheros con distintos momentos de pastoreo y el 20 por ciento restante está distribuido en fluidos y otros tejidos del organismo (NRC, 2001).

El P tiene un papel fundamental para el funcionamiento adecuado de los microorganismos del rumen, principalmente los que digieren la celulosa, así como para la regulación del potencial de hidrogeno (pH) y otros fluidos. La absorción de P ocurre principalmente en duodeno y yeyuno en rumiantes, pero depende de la cantidad ingerida, a mayor consumo disminuye su coeficiente de absorción, también se afecta cuando la relación Ca:P está por debajo uno: uno o por encima de siete: uno (McDowell y Arthington, 2005).

McDowell y Arthington (2005) mencionan que la deficiencia mineral más común en el mundo es la de P, en los bovinos se caracteriza por la disminución del contenido mineral en los huesos, provoca pérdida de resistencia con fracturas espontáneas, aumento en el volumen de las articulaciones, principalmente en extremidades anteriores, cojera y dificultad para caminar, deficiencia severas se manifiestan con raquitismo y osteomalacia (Vrzgula, 1990), en el ganado se observa anorexia, crecimiento lento, baja conversión alimenticia, baja producción láctea, pérdida de peso, ostealgia, hemoglobinuria puerperal, alteraciones del metabolismo energético, fragilidad eritrocitaria (NRC, 2001), los parámetros reproductivos se ven alterados teniendo anestros prolongados, repetición de celos, reabsorción embrionaria y bajas tasas de concepción (Garmendia, 2007).

El exceso de P en la dieta puede causar resorción ósea, niveles altos de P en plasma y cálculos urinarios. El nivel máximo tolerable de P en la dieta para rumiantes es de uno por ciento de la MS de la dieta. La alimentación excesiva de P por un largo periodo puede causar problemas en el metabolismo del calcio, induciendo una excesiva resorción ósea y cálculos renales (NRC, 2001).

2.2.1.3 Magnesio (Mg)

Aproximadamente 70 por ciento del Mg presente en el cuerpo se encuentra en los huesos (McDowell y Arthington, 2005), el 30 por ciento restante se encuentra distribuido en tejidos blandos, es uno de los cationes más abundantes a nivel intracelular, después del potasio (NRC, 2005).

El Magnesio (Mg) interviene con el Ca y el P en la formación de huesos y dientes, y es de gran importancia en la catalización de 300 enzimas implicadas en

la transferencia y utilización de la energía (Minson, 1990), es requerido para el buen funcionamiento del corazón, forma parte del líquido cefalorraquídeo e influye en la transmisión de impulsos nerviosos (NRC, 2005), es necesario para la fosforilación oxidativa de las mitocondrias, principalmente del músculo cardíaco (Church *et al.*, 2002).

La absorción de Mg en animales pre rumiantes es en el intestino delgado, para el caso de los rumiantes la absorción tiene lugar principalmente en el rumen y el omaso (Kinkaid, 1993). La absorción de magnesio suele afectarse por altos niveles de potasio, nitrógeno, sodio, aluminio, calcio, fósforo, exceso de grasa y proteína, disponibilidad de carbohidratos, ácidos orgánicos, ionóforos, vitamina D3 y estado de madurez del forraje (Minson, 1990).

Los requerimientos de Mg varían de acuerdo con la absorción del mineral en el tracto digestivo, la disponibilidad biológica y con los requerimientos absolutos del animal (Minson, 1990; Underwood y Suttle, 1999). El requerimiento de Mg para vacas en producción media es de punto veinticinco por ciento y para vacas de producción alta de punto veinticinco a punto treinta por ciento de la dieta (NRC, 2001).

Los animales que presentan deficiencia de Mg presentan hiperirritabilidad, tetania, vasodilatación periférica, falta de apetito, incoordinación, espasmos musculares, salivación excesiva, descenso de la presión sanguínea y temperatura corporal, pudiendo seguir por un estado de coma y muerte (Underwood y Suttle, 1999; Kramer *et al.*, 2003).

La deficiencia de Mg puede corregirse con la suplementación del mineral al ganado o aplicando fertilizaciones con sodio (Na) y Mg a las praderas y evitando fertilizaciones excesivas de nitrógeno (N) y potasio (K) (Minson, 1990).

Es difícil la intoxicación por exceso de Mg en rumiantes, probablemente por la capacidad que tiene el riñón para excretar el exceso de este mineral como respuesta a los niveles elevados en suero sanguíneo (Church *et al.*, 2002), el nivel máximo tolerable de Mg es de punto cuatro por ciento de la MS (NRC, 2001).

2.2.1.4 Potasio (K)

El potasio es el tercer mineral más abundante en el organismo, representa alrededor del punto cinco a punto ocho por ciento del peso corporal del bovino adulto, es el principal catión intracelular, pues mantiene el equilibrio ácido-básico, la presión osmótica y el balance hídrico (Linser, 1981).

Otras funciones del K se encuentran el metabolismo de los carbohidratos, síntesis de proteína y mantenimiento de los tejidos del corazón y riñones, conducción de los impulsos nerviosos, contracción muscular, transporte de oxígeno y bióxido de carbono, ayuda a mantener un medio adecuado para la microflora del rumen (McDowell y Arthington, 2005).

El K se absorbe principalmente en duodeno por difusión simple (NRC, 2001), aunque una cantidad considerable es absorbida en rumen (Underwood y Suttle, 1999).

El K en los vegetales se encuentra distribuido en formas altamente solubles y digestibles para el organismo (NRC, 2001), se absorbe por transporte activo y

difusión pasiva en un 90 por ciento (ARC, 1980). La principal vía de excreción del potasio sobrante en el organismo, es la orina (95 por ciento), este proceso es regulado por la aldosterona, este mecanismo favorece la absorción de Na y la excreción de K (NRC, 2005); también es eliminado por heces, leche y piel, por esta última vía varía de acuerdo a la temperatura ambiente en la que se encuentre el animal (ARC, 1980), además la eliminación de este elemento se ve incrementada en presencia de estrés y diarrea (Puls, 1994).

Los requerimientos de K están determinados principalmente por la pérdidas urinarias y fecales, además varían entre especies, raza, estado fisiológico y el clima (ARC, 1980), se estima que los requerimientos de K para rumiantes oscilan entre el punto cinco y el uno por ciento (McDowell *et al.*, 1993).

La deficiencia de potasio es poco frecuente, se caracteriza por retraso en el crecimiento, marcha insegura, debilidad muscular, diarrea, pérdida de peso, y en casos graves provoca la muerte del animal (Linser, 1981); los factores que predisponen a las deficiencias de K son el consumo de forrajes maduros o de calidad baja, dietas altas en granos, cantidades de nitrógeno no proteico en la dieta, en condiciones de estrés y fatiga fisiológica (McDowell y Arthington, 2005).

Por el contrario, el exceso de potasio provoca un desequilibrio en el balance ácido-base (Neathery *et al.*, 1979), puede ocasionar urolitiasis, disminución en el nivel de Mg en el organismo, disminución en los parámetros reproductivos y de la ganancia diaria de peso; el nivel máximo tolerado de K en la dieta para rumiantes es de tres por ciento de la MS (ARC, 1980; NRC, 1980).

2.2.1.5 Sodio (Na)

El sodio es el principal catión monovalente extracelular (Suttle, 2010), mantiene la presión osmótica, el equilibrio ácido-básico y el metabolismo del agua; además interviene en el mecanismo de contracción muscular y en la transmisión del impulso nervioso, forma parte del jugo pancreático y bilis (McDowell y Arthington, 2005); participa en la absorción de azúcares y aminoácidos (McDonald *et al*, 2001), es un elemento de alta proporción en la sangre (Suttle, 2010); es requerido para el crecimiento de las bacterias ruminales (Underwood y Suttle, 1999).

La absorción de Na ocurre en el tubo digestivo y generalmente es 100 por ciento disponible; la absorción ocurre por transporte activo en retículo, abomaso, omaso y duodeno, mientras la absorción pasiva ocurre por medio de la pared intestinal (NRC, 2001). Cuando su ingestión es baja, se activa la producción de aldosterona en la corteza adrenal, esta evita la pérdida de Na en la orina y heces; pero el nivel de concentración de Na en la leche es constante, esta falta de habilidad de los animales de reducir la concentración de Na en la leche los hace más susceptibles a sufrir deficiencias durante la lactancia (Minson, 1990). El requerimiento de Na para bovinos lecheros en etapa productiva es de punto dieciocho por ciento de la MS (NRC, 2001), mientras que para vacas secas es de punto diez por ciento de Na de la MS total.

El primer signo de deficiencia de Na es un estado de pica (apetencia desmedida por la sal) se detecta porque el animal lame vorazmente la lana, suelo, orina, o sudor de otros animales (Underwood y Suttle, 1999); cuando la deficiencia

es prolongada produce pérdida de apetito, mala apariencia, pérdida de peso, disminución en el crecimiento, disminuye la producción de leche, acompañado con cierta reducción de grasa en la leche, en casos graves se observa incoordinación, temblor corporal, debilidad y pérdida del ritmo cardiaco, lo cual puede conducir a la muerte del animal.

Por el contrario, la mayoría de los animales pueden tolerar grandes cantidades de Na en la dieta, siempre y cuando se disponga de suficiente agua (McDowell y Arthington, 2005); un consumo excesivo puede dar lugar a edemas (Underwood y Suttle, 1999), problemas metabólicos como diarreas, vomito, anorexia, pérdida de peso (NRC, 2001; Puls, 1994); de la misma manera puede dañar los glomérulos renales dada la degeneración vascular y aumenta el volumen del líquido extracelular, generando hipertensión, que a su vez provoca una falla cardiaca congestiva (Church y Pond, 1987).

2.2.2 Microelementos

2.2.2.1 Cobre (Cu)

Seguido del fósforo la deficiencia de Cu es la limitante más importante para los animales en pastoreo, en la mayoría de las regiones tropicales (McDowell y Arthington, 2005), es un componente esencial de varias metaloenzimas entre las cuales destacan: ceruloplasmina, citocromo oxidasa y tirosinasa; favorece la formación de hemoglobina, la maduración del eritrocito, la absorción del Fe, la oxidación y la unión con el Fe para el transporte de proteínas, es esencial en la

formación de tejido conectivo (Minson, 1990), contribuye en la formación de colágeno y elastina del hueso, en la producción de melanina, es indispensable para la integridad del sistema nervioso central, para la respiración celular y la síntesis de prostaglandinas (Church *et al.*, 2002).

La absorción de Cu en la mayoría de las especies tiene lugar en duodeno y yeyuno, la cantidad de Cu en la dieta requerido para satisfacer las necesidades en lactación, varía con la edad del animal, forma química del Cu en la dieta y la presencia de sustancias que interfieran en su absorción (NRC, 2001).

El requerimiento de Cu en bovinos debe de establecerse considerando el contenido de Mg y de S en la dieta; cuatro ppm pueden cubrir los requerimientos, pero diez ppm es un requerimiento más práctico en ganado lechero, cuando el pasto contiene niveles altos de Mg, Ca y Fe pueden requerirse niveles mayores de Cu (NRC, 2001).

La deficiencia de Cu en rumiantes puede ocurrir como una deficiencia primaria en la cual el consumo de Cu es inadecuado, o como una deficiencia secundaria donde distintos factores de la dieta interfieren con la absorción y el metabolismo del Cu (Gengelbach *et al.*, 1994); la deficiencia se manifiesta en el animal con anemia, reducción del crecimiento, pérdida de peso, y disminución en la producción láctea, pelo áspero y descolorido, fragilidad de los huesos, rigidez de las articulaciones y cojeras (Underwood, 1981).

En bovinos adultos se observa retraso en la presentación del celo, disminución en la reproducción y retención placentaria, disminución en la

pigmentación del pelo que se encuentra alrededor de los ojos, este es un signo específico de la deficiencia de Cu (NRC, 2001). En relación con el sistema inmunológico, la deficiencia de Cu afecta las células T y B, los neutrófilos y los macrófagos, por lo tanto, reduce la cantidad de células que producen anticuerpos (McDowell *et al.*, 1993).

El ganado bovino adulto es muy tolerante al exceso de Cu, en comparación con los animales en crecimiento (Minson, 1990); la toxicidad crónica por Cu bajo condiciones de pastoreo ocurre como resultado de un consumo elevado de Cu o de un consumo muy deficiente de Mo y S (McDowell *et al.*, 1993). Los rumiantes tienen la capacidad de almacenar Cu en el hígado durante épocas donde el consumo sea excesivo, antes de que se muestren signos de intoxicación, y usan estas reservas en épocas de escases (McDowell *et al.*, 1993). Los signos de intoxicación por Cu incluyen salivación excesiva, vómitos, convulsiones, parálisis, colapso y muerte (NRC, 2001).

2.2.2.2 Hierro (Fe)

El Hierro es un componente esencial de la hemoglobina y mioglobina, necesarias para el transporte de oxígeno, del 60 al 70 por ciento del Fe corporal se encuentra en la hemoglobina de los eritrocitos y en la mioglobina del músculo; el 20 por ciento se almacena en el hígado, bazo y otros tejidos en formas lábiles, donde se encuentra disponible para la formación de hemoglobina, el Fe restante se fija en los tejidos como un componente de miosina y actomiocina muscular (Suttle, 2010).

Las principales funciones del Fe en el animal son el transporte de oxígeno a las células y la respiración celular, transporte de electrones, metabolismo de energía, antioxidante, sensor de oxígeno, síntesis de ADN (NRC, 2001; Suttle, 2010).

La absorción del hierro tiene lugar en todo el sistema digestivo, pero el principal sitio de absorción es el duodeno y yeyuno; la eliminación es por medio de las heces, orina, sudor y cuando los animales sufren hemorragias (McDowell y Arthington, 2005); el Fe se transporta en forma de hierro férrico, unido a la transferrina, almacenándose en hígado, bazo y médula ósea principalmente en forma de ferritina o hemosiderina (Underwood y Suttle, 1999; NRC, 2005).

Los rumiantes jóvenes son más susceptibles a la deficiencia de Fe dado que la leche tiene niveles bajos de este mineral (menos de un mg/L), los animales adultos necesitan poco Fe en la ración ya que cuentan con buenas reservas del mineral, al menos que haya presencia de hemorragias o estados patológicos (Suttle, 2010).

La recomendación actual para vacas lecheras de 50 ppm (NRC, 2001), los niveles máximos de Fe en la dieta son de 1000 ppm para ganado vacuno.

Las deficiencias del Fe en animales en pastoreo son poco comunes ya que es bien suministrado por los forrajes, pero la deficiencia puede resultar tras pérdidas sanguíneas, infestaciones parasitarias severas o algunas tras causas de hemorragias, puede sospecharse de deficiencia de Fe cuando los niveles séricos

sean inferiores a uno punto uno miligramos por Litro y los de hemoglobina sean inferiores a un miligramo por decilitro.

Dentro de los signos de deficiencia de hierro podemos citar anemia hipocromía, y microcítica, crecimiento lento, palidez de las mucosas, incremento del ritmo respiratorio y circulatorio, anorexia, atrofia de las papilas linguales, cansancio, disminución en la resistencia a infecciones y en casos severos puede culminar en la muerte (NRC, 2005).

Por otro lado, la intoxicación por Fe causa diarrea y acidosis metabólica, retraso en el crecimiento (McDowell y Arthington, 2005), congestión vascular e irritación intestinal (Suttle, 2010); dietas con altos contenidos de Fe disminuyen la absorción de Fosforo, Cobre, Zinc, Selenio, Manganeso, Cobalto y Plomo, y viceversa, ya que compiten por los sitios de absorción.

2.2.2.3 Zinc (Zn).

El zinc es un elemento indispensable para el crecimiento y salud de los animales (Dana *et al.*, 2002), es componente estructural del ácido desoxirribonucleico (ADN), ácido ribonucleico (ARN) y los ribosomas, forma parte del sistema inmunológico, interviene en el balance electrolítico, es activador de diversos sistemas enzimáticos (Underwood y Suttle, 1999), es importante en el desarrollo del aparato reproductor en los machos (McDowell y Arthington, 2005).

El Zinc se absorbe de acuerdo a las necesidades del animal, el principal sitio de absorción es el duodeno; el coeficiente de absorción en ganado bovinos es

de punto setenta y cinco (Underwood y Suttle, 1999), la excreción principal del Zn es a través de las heces fecales, el grado de absorción del Zn es afectado por la cantidad en la dieta, cantidad y proporciones de otros elementos (P, Cd, Cu, Ca, Fe y Mo) en la dieta (Minson, 1990).

Los requerimientos recomendados de Zn son menores a 30 o 40 ppm de la MS (NRC,1986).

El consumo deficiente de Zn afecta la velocidad de crecimiento, retarda la cicatrización de las heridas, reduce la habilidad para movilizar reservas hepáticas de vitamina A. Las vacas que son alimentadas con forrajes con contenido bajo de Zn presentan bajo crecimiento, fertilidad disminuida, paraqueratosis, inflamación de la nariz y boca, endurecimiento de las articulaciones, perdida y aspereza en el pelo y niveles bajos de Zn en plasma (Suttle, 2010).

Se presenta intoxicación por Zn cuando las cantidades en la dieta exceden los 2000 a 3000 ppm en la dieta, la intoxicación por Zn reduce la ganancia de peso y la eficiencia alimenticia, también disminuye el consumo de alimento (Underwood y Suttle, 1999), es característico el dolor abdominal, la anemia, pobre mineralización del hueso, daño pancreático, artritis, enfermedad del musculo blanco, hemorragias internas, muerte de animales recién nacidos (NRC, 2001).

2.2.2.4 Selenio (Se)

El selenio es un elemento esencial para el animal, interviene en funciones corporales tales como el crecimiento, la reproducción, la respuesta inmune, la protección de la integridad de los tejidos, Existe una estrecha relación con la

vitamina E, en cuanto a los efectos antioxidantes, consiste en que la vitamina E es un antioxidante específico de lípidos solubles en las membranas celulares y el Se, como componente de la GSH-Px, funciona destruyendo los peróxidos antes de que estos ataquen la membrana celular (McDowell *et al.*, 1993).

La absorción del Se se da principalmente en duodeno. El Se suplementado en la dieta se absorbe en un 40 por ciento, pero su grado de asimilación varía con la forma del elemento, la cantidad ingerida y el contenido de Ca, As, Co y S en la dieta.

El nivel de Se en suero sanguíneo en vacas suplementadas va de punto quince a punto veintitrés ppm. Los requerimientos de Se para rumiantes no ha sido bien definido, pero se estima que para rumiantes es de aproximadamente de punto uno a punto tres ppm de la materia seca de la dieta, esto depende de la forma química del elemento que ingresa al organismo, de los niveles de Se en el animal y de los diferentes factores que afectan la biodisponibilidad y absorción, los cuales se encuentran en la dieta, como la vitamina E, ácidos grasos, aminoácidos, azufre, cobalto, arsénico y cadmio (NRC, 2001).

La deficiencia de Se puede dar lugar a la miodegeneración (enfermedad del músculo blanco), especialmente en corderos y becerros. En general se asocia con un menor crecimiento tanto en machos como en hembras, y menor resistencia a las enfermedades. El exceso de Se puede producir anemia, salivación excesiva, necrosis de las pezuñas e incluso la muerte (Minson, 1990).

2.2.2.5 Cobalto (Co)

El cobalto es un mineral importante para que los microorganismos del rumen puedan realizar la síntesis de vitamina B12, esta vitamina contiene aproximadamente cuatro punto cinco por ciento de Co, los requerimientos de vitamina B12 en rumiantes son altos ya que los microorganismos del rumen son poco eficientes en la producción de vitamina B12 a partir de Co y a la baja absorción de la vitamina B12 en el tubo digestivo (McDowell y Arthington, 2005; NRC, 2005).

La deficiencia de Co es común en rumiantes en pastoreo, está bien difundida en los países del trópico (McDowell y Arthington, 2005). Conforme progresa la deficiencia de Co van disminuyendo las concentraciones de Co y vitamina B12 en el líquido ruminal (Underwood y Suttle, 1999); en deficiencia moderada solo se afectan los animales jóvenes, en deficiencia grave se observa un agotamiento interno o indiferencia, difícil de distinguir de la que muestra un animal extenuado por el hambre, con excepción de que las mucosas se encuentran pálidas y la piel suele presentarse pálida y frágil (Suttle, 2010).

El consumo de suelo sugiere que en ocasiones puede aliviar las deficiencias de cobalto (Underwood y Suttle, 1999).

Cuadro 1.-Requerimientos de minerales de vacas lecheras lactantes (NRC,2001)

	<i>Holstein: 680 kg PV, Grasa en leche: 3.5%, Proteína verdadera en leche: 3.0%, Lactosa en leche: 4.8%</i>		<i>Jersey: 454 kg PV, Grasa en leche: 4.2%, Proteína verdadera en leche: 3.6%, Lactosa en leche: 4.8%</i>	
Producción de leche (kg)	25	35	25	35
Ca absorbible, g/día	32.1	65.0	50.7	65.2
Ca dietético, %	0.62	0.61	0.57	0.57
P absorbible g/ día	44.2	56.5	41.4	54.1
P dietético, %	0.32	0.35	0.33	0.37
Mg, %	0.18	0.19	0.18	0.19
Cl, %	0.24	0.26	0.24	0.26
K, %	1.00	1.04	1.02	1.03
Na, %	0.22	0.23	0.20	0.20
S, %	0.20	0.20	0.20	0.20
Co, mg/kg	0.11	0.11	0.11	0.11
Cu, mg/kg	11	11	10	10
I, mg/kg	0.60	0.50	0.44	0.40
Fe, mg/kg	12.3	15	14	16
Mn, mg/kg	14	14	12	12
Se, mg/kg	0.30	0.30	0.30	0.30
Zn, mg/kg	43	48	45	49

Adaptada: NRC, 2001

2.3 Importancia de los minerales en la nutrición del ganado bovino productor de leche.

Los minerales existen en las células y tejidos del organismo animal en diversas combinaciones y concentraciones, dependiendo del tipo de tejido. Una ingestión inadecuada de un mineral provoca cambios en la forma o concentración de este en tejidos y fluidos corporales, llegando a alcanzar valores por debajo o por encima de los límites permisibles (McDowell y Arthington, 2005).

La productividad animal está limitada principalmente por aportes deficientes de energía y proteína, enfermedades parasitarias e infecciosas, factores genéticos del animal, y desequilibrios en el aporte mineral (Suttle, 1991). La importancia de los minerales en la nutrición animal radica en que son necesarios para la transformación de la proteína y la energía de los alimentos en componentes del organismo, cumpliendo primeramente con las necesidades de mantenimiento y posteriormente las necesidades de crecimiento, gestación y lactación (Huerta, 1999).

Se señala que bovinos alimentados con pasto pueden satisfacer sus requerimientos de algunos de estos minerales (Brendon y Dugmore, 2012), empero, debido a la variabilidad de la composición de los forrajes, que depende del suelo, clima, edad y fertilización, entre otros factores, se pueden constatar desbalances minerales que afectan el rendimiento productivo de los animales (Grace y Knowles, 2012). Por otro lado, si el ganado tiene un alto potencial productivo, presenta mayores requerimientos nutricionales, por lo cual el aporte del forraje puede ser insuficiente, dando lugar a problemas como crecimiento disminuido, infertilidad, y otros trastornos metabólicos subclínicos o clínicos (Brendon y Dugmore, 2012).

Los minerales son importantes porque cerca del 50 por ciento de las enzimas corporales requieren algún mineral para su funcionamiento (Waldron *et al.*, 2009).

Se ha determinado que los minerales cumplen con cuatro funciones esenciales en el organismo. Estas funciones no son exclusivas de todos los minerales y varían de acuerdo con el tipo de mineral y animal (Underwood y Suttle, 1999).

* Estructural: los minerales pueden formar componentes estructurales de órganos y tejidos corporales, como es el caso del calcio, fósforo, magnesio, flúor y silicio que forman la mayor parte de la estructura ósea (Underwood y Suttle, 1999).

* Fisiológica: algunos minerales se presentan en forma de electrolitos en tejidos y fluidos corporales, estos intervienen en el mantenimiento de la presión osmótica, del equilibrio ácido-base, de la permeabilidad de las membranas, éste es el caso del sodio y el potasio (McDowell y Arthington, 2005).

* Catalítica: funcionan como catalizadores de enzimas y determinadas hormonas, como componentes estructurales de metaloenzimas, el cobre es un ejemplo de estas funciones.

* Reguladora: se ha comprobado que los minerales intervienen en la regulación de la replicación y diferenciación celular, un ejemplo de ellos es el calcio que influye en señales de transducción y el cinc influye en la transcripción (Underwood y Suttle, 1999).

2.4 Requerimientos de minerales para vacas lecheras en periodos productivos/reproductivos.

Cuadro 2.- Requerimientos nutricionales y condición corporal (CC) sugerida de vacas lecheras, según producción, periodo de lactancia y preñez (NRC,2001).

Item	Producción de leche (kg/día)			Inicio de Lactancia	Periodo seco (45 días)	Periodo pre-parto (15 días)
	Producción	Bajo 20	20-30			
Cond. Corporal		3,5	3,5	3,5	3,0	3,5
PC%1		15	16	17	19	12
PND, %		37	39	40	45	30
EM,Mcal/kg		2,50	2,70	2,80	2,80	2,20
Enl,Mcal/kg		1,52	1,62	1,72	1,67	1,25
Fibra Cruda, %		20	17	15	17	25
FDA, %		21	21	19	21	27
FDN, %		28	28	25	28	35
Calcio, %		0,51	0,58	0,64	0,77	0,39
Fósforo, %		0,33	0,37	0,41	0,48	0,24
Potasio, %		0,9	0,9	1	1	0,65
Magnesio, %		0,2	0,2	0,25	0,25	0,2
Azufre, %		0,2	0,2	0,2	0,2	0,16
Sodio, %		0,18	0,18	0,18	0,18	0,10
Cloro, %		0,25	0,25	0,25	0,25	0,20
Manganeso, ppm		40	40	40	40	40
Cobre, ppm		10	10	10	10	10
Zinc, ppm		40	40	40	40	40
Hierro, ppm		50	50	50	50	50
Selenio, ppm		0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
Cobalto, ppm		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Yodo, ppm		0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Vitamina A, UI/kg		3200	3200	3200	4000	4000
Vitamina D, UI/kg		1000	1000	1000	1000	1200
Vitamina E, UI/kg		15	15	15	15	15

PC: Proteína Cruda - PND: Proteína No Degradable - EM: Energía Metabolizable
 Enl: Energía neta leche - FDA: Fibra Detergente Ácida - FDN: Fibra Detergente Neutra

Cuadro 3.-Necesidades minerales y máximas concentraciones por Kg de MS para bovinos de leche (NRC,1980).

Elemento		Unidades		Vacas lecheras lactando				Vacas secas Preñadas	Toros adultos	Vaquillo- nas y toros en desarrollo	Termeros con leche sustituta	Termeros al comienzo del concentrado	Nivel máximo tolerable	
				Peso kg	Producción de leche kg									
					400	8-13	13-18							+ 18
				500	- 11	11-17	17-23							+ 23
		600	- 14	14-21	21-29	+ 29								
		700	- 18	18-26	26-35	+ 35								
Fósforo	g/kg		Ver tabla 14 en g/día/animal					1,8	2,6	5	4,2	10		
Calcio	g/kg		Ver tabla 14 en g/día/animal					2,4	4	7	6	20		
Sodio	g/kg		1,8	1,8	1,8	1,8	1	1	1	1	1	--		
Cloruro de sodio	g/kg		4,6	4,6	4,6	4,6	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	100		
Azufre	g/kg		2	2	2	2	1,7	1,1	1,6	2,9	2,1	4		
Magnesio	g/kg		2	2	2	2	1,6	1,6	1,6	0,7	0,7	4		
Potasio	g/kg		8	8	8	8	8	8	8	8	8	30		
Cobre	mg/kg		10	10	10	10	10	10	10	10	10	115		
Cobalto	mg/kg		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	5		
Manganeso	mg/kg		40	40	40	40	40	40	40	40	40	1000		
Cinc	mg/kg		40	40	40	40	40	40	40	40	40	500		
Yodo	mg/kg		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	50		
Hierro	mg/kg		50	50	50	50	50	50	50	100	100	1000		
Selenio	mg/kg		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	2		
Cromo	mg/kg		0,1 - 0,5				0,05-0,025	--	--	--	--	--		
Molibdeno	mg/kg		--	--	--	--	--	--	--	--	--	6		
Flúor	mg/kg		--	--	--	--	--	--	--	--	--	20-100		

Las cifras dadas son promedios

Para evaluar las necesidades minerales de los animales, hay que tener en cuenta la edad, la fase del ciclo de producción o reproducción y la finalidad para la cual se alimenta a los mismos. Los cálculos de requerimientos de minerales que aparecen en las tablas de nutrición provienen de trabajos de investigación llevados a cabo en países con sistemas de producción intensivos, con diferencias marcadas en las condiciones ambientales y de manejo y, en muchos casos, con animales de otro potencial genético de producción.

La mayoría de los ensayos para los cálculos de los requerimientos han sido efectuados en animales estabulados o en condiciones donde el ingreso de MS se conoce con precisión, estando controlados otros efectos colaterales que pueden afectar la producción y salud de los animales (Corbellini, 1998).

Estructuralmente, Ca y fosforo son requeridos en mayor cantidad que otros minerales en el ganado lechero, alrededor del 99 por ciento de Ca y el 80 por ciento de fosforo se encuentran en los huesos y dientes, mientras que el resto se encuentra cumpliendo funciones fisiológicas en el organismo, además de hacer parte de los componentes de la leche y el plasma sanguíneo, la deficiencia de estos minerales reduce el apetito, la producción de leche, la eficiencia reproductiva, el aprovechamiento del alimento, y aumenta la incidencia de enfermedades metabólicas (NRC, 2001 citado por Begum *et al.*, 2009).

La deficiencia de selenio (Se) ha sido asociada con inmunosupresión y problemas reproductivos (Bicalho *et al.*, 2014).

El zinc (Zn) se encuentra integrado a la mayoría de sistemas enzimáticos, participa en la síntesis de proteínas, el metabolismo de carbohidratos y la mayoría de reacciones bioquímicas del organismo, así mismo ayuda al mantenimiento de la piel, el tejido epitelial, y la glándula mamaria debido a su papel en la división y síntesis de proteínas, la deficiencia de este mineral durante el inicio de la lactancia conduce a baja calidad en la leche por alto conteo de células somáticas y aumento en la incidencia de mastitis (Sobhanirad *et al.*, 2010).

El yodo (I) ha sido reconocido como el mineral que en su deficiencia causa una anomalía clínica fácilmente reconocible, la hipertrofia de la glándula tiroides, conocida comúnmente como Bocio (Suttle, 2010). La deficiencia de I se ha asociado en vacas con presentación de abortos, muerte fetal, o terneros que nacen débiles (Guyot *et al.*, 2011).

La principal función del yodo es ser constituyente de las hormonas tiroideas, las cuales tienen un papel termorregulador, aumentan la respiración celular y la producción de energía, cumplen múltiples funciones en el metabolismo intermediario, el crecimiento, la función muscular, la función inmunológica y la circulación, además interactúan con otras hormonas como la insulina, la hormona de crecimiento y la corticosterona, promoviendo la síntesis de leptina en el tejido adiposo (Suttle, 2010).

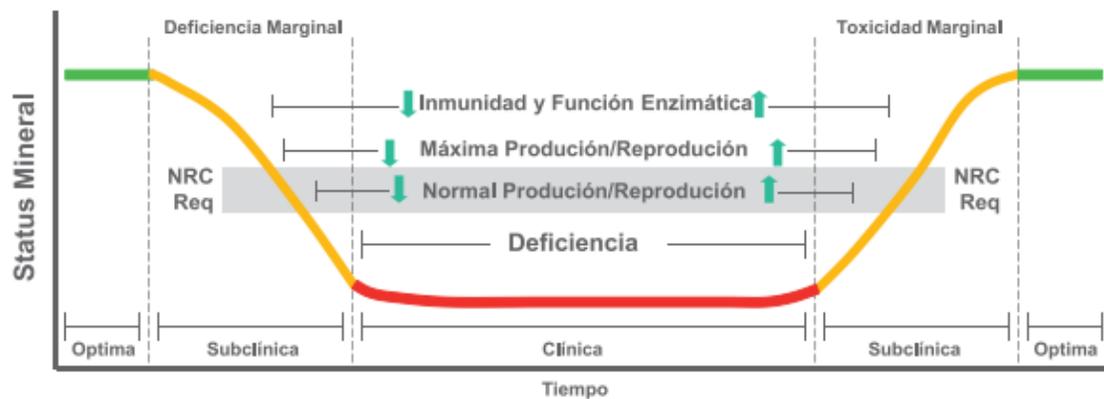


Figura 1.-Estatus mineral y cronología de afectaciones fisiológicas por deficiencia de minerales (Suttle, 2010)

2.5 Balance catión- anión en las dietas de vacas lecheras

Este balance es un concepto relativamente nuevo en la nutrición y alimentación del ganado lechero (Isneiro, 1999). Se expresa en miliequivalentes en 100 gramos de materia seca (mEq / 100g MS) y se tienen en cuenta para su cálculo los iones (cationes y aniones) no metabolizables que ejercen un efecto sobre el estado ácido- base de las vacas lecheras.

En un primer momento la Diferencia Cation-Anion Dietario se calculaba como: $(Na + K) - Cl$, no obstante, investigaciones posteriores demostraron que el efecto del Azufre sobre el estado ácido-base era similar al que produce el Cloro por lo que fue incorporado para el cálculo (Isneiro, 1999):

$$DCAD = [(Na + K) - (Cl + S)] / 100 \text{ g MS}$$

Numerosos experimentos han demostrado que el ajuste de la DCAD a valores ligeramente negativos ha sido efectivo para el control de la hipocalcemia puerperal (Ramos-Nieves *et al.*, 2009).

Calculo de la DACD:

Cuadro 4.-Principales iones y su peso atómico, valencia y peso en mEq (mg y gr) (Blas et al. 1998).

ION	Peso Atómico	Valencia	Peso mEq (mg)	Peso mEq (g)
Na	23.0	(+) 1	23	0.023
K	39.0	(+) 1	39	0.039
Cl	35.0	(-) 1	35	0.035
S	32.0	(-) 2	16	0.016

Como todos los valores se expresan en 100 gramos de MS se divide el porcentaje del ion presente en la dieta que se esté calculando por el peso en mEq de este (de Blas *et al.*, 1998), quedando:

$$\text{DCAD } 100\text{g MS} = (\% \text{Na}/0,023 + \% \text{K}/0,039) - (\% \text{Cl}/0,035 + \% \text{S}/0,016).$$

Para la formulación de dietas preparto usando DCAD se deben analizar los ingredientes de la dieta basal (Isneiro, 1999).

Algunos autores incluyen al Calcio y al Magnesio en los cationes y al Fósforo como anión, pero esto no es correcto ya que no son alcalinizantes ni acidificantes fuertes como lo son Sodio-Potasio y Cloro-Azufre respectivamente. Un descuento de esta actividad alcalinizante debería hacerse en el caso de los cationes mientras que en el fósforo también debido a su baja absorción o retención que disminuye la actividad de acidificación (Goff *et al.*, 2004).

2.5.1 Principio de electroneutralidad

El número de moles de partículas con carga positiva (cationes) en cualquier solución debe ser igual al número de moles de partículas con carga negativa (aniones) presentes en la misma.

A demás el producto de la concentración de iones Hidrógeno e iones hidroxilo presentes en una solución debe ser igual a la constante de disociación del agua $\text{H} \times \text{OH} = 1 \times 10^{-14}$ (Isneiro, 1999).

Teniendo en cuenta este principio, mediante el cálculo de la DCAD es posible determinar la incidencia de un alimento o una dieta sobre el equilibrio iónico y el pH del medio interno (de Blas *et al.*, 1998).

Numerosos estudios han demostrado la correlación negativa que existe entre la DCAD con el pH sanguíneo y de la orina durante la alimentación preparto (DeGroot *et al.*, 2010).

De esta manera cuando se suministra una dieta con DCAD negativa se produce una entrada excesiva de aniones que por la necesidad fisiológica de mantener la electroneutralidad genera un aumento en concentración de cationes hidrógeno provocando una disminución del pH ($\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$), es decir una acidificación del medio interno (de Blas *et al.*, 1998).

En caso contrario cuando se suministra una dieta rica en cationes (Na y K) con una DCAD francamente positiva genera la disminución de la concentración de iones hidrógeno y un aumento en la de hidroxilos, aumentando así el pH y estableciéndose una alcalinización del organismo que dificulta el metabolismo del calcio (DeGroot *et al.*, 2010).

2.6 Dietas aniónicas

El uso de dietas aniónicas en la alimentación de vacas secas en el preparto ha sido ampliamente difundido debido al efecto que estas tienen en la prevención de la fiebre de leche. Esta acción se debe al carácter acidógeno de estas sustancias, capaces de provocar una acidificación digestiva y metabólica, creando

así unas condiciones óptimas en el organismo para la circulación del Calcio (de Blas *et al.*, 1998).

Si bien estas dietas necesitan de solo cuatro a cinco días preparto para inducir esta acidosis metabólica, usualmente se suministran durante tres semanas previas al parto por cuestiones de manejo (Goff, 2012).

El suministro de dietas aniónicas, es decir con una DCAD negativa, a vacas secas durante el preparto produce un ingreso excesivo de cloruros y sulfatos. La necesidad fisiológica de mantener la electroneutralidad hace que se liberen protones Hidrógeno provocando una acidificación del medio interno que favorece la excreción de Calcio por orina reduciéndose los niveles de este en sangre. Esto genera la liberación de Hormona Paratiroidea y 1,25-dihidroxitamina D que terminan aumentando la concentración plasmática de Calcio (de Blas *et al.*, 1998).

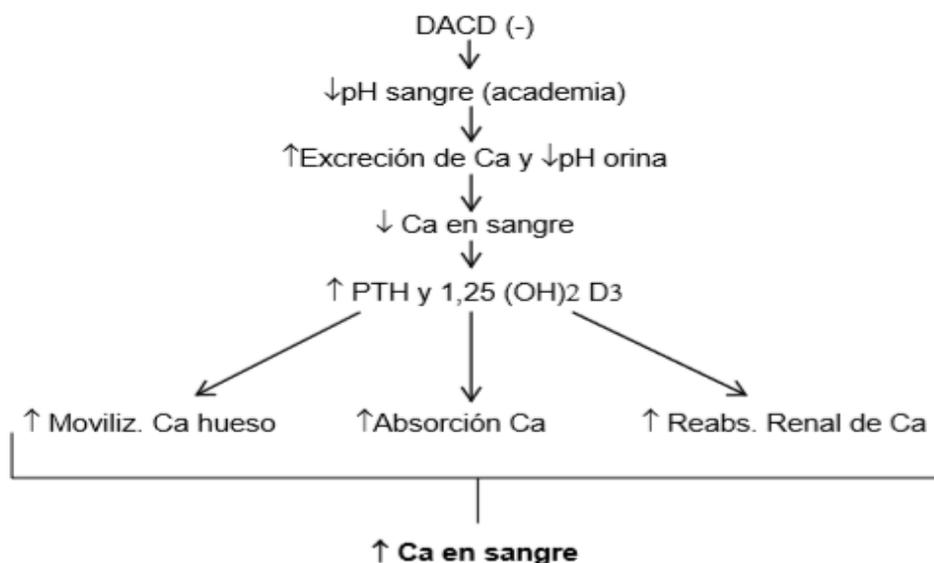


Figura 2.-Efecto de las dietas aniónicas para elevar el calcio plasmático (de Blas *et al.*, 1998.)

La efectividad de las dietas con una baja DCAD en la prevención de la fiebre de leche aumenta cuando se reducen los niveles de Potasio de esta (Horst *et al.*, 1997).

2.6.1 Efecto de las dietas aniónicas sobre el metabolismo del calcio:

- A nivel de los huesos: incrementa la sensibilidad de las células óseas a la Hormona Paratiroidea. Esto se debe a que a pH siete punto treinta y cinco la unión de la hormona con su receptor ubicado en células renales y óseas es de forma estrecha y la acción de esta es máxima. Mientras que cuando el pH aumenta por encima de siete punto cuarenta y cinco cambia la disposición espacial del receptor viéndose afectado el efecto de la hormona (Espino *et al.*, 2004).

- A nivel del tracto digestivo: estas dietas con carácter acidógeno reducen el pH intestinal favoreciendo la disolución de sales de calcio y, por lo tanto, su absorción pasiva (Block, 1984).

Por otro lado, estas dietas generan un aumento en el número de receptores en intestino para Vitamina D por lo que estos animales muestran mejor respuesta al Calcitriol (Espino *et al.*, 2004).

- A nivel renal: aumenta la sensibilidad de las células renales a la Hormona Paratiroidea que genera un aumento de la síntesis de 1,25dihidroxitamina D. Por otro lado, las condiciones acidas favorecen la hipercalciuria (Espino *et al.*, 2004).

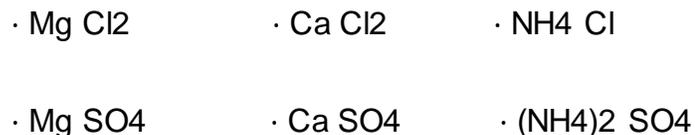
- A nivel sistémico: genera un aumento directo en la concentración de Calcio iónico, que es el ion biológicamente activo (de Blas *et al.*, 1998).

En la alimentación durante el parto debe considerarse el uso de dietas con una DCAD negativa ya que esto hace que disminuyan las enfermedades metabólicas, y mejora la producción y la reproducción de vacas lecheras, lo que se traduce en un beneficio económico importante en el hato (Isneiro, 1999).

2.7 Sales aniónicas

Para lograr una DCAD negativa en la alimentación durante tres a cuatro semanas parto se utilizan sales aniónicas. Estas son sales ricas en aniones fijos, no metabolizables a formas más sencillas, principalmente Cloro y Azufre, en relación con cationes como el Sodio y el Potasio (Espino *et al.*, 2004).

Las sales aniónicas utilizadas son: sulfatos y cloruros de calcio, magnesio y amonio (Horst *et al.*, 1997).



El efecto de estas seis sales aniónicas fue comparado en un estudio y se observó que no existen diferencias significativas en el efecto que estas tienen sobre el estado ácido-base o en el balance del Calcio (Oetzel *et al.*, 1991).

Sin embargo, (Goff *et al.*, 2004) señala que parecería haber un mayor efecto acidificante en sangre con las sales de cloro que con las de azufre, siendo el efecto de estas últimas un 60 por ciento del generado por los cloruros. El mismo

autor señala que en el pH urinario no existen diferencias entre las sales de cloro y las de azufre.

El gran problema de estas sales es su baja palatabilidad, esta característica es similar para los seis casos, aunque se observó que en una ración totalmente mezclada y a un nivel de dos Eq por día esta baja palatabilidad no afecta el consumo de materia seca.

En general las sales de calcio y de magnesio son más palatables que las de amonio (Espino *et al.*, 2004).

Otra de las dificultades para su uso es que las sales de amonio son una fuente de nitrógeno no proteico el cual puede generar toxicidad, sin embargo, en este mismo estudio se observó que a razón de dos Eq por vaca por día de estas sales no genero toxicidad alguna (Oetzel *et al.*, 1991).

Se cree que la ligera acidosis metabólica que produce el uso de las sales aniónicas es compensada por una mayor reabsorción renal de bicarbonato en las vacas lecheras (Vagnoni y Oetzel, 1998).

Las sales más comúnmente utilizadas son el cloruro de amonio y los sulfatos de amonio, calcio y magnesio.

Como se dijo anteriormente el efecto que tienen todas las sales es similar pero el cloruro de calcio y el cloruro de magnesio no son tan utilizados debido a que son muy irritantes y costosos respectivamente (de Blas *et al.*, 1998).

Según Goff (2012) otra fuente de aniones es al ácido clorhídrico que en su experiencia ha demostrado ser lo más aceptable. La dificultad de esto es que es

muy peligroso manejar a campo cuando se adquiere en forma líquida que es lo más habitual. Algunas empresas norteamericanas ya fabrican productos que contienen ácido clorhídrico pero que son seguros de manejar.

Las sales aniónicas juegan un rol clave para disminuir la DCAD y prevenir así la hipocalcemia, sin embargo, es de fundamental importancia tener en cuenta el contenido de potasio de la dieta base ya que altos niveles de este catión obligaran a aumentar las sales aniónicas lo que puede llevar a un descenso en el consumo de materia seca debido a su baja palatabilidad (Horst *et al.*, 1997).

Es muy importante a causa de esto disminuir al máximo el contenido de Potasio de las dietas para no tener que utilizar grandes cantidades de aniones.

El uso de estos forrajes con gran contenido de Potasio como es el caso de la alfalfa en su estado inmaduro es recomendado para las vacas en lactancia, pero no durante el parto (Horst *et al.*, 1997).

Otra opción muy buena para disminuir la DCAD es la utilización de henos de baja DCAD.

Con el cual se puede llegar a evitar la hipocalcemia de la misma manera que se logra con el uso de ácido clorhídrico, pero sin los efectos negativos que este puede tener en el consumo de materia seca cuando se lo utiliza como fuente de aniones (Charbonneau *et al.*, 2008).

2.7.1 Formulación de dietas preparto con sales aniónicas

La administración de sales aniónicas en la ración preparto, tres a cuatro semanas antes del parto, tiene como objetivo lograr una DCAD que oscile entre los menos cincuenta y menos ciento cincuenta mEq/kg MS (menos cinco a menos quince mEq/100 g MS) para generar un estado de acidosis metabólica capaz de prevenir la hipocalcemia.

Existen numerosos estudios donde se intenta obtener la DCAD más adecuada comparando raciones que tienen DCAD que van desde los menos cuatro mEq/kg MS hasta los trescientos dos mEq/kg MS.

En base a estos estudios se dedujo que no es aconsejable utilizar raciones con DCAD superiores a menos cincuenta mEq/kg MS ya que no aseguran una correcta acidificación del medio interno y por otro lado tampoco es aconsejable dietas preparto con DCAD inferiores a menos ciento cincuenta mEq/kg MS ya que esto no mejora el efecto de las sales aniónicas, es más costoso y tiene consecuencias negativas, pudiendo reducir el consumo de materia seca y causar la aparición de acidosis metabólica (Espino *et al.*, 2004).

Las sales aniónicas deben ser añadidas a tasas de 2000 – 3000 mEq por animal por día, de esta manera se obtendrá una DCAD que rondará entre los -50 y -150 mEq/kg MS. Para alcanzar este balance son necesarios unos 200 – 250 g por vaca de las mezclas de sales aniónicas que existen en el mercado (de Blas *et al.*, 1998).

Para que este plan de alimentación no termine fracasando es necesaria la suplementación de Calcio para llegar a niveles del uno punto dos al uno punto cuatro por ciento de la ración, lo que se logra con 150 a 180 gramos de Ca por vaca por día, ya que estas dietas acidógenas aumentan considerablemente la excreción de Calcio por orina (de Blas *et al.*, 1998).

También se debe tener en cuenta que las fuentes de aniones utilizadas incrementan la producción de orina y con esto la excreción de Calcio (Vagnoni y Oetzel, 1998).

Otro punto a tener en cuenta ya que las sales aniónicas son en gran parte sulfatos, son los niveles de Azufre totales de la dieta que no pueden sobrepasar el punto cuatro por ciento MS para evitar toxicidad (de Blas *et al.*, 1998).

Antes de la utilización de sales aniónicas es importante determinar la DCAD para decidir si se justifica su uso y en caso de ser necesarias, en base a esto calcular la dosis.

De este modo en rodeos que consumen una dieta con una DCAD > a +250 mEq/kg MS no es aconsejable utilizar sales aniónicas (Horst *et al.*, 1997).

Las sales no deben usarse en vaquillonas o en vacas de baja – media producción (<8000 kg/lactación) ya que estas no suelen presentar problemas de hipocalcemia (de Blas *et al.*, 1998).

2.7.2 Control de la suplementación aniónica

Según Goff (2012), el pH de la orina de las vacas permite hacer una evaluación bastante exacta del pH sanguíneo y es buen indicador del nivel adecuado de suplementos aniónicos. Normalmente el pH de la orina de vacas Holstein es superior a ocho punto dos; para el control óptimo de la hipocalcemia en estas vacas el pH urinario debe ser de seis punto dos a seis punto ocho lo que se logra mediante la utilización de sales aniónicas. Por encima de estos valores el riesgo de hipocalcemia aumenta y por debajo de esto llegando a cinco a cinco punto cinco se genera una acidosis metabólica que tiene como consecuencia la disminución del consumo.

La medición del pH urinario es fácil de realizar y aporta información para monitorear el efecto de las sales aniónicas (Goff *et al.*, 2004).

Según (Spanghero,2002) la disminución del pH luego de comenzar la suplementación aniónica en las vacas secas debe ser monitoreada mediante la medición del pH urinario para dosificar apropiadamente el componente aniónico de la ración.

Este descenso en el pH de la orina que va acompañado del mismo fenómeno en sangre se produce a partir de las 48 horas de iniciada la administración de las sales aniónicas y debe ser monitoreado para evaluar si se está suministrando el nivel correcto de aniones (Goff, 2012).

En su estudio (Rodríguez *et al.*, 1997) comparó el cambio en el pH provocado por una dieta control (DCAD=+16,9 mEq/100 g MS) y tres dietas aniónicas con diferente fuente aniónica (DCAD= -7,7 mEq/100g MS) en el tiempo que fueron utilizadas.

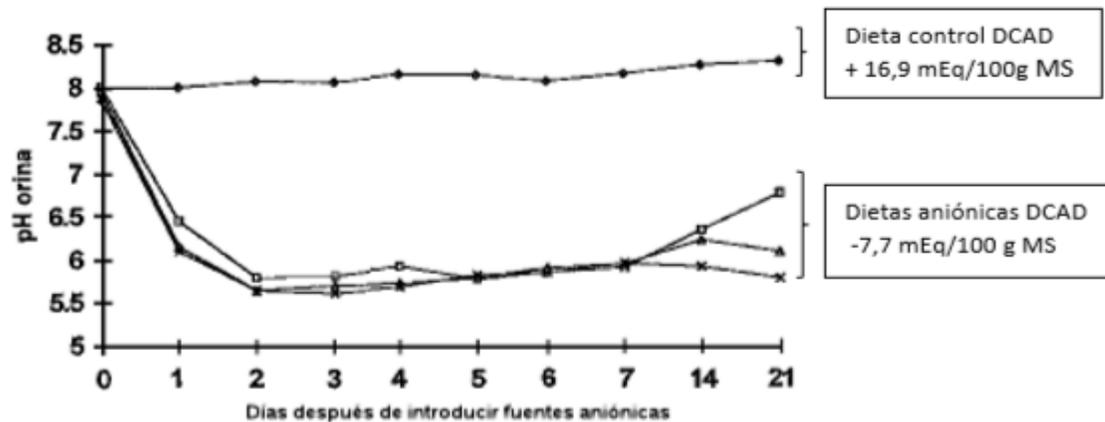


Figura 3.-Cambio del pH a partir del suministro de dietas aniónicas vs dieta control (Rodríguez *et al.*, 1997)

Las muestras de orina se deben coleccionar estimulando la vulva (Rodríguez *et al.*, 1997) y es muy importante que la colecta no contenga materia fecal y que la medición sea rápida para que la valoración del pH sea correcta (Goff, 2012).

En el estudio de (Bargo *et al.*, 2009) donde se relevó el pH urinario de vacas lecheras en parto en la Argentina, divididas en dos grupos, uno que recibía sales aniónicas y otro en donde no se las suministraba. Se observó que el 72,5 por ciento de las mediciones fue de un pH superior a ocho para en las que no

consumían sales aniónicas, mientras que en el grupo que consumían sales aniónicas superaron este valor un 17,9 por ciento de las vacas.

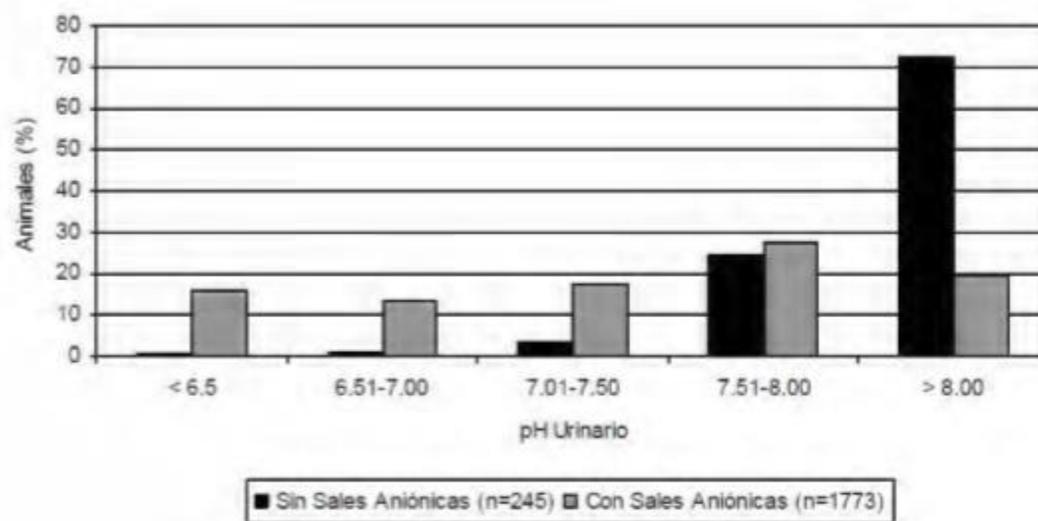


Figura 4.-Distribución porcentual de los animales según rango de pH urinarios de los animales que recibían o no sales aniónicas en la dieta de preparto (Bargo *et al.*, 2009).

Se observa que solo cerca del 30 por ciento de los animales suplementados alcanzaron valores de pH urinario menor a siete que es el valor adecuado para prevenir la hipocalcemia. La heterogeneidad de los pH urinarios de las vacas suplementadas se cree que es a causa de errores en la composición y preparación de las raciones en los distintos establecimientos o por la diferente composición de las sales según el fabricante. Por otro lado, muy pocos establecimientos habían realizado análisis de Sodio, Potasio, Cloro y Azufre dietarios (Bargo *et al.*, 2009).

2.7.3 Ventajas y desventajas en el uso de sales aniónicas en dietas de bovinos lechero.

- Ventajas:

- Tiene un efecto beneficioso sobre la homeostasis del Calcio en el parto (Goff, 2012).

- Aumento significativo de la producción, del orden del cuatro al cinco por ciento, debido a la disminución de los efectos colaterales de la hipocalcemia (Isneiro, 1999). Además la adición de sales aniónicas en el parto genera un aumento en el consumo de materia seca en el posparto y un aumento en la producción de leche (DeGroot *et al.*, 2010).

- Reduce el número de casos de fiebre de leche y de hipocalcemia subclínica (de Blas *et al.*, 1998).

- Mejora la eficiencia reproductiva ya que aumenta la tasa de concepción y reduce el periodo de espera voluntario (de Blas *et al.*, 1998).

- Desventajas:

- El efecto negativo que tiene el uso de sales aniónicas es la reducción de la ingesta debido a la baja palatabilidad que estas tienen (Vagnoni y Oetzel, 1998). Para evitar esta disminución en el consumo y las consecuencias negativas que esto conlleva es imprescindible que se presenten correctamente y uniformemente mezcladas con la ración para enmascarar su sabor (de Blas *et al.*, 1998). Otra

alternativa es mezclar las sales con alimentos de alta palatabilidad como es el silaje de maíz o melazas para evitar la disminución del consumo de materia seca (Espino *et al.*, 2004).

2.8 Cationes

Al parto la diferencia catión-anión (BCAD) de la dieta debe cambiar de negativo a positivo debido a que la producción de leche reduce el nivel de cationes (principalmente K y Ca) y la sangre necesita de amortiguadores buffer adicionales. La suplementación de K en forma de carbonato de potasio en la dieta es una manera eficiente de alcanzar niveles positivos y mejorar la producción y calidad de la leche (DeGroot 2004).

2.8.1 Los cationes y la bomba sodio potasio.

Este mecanismo celular mantiene constantemente altos niveles de potasio y bajos niveles de sodio dentro de la célula, el proceso requiere energía en forma de adenosín-trifosfato (ATP). De hecho, se estima que este proceso supone el 40 por ciento del gasto energético celular.

La bomba de sodio-potasio funciona constante e independientemente de otros procesos metabólicos. El transporte de iones a través de la membrana celular se hace en conjunción con el transporte de glucosa al interior de la célula. Considerando que la glucosa es la principal fuente de energía celular, es obvio que la ralentización de la bomba impedirá que la célula funcione a su máxima capacidad.

Esto es particularmente importante en las células de la glándula mamaria donde se requieren elevadas cantidades de glucosa para la síntesis de lactosa. Es evidente que la presencia de un catión en exceso sobre el otro provocará una reducción del mecanismo de bombeo, lo que ahorrará energía a la célula, pero simultáneamente obtendrá menor cantidad de glucosa, o aumentará la velocidad de bombeo por encima del nivel óptimo con el consiguiente derroche de energía.

2.8.2 La excreción renal de sodio y potasio.

En el riñón se conserva potasio a expensas de la eliminación de sodio. El exceso de un catión frente al otro puede provocar deficiencia inducida. Por ejemplo, si el potasio se encuentra en exceso, el riñón eliminará sodio creando una deficiencia a pesar de que el sodio se encuentre en la ración en cantidades adecuadas. En esta circunstancia, un déficit de cloro agravará aún más el problema ya que se requiere cloro para la eliminación renal de potasio en exceso.

2.8.3 Equilibrio acido-base en la sangre.

En el intestino delgado se absorbe cloro, cuando está en exceso sobre el sodio, por intercambio con el ion bicarbonato (HCO_3^-) para mantener la neutralidad eléctrica. Si la presencia de sodio es insuficiente para permitir la absorción de cloro y sodio en cantidad eléctricamente neutra, ocurrirá un excesivo paso de bicarbonato desde la sangre a intestino para compensar la absorción de cloro, que creará un estado de acidosis metabólica.

Alternativamente, existe la posibilidad de intercambiar el sodio ingerido por el ion hidrógeno (H^+) de la sangre cuando el sodio está en exceso sobre el cloro. Esta situación puede producir alcalosis metabólica. De hecho, el efecto

alcalogénico de un exceso de sodio puede afectar negativamente a los animales si no está equilibrado con el cloro, esta situación es corriente cuando se añade bicarbonato sódico (NaHCO_3) a las raciones de vacas lecheras sin alterar el aporte de sal (ClNa) para compensar el aporte extra de sodio (Berger, 1995).

2.8.4 Cationes en el desempeño lactacional de la vaca.

Como se mencionó anteriormente dietas altamente catiónicas para la vaca lactante más allá de aumentar la ingestión de materia seca, también ejercen cierta influencia en la producción y la composición de la leche.

Muchos autores (Tucker *et al.*, 1991; Delaquis y Block, 1995; Apper-Bossard y Peyeraud, 2004) demostraron diferencias significativas en los efectos de la suplementación con aniones en la disminución de la ingesta de MS. Esto podría explicarse por el hecho de que en el estudio de (Apper-Bossard y Peyrand, 2004), la dieta no contiene un agente buffer (NaHCO_3).

También en ese estudio, las vacas alimentadas con dietas con DCAD más bajo demostraron un rendimiento de leche más bajo, así como una disminución significativa en el pH de la sangre y la base de buffer de la sangre. Podría afirmarse que las diferencias en los niveles de DCAD entre +100 y +400 meq / kg MS no causan cambios significativos en la ingesta de alimento y la producción de leche cuando se utiliza un buffer dietético.

La eliminación de NaHCO_3 de la dieta indujo un aumento en el consumo de alimento y en el rendimiento de leche cuando el nivel de DCAD se elevó a aproximadamente 300 meq / kg de MS.

El aumento del nivel de grasa en la leche podría estar relacionado con la diferencia en la relación en el rumen causada por un nivel más alto de DCAD (Apper-Bossard y Peyeraud, 2004) o con el suplemento S (Tucker *et al.*, 1991).

Se ha reportado un aumento en el nivel de pH en la sangre y un aumento simultáneo en el exceso de cationes sobre los aniones a más de 200 meq / kg de MS.

Encontraron que los niveles de DCAD por encima de +200 meq / kg de MS indujeron una ligera caída en el rendimiento de la leche y la concentración de proteínas, grasas y lactosa en la leche.

Este exceso llevó a una mayor excreción de Na y de Cl y S en la orina, así como a una ligera disminución en la ingesta de alimento y el aumento de peso corporal.

Para cumplir con el requerimiento de nutrientes para las vacas, las dietas deben ajustarse con frecuencia en combinación con la variación del contenido de nutrientes en los piensos y el requerimiento de nutrientes o la ingesta de vacas en diferentes etapas fisiológicas y de lactancia (McCullough, 1992)

En conclusión, en las vacas lecheras lactantes, los cambios en las diferencias entre los aniones-cationes en la dieta causaron diferencias significativas en la composición de la leche, las concentraciones de Ca, P y Mg en el suero sanguíneo, así como en el nivel de algunos indicadores de equilibrio ácido-base (Roche *et al.*, 2003)

2.8.5 Ventajas y desventajas del uso de cationes en vacas lecheras.

Las vacas lactantes necesitan más cationes que las vacas secas debido a sus mayores requerimientos de sodio (Na) y potasio (K).

El exceso de Na y K debe evitarse en las gestaciones tardías, las dietas de vaca seca, ya que pueden provocar una alcalosis pudiendo desarrollar una hipocalcemia.

Más recientemente, se ha demostrado que el aumento de DCAD a través de la suplementación mineral de dietas que contienen 20 o 40 por ciento (base MS) de concentrados aumentó la síntesis de leche y grasa láctea (Apper-Bossard *et al.*, 2010).

Los autores sugirieron que las respuestas estaban relacionadas con la capacidad para mantener el pH sanguíneo a través de un aumento en el HCO_3^- en la sangre, así como un efecto localizado del amortiguador del rumen.

2.9 Principales fuentes de minerales

Cuadro 5.-Contenido en minerales de alimentos de origen vegetal (NRC,1988)

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

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

Cuadro 6.-Contenido en minerales de algunas semillas (NRC,1988)

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

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

Microminerales en mg/kg de MS.

Cuadro 7.-Composición mineral de la alfalfa y el silo de maíz según el estado vegetativo (Ciria et al., 2005)

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

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

2.10 Deficiencias de minerales en el ganado lechero y sus posibles repercusiones

Diversos minerales han sido identificados como nutrientes esenciales para los bovinos, participando en el metabolismo animal y como constituyentes estructurales de moléculas y tejidos. Por este motivo, proporcionar una cantidad adecuada de estos elementos en la dieta es fundamental para conservar la salud y maximizar la productividad de las vacas lecheras (NRC 2001, Wittwer 2007).

En las últimas décadas, la intensificación de las prácticas agropecuarias y la selección genética del ganado ha incrementado sostenidamente la producción láctea por animal, mejorando la competitividad de la explotación lechera. Sin embargo, esto ha conducido a un aumento en la presentación de alteraciones

metabólicas, asociado a los mayores niveles productivos disociados de un aporte nutricional adecuado (Wittwer 2007, Mulligan y Doherty 2008).

Las variaciones en el contenido de minerales en los pastos predisponen a la presentación de desbalances (Soder y Stout 2003).

Los desbalances de minerales ocupan un lugar importante dentro de los factores que limitan la productividad de las vacas lecheras. Estas alteraciones son originadas fundamentalmente por un desequilibrio entre la cantidad del elemento que ingresa al organismo y es absorbida, circula en la sangre y es depositada en los compartimientos u órganos de reserva y la que egresa por conceptos de mantenimiento y producción (Wittwer 2007, Mulligan y Doherty 2008).

En estas circunstancias, sus concentraciones se alejan de los límites fisiológicos y se desarrollan alteraciones bioquímicas que culminan en trastornos estructurales (Wittwer 2007).

Los cuadros carenciales son los desbalances minerales que se presentan con mayor frecuencia y constituyen un tema de preocupación asociado al bienestar animal y rentabilidad de la industria lechera (Khan *et al.*, 2004).

Sin embargo, su impacto en los sistemas productivos muchas veces está subestimado, ya que en la mayoría de los casos tienen una presentación subclínica, por lo que su efecto sobre la salud y los niveles productivos es difícil de percibir, pudiendo confundirse con otras alteraciones que comúnmente afectan a los animales (Contreras *et al.*, 1990, Khan *et al.*, 2004).

El correcto y oportuno diagnóstico de los desbalances minerales constituye una de las bases de la medicina preventiva en los rebaños lecheros (Wittwer 2007). Por este motivo, la determinación de la concentración sanguínea de los macro y microelementos, o actividad sanguínea de ciertos parámetros indicadores del balance mineral, se realiza con frecuencia mediante perfiles metabólicos (Herdt *et al.*, 2000, Van Saun 2016).

El desarrollo productivo de las praderas, mediante la fertilización e incorporación de especies y cultivos de mayor potencial productivo y calidad nutricional, se ha reflejado en un incremento sostenido en la producción de leche (Teuber *et al.*, 2007).

Cuadro 8.-Deficiencias de distintos minerales en rumiantes y su repercusión en el ganado (Acedo Rico, 1997).

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

2.11 Toxicidad de los minerales en el ganado bovino de leche

Todos los elementos son potencialmente tóxicos si se consumen en cantidades suficientemente altas, pero generalmente los niveles de tolerancia sin que aparezcan efectos negativos en el rendimiento o salud son muy superiores a las necesidades mínimas, y normalmente el margen de tolerancia entre los niveles de deficiencia y toxicidad es mayor para los oligoelementos que para los macrominerales (Ciria *et al.*, 2005).

Como muchas otras sustancias tóxicas, en el caso de los minerales y más en los micro minerales ocurre el fenómeno de la hormesis. Hormesis es una palabra de origen griego: *hormo* que significa excitar. La hormesis describe el fenómeno beneficioso que ejerce toda sustancia tóxica cuando se presenta al organismo a dosis muy bajas (Hadley, 2003).

Es decir, dosis muy bajas de As, Cd, F pueden estimular el sistema inmune del animal, mejorar sus defensas, y su estado de salud. Por lo tanto, el hecho de que algunos microminerales sean considerados tóxicos, no significa que deban ser excluidos por completo de la alimentación animal.

Además de los microminerales esenciales para el correcto funcionamiento del organismo, existen microminerales que pueden resultar tóxicos incluso en dosis muy bajas. Las concentraciones de estos microminerales tóxicos están regulados en la unión europea como sustancias indeseables en la alimentación animal.

Cuadro 9.- Concentraciones máximas legales (unión europea) y tóxicas de minerales con riesgo de inducir toxicidad en rumiantes (Bach y Devant, 2004).

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

Cuadro 10.- Límites máximos recomendados(ppm) y máximos legales (ppm) de microminerales (Ciria *et al.*, 2005).

tóxicos

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

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

2.12 Resultados y recomendaciones en el uso de minerales en bovinos lecheros.

Los minerales esenciales que precisa el ganado son inferiores al tres por ciento de la MS ingerida.

El coste de los macrominerales es relativamente bajo, excepto el P.

La mezcla de materias primas también aporta minerales esenciales.

El coste de suplementación con minerales es bajo y resultaría más caro si el descenso de los rendimientos es como consecuencia de las deficiencias, intoxicaciones o desequilibrios en algún elemento esencial.

Los minerales son tan importantes como cualquier otro nutriente ya que actúan como catalizadores en muchas de las reacciones más importantes del organismo por lo tanto influyen en el bienestar del animal (Ammerman C B *et al.*, 1995).

Existen lagunas sobre las funciones de algunos minerales sobre su determinación en alimentos, organismo y sus interacciones, calidad y disponibilidad de algunas fuentes, su metabolismo y sobre la toxicidad y necesidades según el estado fisiológico o productivo.

Por ello es imprescindible tener en cuenta con el tipo de ganado con el que se trabaja, cuáles son sus necesidades en minerales, la zona en la que nos encontramos y con qué materias primas se contara para de esta manera lograr hacer una correcta suplementación mineral y evitar pérdidas económicas.

De acuerdo con los resultados anteriores, el uso de sales aniónicas como aditivo en dietas de fin de gestación, parece una alternativa eficaz para reducir la incidencia de hipocalcemia cuando no es posible o económico reducir el contenido en Ca y/o K (forrajes en base a leguminosas o gramíneas jóvenes fuertemente estercoladas).

La recomendación más habitual es que en las raciones de vacas secas se mantenga una DCAD negativa del orden de -100 a -150 meq/kg MS durante las 3-4 semanas antes del parto, lo que se consigue suministrando sales aniónicas.

Además, las raciones deben proporcionar de 150 a 180 g Ca por vaca y día (1,2-1,4% de la ración), ya que las dietas acidógenas aumentan la excreción de Ca en la orina.

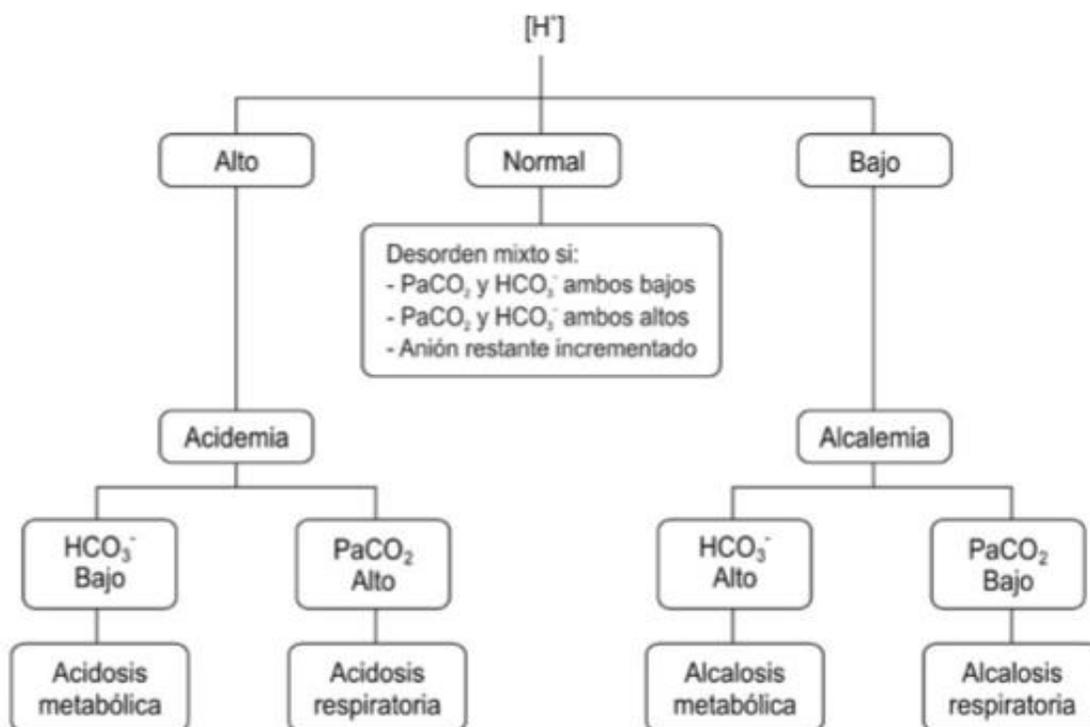


Figura 5.- Diagnóstico inicial de los disturbios acido-base (Halperin y Goldstein, 1999).

Cuadro 11. - Categorización de iones simples en plasma de bovino adulto (Constable, 2002).

IONES FUERTES	(mEq/L)		(mEq/L)
<u>Cationes</u>		Aniones:	
Sodio	144,0	Cloro	104,0
Potasio	4,5	Sulfato	1,6
Calcio	4,5	L-lactato	0,9
Magnesio	1,7	β -hidroxibutirato	0,8
Amonio	0,1	Acetoacetato	0,2
Cationes totales	154,8	Ácidos grasos no esterificados	0,4
IONES BUFFER <u>Aniones volátiles:</u> Bicarbonato	(mEq/L) 26,4	Acetato	1,5
		Propionato	0,08
		Butirato	0,04
		Urato	0,5
		Succinato	0,5
Aniones no volátiles:		Piruvato	0,1
Proteína	14,6	Aniones totales	110,6
Fosfato	2,9		
Citrato	0,2		
Aniones no volátiles totales	17,7		

3. CONCLUSIONES

Existe la convicción que la mayoría de los pastos cultivados en los suelos son deficientes en minerales útiles para la alimentación de los rumiantes y una forma económica de suplir esta insuficiencia es suministrando sales mineralizadas, premezclas o suplementos minerales.

Los desequilibrios de minerales en suelos y en los forrajes producen efectos negativos en los procesos reproductivos de los rumiantes lo que refleja incremento en la mortalidad y disminución de la natalidad.

Todos los cambios en el pH sanguíneo tanto en bovinos saludables como enfermos ocurren a través de cambios en tres variables: PCO₂ (bióxido de carbono en el plasma), la concentración de electrolitos y la concentración de ácidos débiles totales.

La manipulación de los aniones y los cationes en la dieta por medio de la adición de sales fuertemente aniónicas (baja DCAD, acidogénicas) mejoran la disponibilidad y la absorción del calcio, disminuyendo así el riesgo de fiebre de leche, siendo el pH urinario como un indicador biológico preciso y de fácil uso en campo.

El entendimiento de los disturbios electrolíticos y ácido-base depende de la comprensión de los mecanismos fisiológicos que los regulan y de la interpretación de los cambios en el pH sanguíneo. Algunas enfermedades producen un patrón constante de pérdidas de fluidos y electrolitos con cambios predecibles en el volumen y la concentración.

Además, uno o más de los componentes que los regulan pueden estar comprometidos, lo cual, puede resultar en desórdenes del estado ácido-base. Actualmente existen tres enfoques para la evaluación clínica del estado ácido-base: la ecuación de Henderson-Hasselbach, el modelo de iones fuertes y el modelo de iones fuertes simplificado, quedando a consideración del clínico su utilización.

La manipulación de la diferencia entre cationes y aniones en la dieta (DCAD) es definida como los mili-equivalentes de $(Na + K) - (Cl + S)$ por kilogramo (mEq/kg) de materia seca (MS) y tiene un impacto directo sobre el estado ácido-base, siendo el cloruro de amonio la sal con más poder acidificante y el sulfato de magnesio la sal aniónica más palatable, teniendo en cuenta que el pH urinario es una herramienta útil para evaluar el grado de acidosis metabólica impuesto por las sales aniónicas.

Los valores de laboratorio interpretados por cualquier modelo son solo un paso en el análisis electrolítico y ácido-base del paciente.

Para tomar decisiones racionales, se deben correlacionar estos valores con el cuadro clínico y el conocimiento de la bioquímica y fisiología subyacente, utilizando los importantes principios de la medicina, basada en la evidencia.

La ecuación de Henderson - Hasselbach es expresada como:

$pH = pK + \log \frac{[HCO_3^-]}{S \times PCO_2}$ (bióxido de carbono en el plasma), donde pK es el logaritmo de una constante de disociación y S un factor de solubilidad que convierte la PCO₂ en moles/L.

La diferencia de cargas entre cationes fuertes y aniones fuertes completamente disociados en el plasma es estimada así: $([Na^+] + [K^+] + [Ca^{2+}] + [Mg^{2+}] - ([Cl^-] + [otros\ aniones\ fuertes: A])) = 44\ mEq/l$ en plasma en terneros. A esto se le llama diferencia de iones fuertes (DIF).

Por último, el Modelo de Iones Fuertes Simplificado asegura que los componentes plasmáticos actúan como iones fuertes (DIF+), iones buffer volátiles - concentración de bicarbonato (HCO_3^-) o iones buffer no volátiles (A-). Siempre, la concentración de iones fuertes [DIF+] equipará a la suma de la concentración del ion buffer bicarbonato $[HCO_3^-]$ más la concentración del ion buffer no volátil [A-], de manera que $[DIF+] - [HCO_3^-] - [A^-] = 0$, para mantener la electro-neutralidad.

La ecuación asume que todos los componentes ionizados plasmáticos se pueden clasificar como un ion fuerte (DIF+), un ion buffer volátil (HCO_3^-) o un ion buffer no volátil (A-). Esta es la teoría que fundamenta el modelo de iones fuertes simplificado.

La cantidad de suplemento necesario varía según los animales y las condiciones del sistema de producción, siendo los animales de alto potencial productivo más demandantes en este tipo de nutrientes. Factores como la fertilización de pastos y dietas balanceadas pueden suplir el requerimiento de algunos de los minerales mencionados.

Tanto los macrominerales como los microminerales son importantes para los procesos metabólicos de los animales, como lo es un adecuado desempeño del sistema inmunológico, lo cual se traduce a un mejor estado de salud del animal y se refleja en mejoras en crecimiento y en reproducción.

Dado que una parte importante del tiempo que toma el desarrollo de novillas comprende el periodo predestete, es necesario recalcar la importancia de la suplementación materna, que puede ayudar a proveer una leche en mayor cantidad y de mejor calidad, favoreciendo el desarrollo de las terneras.

La utilización de productos inyectables, si bien mejora algunas de las constantes bioquímicas sanguíneas y los perfiles minerales en el hígado, ha fallado en presentar una respuesta significativa en el crecimiento y desarrollo corporal. Empero, los estudios encontrados emplean productos con efectos de corto plazo.

Es importante prestar atención a factores como la edad del animal, calidad de alimento y suelos e incluso la época del año, ya que como se observa en diferentes estudios realizados, los resultados obtenidos al suplementar pueden variar según estas circunstancias.

Debe rescatarse que las dosis empleadas, las vías de aplicación, las posibles interacciones con otros factores nutricionales y ambientales en el sistema y la efectividad de cada sustancia son variables importantes para considerar para predecir los.

Se logró concluir que es importante conocer los requerimientos de los minerales brindados a los animales, ya que un rango menor al requerido se

considera deficiencia y un exceso de estos no beneficia la producción sin embargo incrementa los costos del sistema productivo.

Especialmente en sistemas intensivos, donde el exceso de minerales es común, la contaminación de los ecosistemas con minerales pesados está aumentando, debido a que la suplementación en exceso no tiene efectos detrimentales- en algunos casos- en el animal y normalmente es costo-efectiva.

Por ello, a pesar de ser un tema analizado desde hace muchos años, sigue siendo necesario profundizar más en su estudio, a fin de determinar esquemas de suplementación mineral que sean más eficientes en el aprovechamiento de los recursos naturales (no renovables como las fuentes minerales) y de esta forma priorizar la salud de los animales sobre el impacto económico que la obtención de los mismos (suplementos minerales) pueda generar en el bolsillo de los ganaderos, ya que, al final el costo-beneficio de estas acciones es a favor del productor porque así evitara problemas metabólicos que a la larga le harán perder sumas de capital mucho mayor.

Por ende, es de vital importancia el manejo adecuado de la suplementación en el ganado bovino de leche, y en general, en cualquier especie que así lo requiera ya sea productora de carne o leche.

4. LITERATURA CITADA

- Acedo R.J.1997. Avances en nutrición y alimentación animal. Curso de especialización N° 13. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. España.
- Agricultural Research Council (ARC).1980. The nutrient Requeriments of rumiants livestock. Commonwealth Agricultural Bureaux. 351 p.
- Ammerman, C.B., D.H. Baker and A.J. Lewis. 1995. Bioavailability of nutrients for animals. Aminoacids, minerals and vitamins. National Academic Press. San Diego, USA.
- Apper-Bossard, E and J.L. Peyeraud. 2004. Dietary cation- anion difference could enhance acid-base status of lactating dairy cows submit to subacidosis. Journal Animal Science. 13(1): 27-30.
- Apper-Bossard, E., P. Faverdin., F. Meschy and J.L. Peyeraud. 2010. Effects of dietary cation-anion difference on ruminal metabolism and blood acid-base regulation in dairy cows receiving 2 contrasting levels of concéntrate in diets. Journal Dairy Science. 93(9): 4196-4210.
- Bach A y M. Devant. 2004. Microminerales en la nutrición de rumiantes. Aspectos técnicos y consideraciones legales. Curso de especialización N° 20. Avances en nutrición animal. FEDNA. España.
- Bargo F., F. Busso., C. Corbellini., J.M. Grigera., V. Lucas., V. Podetti., G. Tuñón., y I. Viadurreta. 2009. Organización y análisis de un sistema de registros de enfermedades del periparto en vacas lecheras. Su incidencia e impacto económico sobre las empresas. Buenos Aires, Argentina. Pp. 1-44.
- Beede, D.K. 2005. Formualtion of rations with optimal cations and anions for lactation. Tri-state dairy nutrition conference. Pp. 93-112.

Begum I., A. Azim., S. Akhter., M.I. Anjum and M. Afzal. Mineral dynamics Blood and milk in dairy buffaloes fed on calcium and phosphorus supplementation. *Pakistan Veterinary Journal*. 30(2): 105-109.

Berger, L.L. 1995. Animal Feed Science technology. *American Nutrition Conferences*. 53(2): 99-107.

Bicalho, M.L., F.S. Lima., E.K. Ganda., C. Foditsch., E.B. Meira., V.S. Machado., A.G. Teixeira., G. Olkonomou., R.O. Gilbert., y R.C. Bicalho. 2014. Effect of trace mineral supplementation on selected minerals energy metabolites, oxidative stress and immune parameters and its association with uterine Disease in dairy cattle. *Journal Dairy Science*. 97(7): 4281-4295.

Blas, C., C. Resch., J. Amor., y P. García. 1998. Utilización de sales aniónicas en dietas para vacas secas. *Fundación española para el desarrollo de la nutrición animal*. Curso de especialización, avances en nutrición y alimentación animal, Nº 14. España. 6p.

Block, E. 1984. Manipulating dietary anions and cationes for prepartum dairy cows to reduce incidence of milk fever. *Journal dairy Science*. 67(12): 2939-2948.

Brendon, R.M., and T.J. Dugmor. 2012. Mineral and vitamin nutrition of dairy cattle. *Department of Agriculture Enviromental Affairs and Rural Development*. South África.

Charboneau, E., P.Y. Chouinard., G.F. Tremblay., G. Allard and D. Pellerin. 2008. Hay to reduce dietary cation anion difference for dry dairy cows. *Journal Dairy Science*. 91(4): 1585-1596.

Church, D.C., and W.G. Pond. 1987. *Fundamentos de nutrición y alimentación de los animales*. Limusa-Noriega. México, DF. p. 30, 34, 37.

Church, D.C., W.G. Pond and K.R. Pond. 2002. *Fundamentos de nutrición y alimentación de los animales*. 2 ed. Limusa-Noriega. México, DF. p. 45, 48, 49.

Ciria C., J, Villanueva M., R y Ciria G., J. 2005. *Avances en nutrición animal en ganado bovino*. Universidad de Valladolid. Seminario de pastos y forrajes Nº 9. Valladolid, España. 19 p.

Constable, P.D. 2002. Calculation of variables describing plasma non volatile weak acids for use in strong ion approach to acid-base balance. *American Journal of Veterinary Research*. 63(4): 482-490.

Contreras P.A., F. Wittwer y H. Böhmwald. 1990. Concentraciones de calcio, fósforo y magnesio en suero sanguíneo de bovinos de leche en 40 predios lecheros de la décima región de Chile. *Archivos de Medicina Veterinaria*. 28: 39-50.

Corbellini C. 1998. Evaluación del estado nutricional en vacas lecheras de alta producción. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Curso internacional de producción lechera. N° 1. Nutrición animal. Estación experimental agropecuaria Rafaela, Argentina.

Dana, K.T., T.M. Socha., K.C. Swenson and A.J. Bruce. 2002. Efectos de minerales traza en el desempeño del ganado lechero y de engorda. *Asociación mexicana de producción animal*. N° 30. Guadalajara, México.

DeGroot, M.A. 2004. Effect of prepartum anionic supplementation on periparturient feed intake and behavior, health and milk production. Tesis. Doctorado. Oregon State University. Oregon, USA. 98 p.

DeGroot, M.A., E. Block and P.D. French. 2010. Effect of prepartum anionic supplementation on periparturient feed intake health and milk production. *Journal Dairy Science*. 93(11): 5268-5279.

Delaquis, A.M and E. Block. 1995. Dietary cation-anion difference acid-base status, mineral metabolism, renal function and milk production of lactating cows. *Journal Dairy Science*. 78(10): 2259-2284.

Espino L., M.L. Suarez., G. Santamarina., A. Goicoa., y L.F. Fidalgo. 2004. Utilización de las sales aniónicas en la prevención de la paresia puerperal hipocalcémica. *Archivos de Medicina Veterinaria*. 37(1): 7-13.

Garmendia J. 2007. Los minerales en la reproducción bovina. Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Central de Venezuela. N° 1. Maracay, Venezuela. 6 p.

Gengelbach, G.P., J.D. Ward and J.W. Spears. 1994. Effect of Dietary copper, iron and molybdenum on growth and copper status of beef cows and calves. *Journal Animal Science*. 72(10): 2722-2727.

Goff J., P. 2012. Controlando la hipocalcemia en las vacas de leche. Libro de ponencias y comunicaciones orales. Asociación nacional de especialistas en medicina bovina de España. Congreso internacional de medicina bovina N° 17. Santander, España. Pp. 117-121.

Goff, J.P., R. Ruiz and R.L. Horst. 2004. Relative acidifying activity of anionic salts commonly used to prevent milk fever. *Journal Dairy Science*. 87(5): 1244-1255.

Grace, N.O., and S.O. Knowles. 2012. Trace element supplementation of livestock in New Zealand. Meeting the challenges ok free- rango grazing systems. *Veterinary Medicine International*. Vol. 2012: 8 p.

Guyot, H., Oliveira, L.A., E. Ramery., J. Franc., O. Beckers and F. Rollin. 2011. Effect of a combined iodine and selenium supplementation on I and Se status of cows and their calves. *Journal Trace Element Medicine and Biology*.25(2): 118-124.

Hadley, C. 2003. What doesn't kill you makes you stronger. *European Molecular Biology Organization (EMBO)*.4: 924-926.

Halperin, M.L and M.B. Goldstein. 1999. The clinical approach to acid-base disorders. *Fluid electrolyte and acid-base physiology*. 3ed. Philadelphia, USA. 52 p.

Herdt, T.H., W. Rumbelha and W.E. Bruselton. 2000. The use of blood analyses to evaluate mineral status in livestock. *The Veterinary Clinics of North America, Food Animal Practice*. 16(3): 423-444.

Horst, R.L., J.P. Goff., T.A. Reinhardt and D.R. Buxton. 1997. strategies for preventing milk fever in dairy cattle. *Journal Dairy Science*. 80(7): 1269-1280.

Huerta B., M. 1999. Diagnóstico del estado mineral de explotaciones bovinas en México. Universidad Autónoma Chapingo. Seminario internacional estrategias de suplementación a bovinos en pastoreo N° 2. Chapingo, México. p 154-172.

Hurwitz, S. 1996. Homeostatic control of plasma calcium concentration. *Critical Review in Biochemistry and Molecular Biology*. 31: 41-100.

Isneiro, B.M. 1999. Importancia de las sales catiónicas-aniónicas en la alimentación de vacas lecheras. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias (FONAIAP). FPNAIAP divulga N° 63. Venezuela. 1 p.

Khan, Z.I., A. Hussain., M. Ashraf., M.Y. Ashraf., M. Yousaf., M. Akhtar and A. Maybool. 2004. A review on mineral imbalances ingrazing livestock and usefulness of soil dietary components animal tissues and fluid análisis in the assessment of these imbalances. *Journal of Animal and Veterinary Advances*. 3(6): 394-412.

Kinkaid, R. 1993. Macroelementos para los rumiantes. El rumiante fisiología digestiva y nutrición. Acribia, Zaragoza, España. Pp. 373-390.

Kramer, J.H., I.T. Malk, T.M. Phillips and W.B. Weglick. 2003. Dietary magnesium intake influences circulating pro inflamator influences neuropeptide levels and loss myocardial tolerance to postischemic stress. *Experimental and Biology Medicine*. 228 (6): 73-675.

Krzywiecki, S., R. Bodarski., J. Pres and W. Luczak. 2005. The relationship between catión-anion differences in dairy cow diet and some Blood índices levels and milk composition. *Journal of Animal Science*. 14(1): 271-274.

Linser, J.R. 1981. Potassium in ruminant. In: 4 Annual international mineral conference. St Peters beach, USA.

Maynard, A.L., J.K. Losli., H.F. Hintz and R.G. Warner. 1981. *Nutrición animal*. 7 ed. McGraw-Hill editorial. México. 640p.

McCullough, M.E. 1992. Total mixed rations reach beyond NRC recommendations. *Feedstuffs*. 64(58): 12-21.

McDonald, P., R.A. Edwards., J.F.P. Greenhalg and C.A. Morgan. 2001. Animal nutrition. 6 ed. Prentice hall. Londres, Reino Unido. 693 p.

McDowell, L.R., and J.D. Arthington. Minerales para rumiantes en regiones tropicales. Institute of Food and Agriculture Science. Florida, USA. 3 p.

McDowell, L.R., J.H. Conrad., F.G. Hembry., Rojas L., X y J. Velázquez. 1993. Minerales para rumiantes en pastoreo en regiones tropicales. 2 ed. Elsevier. Universidad de Florida, USA.

Minson, D.J. 1990. Forages in ruminant nutrition. Academic Press. Wisconsin, USA. pp. 208-382.

Mulligan, F.J and M.L. Doherty. 2008. Production diseases of the transition cow. The Veterinary Journal. 176(1): 3-9.

National Research Council (NRC). 1980. Mineral tolerance of domestic animals. Washington DC, USA. National Academic Press. pp. 30-330.

National Research Council (NRC). 1988. Nutrient Requeriments of dairy cattle. 6 ed. National Academy Press. Washington DC, USA. pp. 90-110.

National Research Council (NRC). 2001. Requeriments of dairy cattle. 7 ed. Washington DC, USA. National Academic Press. pp. 15-100.

National Research Council (NRC). 2005. Mineral tolerance of animals. 2 ed. Washington DC, USA. National Academic Press. pp. 25-216.

Neathery, M.W., D.G. Pugh., W.J. Miller., R.F. Gentry and R.H. Whitlock. 1979. Potassium toxicity in dairy calves. Journal Dairy Science. 63(1):82-85.

Oetzel, G.R., M.J. Feitman., D.W. Hamar and J.D. Olson. 1991. Screening of anions salts for palatability effects on acid-base status and urinary calcium excretion in dairy cows. Journal Dairy Science. 74(3): 965-971.

Puls, R. 1994. Mineral levels in animal health. Diagnostic data. 2 ed. Sherpa international. Canadá. 343 p.

Ramos N., J.M., B.J. Thering., M.R. Waldron., P.W. Jardon and T.R. Overton. 2009. Effects of anión supplementation to low potassium prepartum diets on macromineral status and performance of periparturient dairy cows. *Journal Dairy Science*. 92(11): 5677-5691.

Roche, J.R., D. Dalley., P. Moate., C. Grainger., M. Rath and F. Omara. 2003. Dietary cation-anion difference and the health and production of pastured- fed dairy cows. Dairy cows in early lactation. *Journal Dairy Science*. 86(3): 970-978.

Rodríguez L.A., T.E. Pilbeam., R.W. Ashley., S.L. Neudeck., R.J. Tempelman., J.F. Davidson., y D.K. Beede. 1997. Uso de fuentes aniónicas en dietas con diferentes concentraciones de calcio para alterar el pH de la orina y la concentración de calcio en plasma en vacas Holstein. *Archivo Latinoamericano de Producción Animal*. 5(1): 238-241.

Sobhanirad, S., D. Carlson and R. Bahari. 2010. Effect of zinc methionine or zinc sulfate supplementation on milk production and composition of milk in lactating dairy cows. *Biological Trace Element Research*. 136(1): 48-54.

Soder, K.J. and W.L. Stout. 2003. Effect of soil type and fertilization level on mineral concentration of pasture. Potential relationships to ruminant performance and health. *Journal Animal Science*. 81(6): 1603-1610.

Spanghero M. 2002. Urinary pH and animal excretions of cows fed four different Forages supplemented with increasing levels of an anions compound feed. *Animal Feed Science and Technology*. 98(3): 153-165.

Suttle, N.F. 1991. The interaction between copper, molybdenum and sulphur in ruminant nutrition. *Annual Review of Nutrition*. 11: 121-140.

Suttle, N.F. 2010. Mineral nutrition of livestock. 4 ed. Centre for Agricultural Bioscience International. Reino Unido. 565 p.

Tarbutck, E., and E. Lutgens. 2005. Ciencias de la tierra. Una introducción a la geología física. 8 ed. Pearson educación s.a. Madrid. pp. 77-106.

Teuber N., J. Parga., O. Balocchi., V. Andwandter., C. Canseco., A. Abarzua., R. Demanent., y J. Lopetegui. 2007. Manejo del pastoreo. Andros impresores. Chile. Pp. 5-7.

Tucker, W.B., J.F. Hogue., D.F. Waterman., T.S. Swenson., Z. Xin., R.W. Hemken., J.A. Jackson., G.D. Adams and L.J. Spicer. 1991. Role of the sulfur and chloride in the dietary cation-anion balance equation for lactating dairy cattle. Journal Animal Science. 69(1): 1205-1213.

Underwood, E. J., and N. F. Suttle. 1999. Mineral nutrition of livestock. 4 ed. MPG books group. Londres, UK. Pp. 1-39.

Underwood, E.J. 1981. The mineral nutrition of livestock. 2 ed. Commonwealth Agricultural Bureaux. Londres, Reino Unido. Pp. 67-477.

Vagnoni, D.B. and G.R. Oetzel. 1998. Effects of dietary cation-anion difference on the acid-base status of dry cows. Journal Dairy Science. 81(6): 1643-1652.

Van Saun, R.J. 2016. Indicators of dairy cow transition risks. Metabolic profiling revisited in: updates on ruminant production and medicine. Tierarztl Prax Ausg G Grosstiere Nutztiere. 44(2): 118-126.

Vrzgula, L. 1990. Metabolic disorders and their Prevention in farm animals. Elsevier Science Ltd. New york, USA. pp. 30-102.

Waldron, K.J., J.C. Rutherford., D. Ford and N.J. Robinson. 2009. Metalloproteins and metal sensing. Nature. 469 (7257): 823-830.

Wittwer F.2007. Diagnóstico y control de carencias minerales en bovinos. Seminario Internacional de Nutrición y Alimentación Animal. Universidad Rural y Agropecuaria de Colombia, UNISARC. Risaralda, Colombia.