

# EL BALANCE CATION-ANION EN LA NUTRICION DEL GANADO LECHERO

Jorge Ml. Sánchez<sup>1</sup>

## Abstract

**Dietary Cation-Anion Balance in Dairy Cattle Nutrition. A Review.** Dietary Cation-Anion Balance (DCAB) is a relatively new concept in Dairy Cattle nutrition and feeding. It is defined as  $\text{mEq (Na+K)-(Cl+S)/kg of DM}$ . Metabolic acidosis and alkalosis is given by blood protein concentration and by inorganic ions absorbed from the gastrointestinal tract. If we consider blood protein concentration to be relatively constant, the metabolic acid-base balance of blood and cells is attributed mainly to inorganic cations and anions supplied by the diet. Anions have an acidogenic effect in the organism, while cations are alkalogenic. Changes in the metabolic acid-base balance can affect cellular enzyme activity and the structure of hormone receptors, reducing production of the animals and resistance to metabolic imbalances. However, technical manipulation of this balance can contribute to improve health, production and reproduction. Several studies have found that feeding anionic (acidogenic diets) (-100 to -200 mEq/kg of DM) during the last 3 to 4 weeks of the gestation period contribute to improve calcium metabolism and to reduce the level of hypocalcemia normally occurring during the puerperal period, reducing

---

<sup>1</sup> Centro de Investigaciones en Nutrición Animal, Escuela de Zootecnia, Universidad de Costa Rica

incidence of milk fever and other problems such as retention of fetal membranes. Also, it has been observed that cows fed these diets improved milk production in 3 to 7% during the next lactation, as well as reproduction. About the best DCAB to be fed during the lactation period, it has been found that alkalogenic diets are better for milk production. Some workers have found the best milk production and DM intake feeding diets with a DCAB of +300 to +500 mEq/kg of DM (calculated as (Na+K-Cl)). Acidogenic salts usually used to feed dry cows are Calcium Sulfate, Magnesium Sulfate, Ammonium Sulfate, Calcium Chloride, Magnesium Chloride and Ammonium Chloride. Palatability of these salts is low. Diets between -100 to -200 mEq/kg of DM have given the best results to reduce incidence of milk fever. These acidogenic rations should supply between 140 and 150 g of calcium per cow per day and must be fed at least during 10 days prepartum.

## INTRODUCCION

*El balance catión-anión de una dieta (BCAD) es un concepto relativamente nuevo en la nutrición y prácticas de alimentación del ganado lechero. Es conocido también con el nombre de balance de electrolitos, álcali-alcalinidad, diferencia catión-anión o diferencia entre los iones fuertes de una dieta.*

El BCAD se define como la suma de los miliequivalentes (mEq) de los cationes sodio (Na<sup>+</sup>) y potasio (K<sup>+</sup>) menos la sumatoria de los miliequivalentes de los aniones cloruro (Cl<sup>-</sup>) y azufre (S<sup>-</sup>) por kg de materia seca (MS). Aunque otros electrolitos afectan los mecanismos homeostáticos encargados de mantener el balance catión-anión en el organismo, o balance ácido-base, estos son los que tienen el mayor

impacto sobre el mismo (Beede, 1992; Block, 1993; Goff, 1992; Oetzel, 1991; Oetzel, 1994).

La manipulación del balance ácido-base en la alimentación del ganado lechero puede contribuir a mejorar la salud y la producción; así dietas para vacas prontas bajas en BCAD (acidogénicas) pueden contribuir a reducir el tiempo y la severidad de la hipocalcemia que normalmente se da durante el parto y ayudar a reducir la incidencia de la fiebre de leche, el edema de la ubre o el síndrome de la vaca flácida (vacas que no expulsan las membranas fetales durante el período esperado, ni que consumen ni producen leche normalmente durante el inicio de la lactancia), y a mejorar la producción en la siguiente lactancia y la reproducción de los animales. Por el contrario, dietas para vacas en lactación altas en BCAD (alcalinogénicas) han incrementado el consumo de MS y la producción y reducido el efecto del estrés calórico sobre los animales (Beede, 1992; Beede, et al., 1992; Beede, 1994; Block, 1984; Block, 1993; Gaynor, et al., 1989; Goff, et al., 1991; Goff, 1992; Oetzel, 1991; Oetzel, 1994; Sánchez, et al., 1994; Tucker, et al., 1990).

Al ser los forrajes del Trópico Húmedo muy ricos en cationes (alcalinogénicos), la utilización del concepto catión-anión tiene gran potencial para mejorar las prácticas de alimentación del ganado lechero de estas regiones (Sánchez, et al., 1995).

# LOS PRINCIPIOS DEL BALANCE CATION-ANION

La sangre tiene los iones fuertes  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{K}^+$ , calcio ( $\text{Ca}^{++}$ ), magnesio ( $\text{Mg}^{++}$ ), fósforo ( $\text{P}^-$ ), proteínas aniónicas, ácidos orgánicos, anhídrido carbónico ( $\text{CO}_2$ ), ácido carbónico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ), bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) y carbonato ( $\text{CO}_3^-$ ). De estos los niveles de  $\text{H}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{HCO}_3^-$  y  $\text{CO}_3^-$  dependen de la presión parcial de  $\text{CO}_2$  ( $p\text{CO}_2$ ) en la sangre. Así, alteraciones en la frecuencia respiratoria provocan cambios en la  $p\text{CO}_2$  pudiendo producir una acidosis respiratoria (cuando se deprime la frecuencia respiratoria y hay acúmulo de  $\text{CO}_2$ ) o alcalosis respiratoria (cuando aumenta la frecuencia respiratoria y se reduce la concentración de  $\text{CO}_2$ ). Los cambios en la frecuencia respiratoria son rápidos y pueden alterar el pH de la sangre en pocos minutos. Los otros factores que afectan el balance catión-anión son las concentraciones de iones inorgánicos y de proteína en el organismo. La concentración de iones inorgánicos está determinada por la absorción de la dieta y la remoción de los mismos por el riñón; estos cambios ocurren durante un período de unas pocas horas. La concentración de proteínas en la sangre está determinada especialmente por el hígado, y los cambios en su concentración ocurren durante períodos largos de días o semanas. La acidez o alcalosis metabólica se define como los cambios en la concentración de  $\text{H}^+$  en la sangre que no se atribuyen a cambios en la  $p\text{CO}_2$  de la misma. Así, si se asume que la concentración de la proteína de la sangre es relativamente constante, el balance metabólico ácido-base de la sangre y células se atribuye únicamente a los cationes y aniones que provienen de la dieta (Goff, 1992; Stewart, 1983).

En todas las soluciones y sistemas biológicos debe mantenerse una neutralidad eléctrica; así en el agua pura la concentración de hidronio ( $\text{H}^+$ ) (catión) debe ser igual a la de hidróxido ( $\text{OH}^-$ ) (anión). Si al agua

se le agregan electrolitos, estos van a afectar el equilibrio de esa disociación y por lo tanto van a modificar el pH de la misma. La adición de aniones (p. ej.  $\text{Cl}^-$ , sulfato ( $\text{SO}_4^-$ ) al agua van a requerir de un aumento en la concentración de  $\text{H}^+$  para mantener la carga iónica neutral y por lo tanto bajan el pH de la solución ( $\text{pH} < 7$ ) (efecto acidogénico). Por el contrario, la adición de cationes (p. ej.  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ) aumentan la concentración de  $\text{OH}^-$ , incrementando el pH de la solución ( $\text{pH} > 7$ ) (efecto alcalinogénico). Al suministrar una dieta aniónica, o sea una dieta que tiene más miliequivalentes de aniones con respecto a los cationes, a una vaca (p. ej. una vaca pronta) se produce una absorción y distribución en el organismo de iones cargados negativamente ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^-$ ), por lo que el animal debe generar iones cargados positivamente ( $\text{H}^+$ ) para neutralizar el ingreso de aniones, produciéndose así una acidosis metabólica. Por el contrario, las dietas catiónicas o alcalinogénicas producen una alcalosis metabólica. Si estos cambios en el sistema ácido-base son moderados, no se producen problemas fisiológicos o de salud en los animales; más bien pueden generar una respuesta fisiológica que puede ser beneficiosa para el animal (Beede, 1992; Goff, 1992; Oetzel, 1994; Stewart, 1983).

El efecto que tiene un electrolito sobre el pH de una solución, o sobre el organismo, depende de su solubilidad, carga iónica y concentración.

Los mecanismos homeostáticos de una vaca encargados de mantener el balance ácido-base mantienen el pH de la sangre dentro de límites muy estrechos (7.31 a 7.53); los valores fuera de este rango son incompatibles con la vida. Alteraciones leves del pH pueden afectar la actividad enzimática de la célula y la estructura de los receptores hormonales deprimiendo la producción de los animales y la resistencia a los desbalances metabólicos. Por el contrario, la manipulación técnica del balance ácido-base del organismo de una vaca lechera puede contribuir a mejorar la salud, la producción y la reproducción (Block, 1984 y 1993; Goff, 1992; Goff *et al.*, 1991; Oetzel, 1993).

# CALCULOS

Para calcular el BCAD y predecir si ésta produce un efecto acidogénico o alcalinogénico, se han desarrollado diferentes ecuaciones, entre las cuales tenemos:

$$\text{Ecuación 1: } (\text{Na}^+ + \text{K}^+ + \text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}) - (\text{Cl}^- + \text{S}^{--} + \text{P}^{---})$$

$$\text{Ecuación 2: } (\text{Na}^+ + \text{K}^+ + 0.38 \text{Ca}^{++} + 0.3 \text{Mg}^{++}) - (\text{Cl}^- + 0,6 \text{S}^- + 0.5 \text{P}^{---})$$

$$\text{Ecuación 3: } (\text{Na}^+ + \text{K}^+) - (\text{Cl}^- + \text{S}^{--})$$

$$\text{Ecuación 4: } (\text{Na}^+ + \text{K}^+) - (\text{Cl}^-)$$

La Ecuación 1 incluye todos los iones inorgánicos de importancia en el balance ácido-base del organismo. Sin embargo, tiene el limitante de asumir que todos los iones tienen la misma tasa de absorción en el tracto gastrointestinal, lo cual no es correcto, ya que según el NRC (1989) la absorción del Na, K y Cl es superior al 90% (en esta discusión se asumirá una tasa de absorción de estos electrolitos de 100%) y la de los elementos Ca, Mg, S y P es 38, 30, 60 y 50%, respectivamente. Si se incorporan estos valores de absorción en los cálculos, se obtiene la Ecuación 2, la cual da valores más precisos sobre el aporte de los iones de la dieta al balance ácido-base del organismo (Beede, 1992; Goff, 1992; Oetzel, 1993; Oetzel, 1994).

La Ecuación 3 es la que se utiliza con más frecuencia en las investigaciones y artículos científicos sobre este tópico y a su vez es la que tiene la mayor correlación con la incidencia de fiebre de leche. Por requerir menos análisis, algunos autores han utilizado con éxito la Ecuación 4 (Beede, 1992; Goff, 1992; Oetzel, 1991 y 1994). En este análisis nos referiremos a la Ecuación 3, a menos que se especifique alguna otra.

Para calcular el BCAD se utilizan los miliequivalentes de los electrolitos que más afectan el balance ácido-base del organismo, ya que los iones ejercen su efecto de acuerdo a su valencia o carga eléctrica, más que por su masa. En el Cuadro 1 se indica el peso atómico, el peso equivalente y el factor para convertir el porcentaje de los principales electrolitos de la dieta a mEq/kg de MS. Si aplicamos dichos factores de conversión a la Ecuación 3:

$$\text{BCAD (mEq/kg de MS): (mEq de Na+mEq de K)-(mEq de Cl+ mEq de S)}$$

Obtenemos la siguiente ecuación de trabajo:

$$\text{BCAD (mEq/kg de MS): (% de Na en la MS x 435)+(% K x 256)-}$$

$$\text{(% Cl x 282)+(% S x 624)}$$

Cuadro 1. Peso atómico, peso equivalente y factor para convertir el porcentaje del electrolito de la dieta a mEq/kg de MS

Elemento	Peso atómico (g)	Peso equivalente (g)	Factor para convertir el % del elemento mEq/kg de MS
Na	23.0	23.00	435
K	39.1	39.10	256
Ca	40.1	20.05	499
Mg	24.3	12.20	823
Cl	35.5	35.50	282
S	32.1	16.05	623
P	31.0	10.33	968

En el Cuadro 2 se indica la composición de electrolitos, lo mismo que el BCAD calculado según la ecuación anterior de los pastos Estrella Africana (*Cynodon nlemfuensis*) y San Juan (*Setaria anceps*) (Sánchez et al., 1995). Esta información pone en evidencia que el pasto Estrella y especialmente el San Juan son muy alcalinogénicos.

Cuadro 2. Composición mineral y balance catión-anión de los pastos Estrella Africana (*Cynodon nlemfuensis*) y San Juan (*Setaria anceps*)

Elemento	Estrella	San Juan
Na	0.04	0.55
K	2.67	3.50
S	0.27	0.17
Cl	0.59	0.84
BCAD	366.06	792.29

(Sánchez, et al., 1995)



## EFECTO DEL BCAD SOBRE EL METABOLISMO DEL CALCIO

*En un análisis meta realizado por Oetzel (1991) en el que se evaluaron los factores nutricionales de riesgo para la incidencia de Fiebre de Leche en 1165 vacas, de las cuales 214 la desarrollaron, se logró explicar parcialmente el papel que juega el calcio dietético sobre la patogénesis de este desbalance metabólico. Este autor encontró que la cantidad de calcio en la dieta afecta de una manera curvilínea la incidencia de la Fiebre de Leche, observando que la incidencia es muy baja (menos del 2%) cuando la dieta contiene cantidades de calcio tan bajas como 0.5% de la MS o menos, o tan altas como 2% o más. Entre estos extremos de calcio dietético se da la incidencia de este desbalance y al nivel de 1.16% se presentó la mayor incidencia predicha, la cual fue del 10%.*

El comportamiento curvilíneo de la incidencia de la Fiebre de Leche con respecto al contenido de calcio dietético, se explica al considerar que cuando las dietas suministradas durante las últimas semanas de la gestación no satisfacen las necesidades de la vaca y la ponen en un desbalance negativo de este mineral, se estimula la secreción de la Hormona Paratiroidea y de la  $1, 25 (OH)_2 D_3$ , activando los mecanismos encargados de mantener la homeostasis del calcio en el animal. Esto le permite a las vacas absorber calcio del tracto gastrointestinal y a removerlo del tejido óseo en suficientes cantidades para satisfacer la importante demanda que se da durante el período puerperal. Los mecanismos por los cuales los altos niveles de calcio dietético (más de 2%) también contribuyen a prevenir la Fiebre de Leche no han sido explicados satisfactoriamente; sin embargo, se sugiere que el alto contenido de calcio en la dieta y su absorción pasiva durante las últimas semanas de gestación proveen suficiente calcio al metabolismo de la vaca para compensar la falta de resorción ósea causada por la depresión producida en los mecanismos activos de movilización del calcio (Goff, 1992; Oetzel, 1991).

Diferentes autores (Beede, 1994; Block, 1984; Gaynor *et al.*, 1989; Goff *et al.*, 1991; Le Cler y Block, 1989; Oetzel *et al.*, 1988, Oetzel, 1991) han encontrado que el BCAD afecta la incidencia de Fiebre de Leche. Las dietas aniónicas o acidificantes contribuyen a reducir la incidencia de este desbalance metabólico, mientras que las dietas catiónicas o alcalinogénicas ofrecen condiciones fisiológicas favorables para que se presente la Fiebre de Leche.

Al suministrar dietas con un BCAD negativo (dietas aniónicas) a vacas prontas se produce una acidosis metabólica leve. Para corregir esas alteraciones en el pH de la sangre, se activan mecanismos correctivos en el riñón y hueso; el tejido óseo puede servir como una fuente de  $\text{CO}_3^-$  que tiene un efecto buffer y contribuye a corregir la acidosis leve. Durante este proceso el calcio y también el fósforo, se movilizan. Algunos autores también han sugerido que la cantidad de calcio soluble en la superficie ósea se incrementa al suministrar sales aniónicas (Beede *et al.*, 1992; Goff, 1992; Horst *et al.*, 1994). Vagg y Payne (1970) estiman que en las vacas alimentadas con estas dietas se incrementa la movilización de calcio en 5 a 6 g, la cual es una cantidad similar al calcio que regularmente se suministra en los tratamientos de Fiebre de Leche. Este mecanismo funciona mientras las vacas consuman dietas acidogénicas. De este modo en la vaca se mantienen altos los niveles de calcio sanguíneo y los mecanismos encargados de incrementar el calcio de la sangre al momento del parto están funcionando activamente (Beede, 1992). Fredeen *et al.*, (1988) no han encontrado que la absorción de calcio en el tracto gastrointestinal de las hembras preñadas que consumen dietas aniónicas se incrementa.

Para explicar el efecto del BCAD sobre el metabolismo del calcio, Goff (1992) sugiere que durante la alcalosis metabólica el hueso, y tal vez el riñón, no responden a la acción estimuladora de la Hormona Paratiroidea. Por el contrario, durante la acidosis metabólica el efecto estimulador de la Hormona Paratiroidea se incrementa para aumentar

la síntesis de la  $1,25(\text{OH})_2\text{D}_3$  y la movilización del calcio óseo. Goff *et al.*, (1991) al evaluar los niveles de la Hormona Paratiroidea y la  $1,25(\text{OH})_2\text{D}_3$  en vacas Jersey prontas alimentadas con dietas acidogénicas (-228 mEq/kg de MS) o alcalinogénicas (+978 mEq/kg de MS) encontraron que los niveles de la Hormona Paratiroidea fueron similares en ambos grupos, lo cual indica que en los dos tratamientos las glándulas paratiroides detectaron la hipocalcemia y respondieron a la misma en forma igual. En las vacas alimentadas con la dieta aniónica la concentración de  $1,25(\text{OH})_2\text{D}_3$  fue mayor que en el grupo que consumió la dieta catiónica, lo cual sugiere que en este último grupo el riñón no fue sensible temporalmente al estímulo de la Hormona Paratiroidea y se redujo la producción de la  $1,25(\text{OH})_2\text{D}_3$ . La resorción ósea, la cual depende de la Hormona Paratiroidea, también fue menor en el grupo de vacas alimentadas con la dieta catiónica, lo cual también sugiere que el tejido óseo es refractario a la acción de la Hormona Paratiroidea. En este experimento la incidencia de Fiebre de Leche fue reducida de 26 a 4% con la adición de aniones ( $\text{Cl}^-$ ) a la dieta. El autor presume que las dietas alcalinogénicas de alguna manera alteran la integridad de los receptores hormonales de la Hormona Paratiroidea en sus órganos blancos.

Las investigaciones discutidas anteriormente y los modelos desarrollados por diferentes autores para tratar de explicar el efecto del BCAD sobre el metabolismo del calcio, indican que la formulación de dietas para vacas prontas con un BCAD negativo, puede contribuir a activar el metabolismo del calcio y a satisfacer la alta demanda de este elemento, que se da súbitamente al inicio de la lactancia.

En el Cuadro 3 se compilan los resultados obtenidos por diferentes investigadores, al manipular el BCAD para reducir la incidencia de la Fiebre de Leche.

Cuadro 3. Resultados obtenidos por diferentes autores al manipular el BCAD con el objeto de reducir la incidencia de la Fiebre de Leche

Autor	BCAD (mEq/kgdeMS)	Incidencia de Fiebre deLeche(%)
Dishington (1975)	-22 +346	0 86
Block (1984)	-12.9 +33.1	0 47.4
Oetzel <u>et al</u> (1988)	-75 +189	4 17
Gaynor <u>et al</u> (1989) <sup>1</sup>	+220 +600 +1260	0 33 17
Goff <u>et al</u> (1991)	-228 978	4 26
Joyce y Sánchez (1994)	-70 +350	5 12

<sup>1</sup> BCAD calculado como (Na+K-Cl)

# EL METABOLISMO DEL CALCIO Y LA INCIDENCIA DE PROBLEMAS METABOLICOS DURANTE EL PERIODO PUERPERAL

La Fiebre de Leche es el desbalance metabólico más comúnmente asociado a la hipocalcemia que generalmente se da durante el parto. Cuando los receptores hormonales del hueso y riñón pierden o deprimen su capacidad para responder al estímulo de la Hormona Paratiroidea; la cual a su vez es la encargada de activar los mecanismos responsables de mantener la homeostasis del calcio en el organismo, los niveles de calcio sérico empiezan a experimentar un descenso marcado y cuando estos llegan a valores de 6 mg/100 ml el animal presenta los síntomas propios de la Fiebre de Leche (la vaca cae sobre su esternón y dirige la cabeza hacia un lado, la temperatura de las extremidades es baja, el animal es incapaz de pararse, rechina sus dientes o presenta anorexia). Si el animal no se trata oportunamente con productos tales como borogluconato de calcio, los niveles de calcio sérico siguen bajando y a valores inferiores a 5 mg/100 ml el animal entra en estado de coma y muere (Block, 1984; Gaynor *et al.*, 1989; Goff *et al.*, 1991; Schultz, 1988).

Algunos órganos como el útero, el rumen y el abomaso que se caracterizan por tener una función de músculo liso son afectados por la hipocalcemia. Curtis *et al.*, (1983) han asociado ciertos desórdenes metabólicos tales como el éstasis ruminal, el desplazamiento del abomaso, la retención de la placenta, el prolapso del útero, la metritis y la cetosis con la hipocalcemia, aunque ésta sea a nivel subclínico. Oetzel *et al.*, (1988) al utilizar dietas aniónicas (-75 mEq/kg de MS) para mejorar el metabolismo del calcio en las vacas durante el período puerperal,

encontraron una reducción significativa de la retención de membranas fetales (0% en el grupo alimentado con la dieta aniónica vs. 25% en el grupo que consumió la dieta catiónica). Beede *et al.*, (1991) sugieren que la hipocalcemia también puede asociarse con una involución uterina más lenta.

Risco *et al.*, (1984) han encontrado que las vacas con prolapso del útero tienen grados de hipocalcemia más severos (4 mg de Ca iónico/100 ml de suero) que las compañeras de hato que no desarrollaron esta condición.

Se sugiere que estos desórdenes que se desarrollan durante el período puerperal pueden afectar de una manera significativa la salud y producción de los vacas al inicio de la lactancia (Beede, 1994).

## EL EFECTO DEL BALANCE CATION-ANION SOBRE LA PRODUCCION DE LECHE Y LA REPRODUCCION

### **Alimentación preparto:**

*Diferentes investigadores han encontrado que el suministro de sales aniónicas durante las últimas 3 o 4 semanas del período seco, contribuyen a mejorar la producción de leche en la siguiente lactancia. Block (1984) realizó uno de los experimentos pioneros en este campo y al suministrar dietas con -13 o +33 mEq/kg de MS a vacas prontas obtuvo un incremento en la producción de leche en la siguiente lactancia de 6.8% en las vacas que consumieron la dieta aniónica con respecto a la dieta catiónica. Además, en este estudio la incidencia de Fiebre de*

Leche fue 47% en el grupo alimentado con la dieta catiónica, mientras que en el otro grupo no se presentaron casos de este desbalance metabólico. Al comparar la producción de las vacas que tuvieron Fiebre de Leche con las que no presentaron este desbalance, se encontró que la Paresis Puerperal redujo la producción de leche en un 14%.

Beede *et al.*, (1991) al alimentar vacas prontas con raciones con  $-129$  o  $+331$  mEq/kg de MS obtuvieron producciones ajustadas a 305 días de 9376 y 9050 kg por vaca, respectivamente, para un incremento en la producción de 3.6%.

### **Alimentación durante la lactancia:**

Investigadores de la Universidad de Kentucky han realizado estudios tendientes a definir el mejor BCAD en la alimentación de las vacas en producción. Tucker *et al.*, (1988) al evaluar dietas formuladas para proveer  $-100$ ,  $0$ ,  $+100$  y  $+200$  mEq/kg de MS (calculados como  $(Na + K - Cl)$ ) encontraron que la producción de leche se incrementó linealmente dentro de dicho rango, independientemente del tipo de iones utilizados para manipular el BCAD. En un segundo experimento, Tucker *et al.*, (1991) evaluaron dietas que oscilaban de  $0$  a  $+300$  mEq/kg de MS y observaron que el consumo de MS y la producción de leche fue menor en los animales que consumieron dietas con menos de  $+150$  mEq/kg. Según Goff (1992) dietas aniónicas ( $< +50$  mEq/kg de MS) son perjudiciales para la producción del ganado lechero. Sánchez, Beede y Cornell (1994) y Sánchez, Beede y Delorenzo (1994) al evaluar el comportamiento productivo del ganado lechero dentro de una gama amplia de valores de BCAD, basándose en modelos de regresión, encontraron la mayor producción de leche y consumo de MS cuando el BCAD (calculado como  $(Na + K - Cl)$ ) está entre  $+300$  y  $+500$  mEq/kg de MS.

Los experimentos discutidos indican que valores altos de BCAD en la alimentación de vacas lecheras incrementan el consumo de MS y la producción de leche, además de contribuir a reducir el estrés calórico. Esto se debe a que tanto la producción de leche como el estrés calórico son acidogénicos y los valores altos de BCAD contribuyen a mejorar la capacidad tampón de la sangre, neutralizando los altos niveles de H<sup>+</sup> producidos (Block, 1993; Goff, 1992).

### **Efecto sobre la reproducción:**

Beede et al., (1991) cuando alimentaron vacas prontas con dietas que contenían -250 o +50 meq/kg de MS encontraron que los animales que consumieron la dieta aniónica presentaron mejores índices de reproducción. Las vacas que fueron alimentadas con la dieta aniónica mostraron tasas de concepción de 71% y un período abierto promedio de 124 días, mientras que las vacas que consumieron la dieta catiónica presentaron valores de 54% y 138 días, para los parámetros citados.

## **EL BALANCE DE LOS ELECTROLITOS EN LAS RACIONES PARA VACAS SECAS**

### **Aspectos generales:**

El uso de las sales aniónicas debe considerarse en aquellos hatos de ganado lechero que tienen una incidencia importante de Fiebre de Leche (p. ej. mayor a 10%) y donde las materias primas utilizadas en su alimentación no permiten la formulación de raciones bajas en calcio



(menos de 20 g/vaca/día). Estas sales también pueden utilizarse con éxito en hatos con problemas asociados a la hipocalcemia subclínica tales como desplazamiento del abomaso, retención de placenta, prolapso del útero y metritis. Además, los hatos de alta producción sin síntomas clínicos pueden beneficiarse con su uso ya que el manipuleo del balance ácido-base del organismo puede contribuir a aliviar problemas subclínicos y a mejorar el comportamiento productivo y reproductivo de los animales (Beede, 1992; Oetzel, 1993).

Las dietas para vacas secas por lo general se basan en el uso de los forrajes y frecuentemente tienen valores de BCAD de +150 a +350 mEq/kg de MS (Goff, 1992). Bajo las condiciones del trópico húmedo de Costa Rica los animales consumen forrajes con valores de BCAD aún mayores. Estos forrajes frecuentemente son la única fuente de nutrimentos para las vacas secas (Cuadro 2) (Sánchez *et al.*, 1995). Por lo general, se cree que el BCAD debe ser 0 mEq/kg o menos para reducir la incidencia de Fiebre de Leche y los estudios más exitosos tienen valores de -100 a -200 mEq/kg de MS. Según el grupo de investigadores del National Animal Disease Center, en Ames, Iowa (Horst *et al.*, 1993) la adición de más de 300 mEq de aniones/kg de MS tiende a reducir el consumo de MS. Esto indica que una dieta base para vacas prontas con un BCAD superior a +200 mEq/kg de MS difícilmente puede utilizarse para hacer una buena dieta aniónica.

En el Cuadro 4 se indican las sales aniónicas más comúnmente utilizadas en la alimentación de las vacas prontas con su composición química. Estudios realizados por Oetzel (1991) sugieren que los sulfatos son más efectivos para prevenir la Fiebre de Leche que los cloruros. La selección de las mezclas de sales se hace en base a su costo, disponibilidad, palatabilidad y grado de toxicidad (Oetzel *et al.*, 1994).

Cuadro 4. Composición química de las principales sales aniónicas utilizadas en la alimentación del ganado lechero

Sal mineral	Fórmula Química	Porcentaje en la sal, tal como ofrecido					
		N	Ca	Mg	S	Cl	MS
Cloruro de Amonio	$\text{NH}_4\text{Cl}$	26.2				66.3	100.0
Cloruro de Calcio	$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$		27.3			48.2	75.5
Cloruro de Magnesio	$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$			12.0		34.9	46.8
Sulfato de Amonio	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	21.2			24.3		100.0
Sulfato de Calcio	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$		23.3		18.6		79.1
Sulfato de Magnesio	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$			9.9	13.0		48.8

Las sales aniónicas son poco palatables y la mejor manera de suministrarlas es mezclándolas con los otros componentes de la dieta. Si en la alimentación de las vacas prontas se usa ensilaje, este constituye un excelente vehículo para incorporar este tipo de sales. Cuando los animales están en pastoreo las sales aniónicas deben mezclarse con el alimento balanceado; para obtener un consumo aceptable, éstas deben mezclarse con más de 2.3 kg de alimento balanceado. Otra manera de

encubrir el sabor de las sales es mezclándolas con cantidades moderadas de melaza. De las diferentes sales usadas el sulfato de magnesio es la de mayor palatabilidad y el cloruro de calcio el de menor (Oetzel *et al.*, 1988; Oetzel *et al.*, 1991; Oetzel y Barmore, 1993).

El suministro forzado de cantidades importantes de sales aniónicas (p. ej. más de 3000 mEq por vaca por día) puede ser detrimental o fatal. Si estas sales se mezclan y suministran con el resto del alimento el riesgo de intoxicación se reduce, ya que la poca palatabilidad de las mismas reducen el consumo de la dieta total. Cuando se suministra un solo tipo de sal aniónica con frecuencia se pueden exceder los niveles máximos tolerables de ciertos elementos establecidos por el NRC (1989), por lo que se recomienda el uso de mezclas de sales aniónicas y no un único tipo de sal (Oetzel, 1993 y 1994). Algunas mezclas frecuentemente usadas son sulfato de magnesio más cloruro de amonio o sulfato de magnesio más cloruro de amonio más sulfato de amonio.

Una de las prácticas de alimentación que tradicionalmente se han usado satisfactoriamente para reducir la incidencia de fiebre de leche, ha sido el suministro de cantidades bajas de calcio durante el período seco. Sin embargo, la experiencia en fincas comerciales (Beede, 1992) y los trabajos experimentales realizados por Oetzel *et al.*, (1988) y Seymour *et al.*, (1992) indican que para tener éxito con el uso de las sales aniónicas durante el período seco, los niveles de calcio en la dieta deben de incrementarse de una manera importante. Diferentes investigadores sugieren valores que oscilan entre 140 y 150 g/vaca/día (1.2 a 1.5% de la MS) (Beede, 1992; Horst *et al.*, 1993; Oetzel, 1993). Según Oetzel (1993; 1994) la experiencia clínica sugiere fuertemente que las sales aniónicas no deben utilizarse cuando el consumo de calcio es tan bajo como 60 g por día o menos.

Una explicación parcial a los altos niveles de calcio que deben suministrarse con las dietas aniónicas se obtiene en los trabajos

realizados por Fredeen *et al.*, (1988), quienes observaron que los animales que consumen este tipo de dietas excretan una mayor cantidad de calcio en la orina, lo cual se debe a una menor reabsorción de este elemento a nivel renal.

Por lo general se recomienda suministrar las dietas aniónicas durante las 3 o 4 semanas previas al parto. Oetzel (1994) recomienda que las vacas prontas consuman la dieta aniónica por lo menos durante 10 días para obtener los beneficios de las mismas.

En relación a la rentabilidad del uso de estas sales, en los Estados Unidos se ha visto que si se espera un incremento en la producción de leche entre 3 y 7% por la prevención de la Fiebre de Leche o la hipocalcemia subclínica, la relación costo:beneficio es de 1:10 (Oetzel, 1993).

### **Pasos a seguir para ajustar el BCAD:**

Beede (1992), Byers (1992), Horst *et al.*, (1993) y Oetzel (1993) sugieren la siguiente estrategia para ajustar el BCAD:

1. Analice los elementos Na, K, Cl, S, Ca, Mg y P en todos los ingredientes de la dieta que va a ser consumida por los animales. Debido a que el contenido de macroelementos de los forrajes y subproductos frecuentemente difiere de una manera importante de los valores aportados por las tablas de composición de alimentos, estos elementos siempre deben determinarse en esos alimentos. Si el valor de BCAD en la dieta base es menor a +200 mEq/kg de MS, continúe con el punto 2. De lo contrario sustituya parte del forraje alto en potasio por otras fuentes que contengan menores cantidades de este elemento.
2. Elimine de la dieta cualquier fuente de cationes que se haya

adicionado; la más comúnmente usada es  $\text{NaHCO}_3$ . Elimine el  $\text{CaCO}_3$  y el  $\text{NaCl}$ , ya que la sal blanca reduce la palatabilidad de las dietas ricas en aniones.

3. Para alcanzar un nivel de 0.45% de S en la dieta (el cual es ligeramente superior al recomendado por el NRC, 1989) agregue sulfato de calcio hasta que el nivel de calcio sea 140 g/día (1.2 a 1.6% de calcio en la MS).
4. Si se requiere agregar más S para llegar al nivel de 0.45%, adicione  $\text{MgSO}_4$ . Si aún se requiere más calcio para llegar a 140 g/día, adicione  $\text{CaHPO}_4$  o  $\text{CaCl}_2$ . El nivel de Mg debe ser 0.4%.
5. Para reducir el nivel de BCAD a -100 o -150 mEq/kg de MS, o suministrar 3000 mEq/día de sales aniónicas, agregue  $\text{NH}_4\text{Cl}$ . Si el BCAD no se puede bajar a menos de 0 mEq/kg de MS con menos de 3000 mEq de sales aniónicas, use otra dieta base con ingredientes que tengan un BCAD más bajo.
6. El consumo de fósforo debe mantenerse en menos de 60 g/día.
7. Analice el contenido de Nitrógeno No Proteico (NNP) de la dieta y el consumo de proteína degradable. Si el contenido de NNP es mayor a 0.50% de la MS, o si el consumo de proteína degradable es mayor al 70% de la Proteína Cruda, reduzca la cantidad de sales de amonio agregadas a la dieta.
8. Monitoree el consumo de la MS.

## Resumen

El Balance Cation-Anión en la Dieta (BCAD) es un concepto relativamente nuevo en la nutrición y alimentación del ganado lechero. Se define como la suma de los miliequivalentes de los cationes K y Na menos la sumatoria de los miliequivalentes de los aniones Cl y S; por kg de MS. La acidez o alcalinidad metabólica está dada por la concentración de proteínas en la sangre y por los iones inorgánicos que se absorben en el tracto gastrointestinal. Si se considera que la concentración de la proteína de la sangre es relativamente constante, el balance metabólico ácido-base de la sangre y células se atribuye fundamentalmente a los cationes y aniones que aporta da dieta. Los aniones tienen un efecto acidogénico en el organismo, mientras que los cationes son alcalinogénicos. Alteraciones del balance ácido-base del organismo pueden afectar la actividad enzimática de las células y la estructura de los receptores hormonales, deprimiendo la producción y resistencia del animal a desbalances metabólicos. Por el contrario, la manipulación técnica de ese balance puede contribuir a mejorar la salud, la producción y la reproducción. Diferentes autores han encontrado que el suministro de dietas aniónicas o acidogénicas (-100 a -200 mEq/kg de MS) durante las últimas 3 o 4 semanas del período de gestación contribuyen a mejorar el metabolismo del calcio y a reducir el grado de hipocalcemia que normalmente se da durante el período puerperal, reduciendo la incidencia de la Fiebre de Leche y problemas tales como la retención de las membranas fetales. También se ha visto que en los animales alimentados con estas dietas se mejora la producción de leche entre un 3 y 7% en la lactancia siguiente, lo mismo que la reproducción. En relación al mejor BCAD para vacas en producción, se ha encontrado una mejor respuesta a las dietas alcalinogénicas. Algunos autores han encontrado la mejor producción de leche y consumo de MS cuando el BCAD está entre +300 y +500 mEq/kg de MS (calculados como (Na+K-Cl)). Las sales acidogénicas regularmente usadas en la alimentación de

las vacas secas son los cloruros y sulfatos de amonio, calcio y magnesio, éstas se caracterizan por ser poco palatables. Las dietas entre -100 y -200 mEq/kg de MS son las que han dado los mejores resultados para reducir la incidencia de Fiebre de Leche. Estas raciones acidogénicas deben de aportar entre 140 y 150 g de calcio por vaca por día y deben suministrarse durante un período mínimo de 10 días antes del parto.

## LITERATURA CITADA

- Beede, D. K. 1992. The DCAD concept: transition rations for dry pregnant cows. *Feedstuffs*. 64(53):1-18.
- Beede, D. K. 1994. Influence of dietary mineral elements, vitamins, and feed additives on physiology and performance of the periparturient dairy cow. *J. Dairy Sci.* 77 Suppl. 1. 498 (Abst.).
- Beede, D. K.; C. A. Risco; G. A. Donovan; C. Wang; L. F. Archbald; W. K. Sánchez. 1992. Nutritional management of the late pregnant dry cow with particular reference to dietary cation-anion difference and calcium supplementation. In: Proc. 24th Ann. Convention Am. Assoc. Bovine Practitioners, p.51.
- Beede, D. K.; C. Wang; G. A. Donovan; L. F. Archbald; W. K. Sánchez. 1991. Dietary cation-anion difference (electrolyte balance) in late pregnancy. In: Proc. Florida Dairy Prod. Conference.
- Block, E. 1984. Manipulating dietary anions and cations for prepartum dairy cows to reduce incidence of milk fever. *J. Dairy Sci.* 67(12): 2939-2948.

- Block, E. 1993. Manipulation of dietary cation-anion difference (DCAD) on nutritionally related production diseases and productivity of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 76 Suppl. 1. 303
- Curtis, C. R.; H. N. Erb; C. J. Sniffen; R. D. Smith; P. A. Powers; M. C. Smith; M. E. White; R. B. Hillman; E. J. Pearson 1983. Association of parturient hypocalcemia with eight periparturient disorders in Hostein cows. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 183:559.
- Dishington, J. W. 1975. Prevention of milk fever (hypocalcemic paresis puerperalis) by dietary salt supplements. *Acta Vet. Scand.* 16: 503.
- Fredeen, A. H.; E. J. DePeters; R. L. Baldwin. 1988. Effects of acid-base disturbances caused by differences in dietary fixed ion balance on kinetics of calcium metabolism in ruminants with high calcium demand. *J. Anim. Sci.* 66:1174.
- Gaynor, P. J.; F. J. Mueller; J. K. Miller; N. Ramsey; J. P. Goff; R. L. Horst. 1989. Parturient hypocalcemia in Jersey cows fed alfalfa haylage-based diets with different cation to anion ratios. *J. Dairy Sci.* 72:2525.
- Goff, J. P. 1992. Cation-Anion difference of diets and its influence on milk fever and subsequent lactation: the good and the bad news. *Cornell Nutrition Conference of Feed Manufacture.* 12p.
- Goff, J. P.; R. L. Horst. 1992. How to balance dry cow rations for anion level. *Hoard's Dairyman.* 137:831.
- Goff, J. P.; R. L. Horst; F. J. Mueller; J. K. Miller; G. A. Kiess; H. H. Dowlen. 1991. Addition of chloride to a prepartal diet high in cations increases 1, 25 Dihydroxyvitamin D response to hypocalcemia preventing milk fever. *J. Dairy Sci.* 74 (11):3863-3871.



- Horst, R. L.; J. P. Goff; T. A. Reinhardt. 1994. Calcium and vitamin D metabolism in the Dairy Cow. *J. Dairy Sci.* 77(7): 1936-1951.
- Joyce, P. W.; W. K. Sánchez. 1994. Dietary cation-anion difference and forage type during the dry period: Effect of endocrine responses of Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 77 Suppl. 1. 511 (Abst.).
- LeCler, H.; E. Block. 1989. Effects of reducing dietary cation-anion balance for prepartum dairy cows with specific reference to hypocalcemic parturiente paresis. *Can. J. Anim. Sci.* 69:411.
- National Research Council. 1989. Nutrient requirements of Dairy Cattle. 6th rev. ed. *Natl. Acad. Sci., Washington, D. C.* 157p.
- Oetzel, G. R. 1994. Anionic salts for milk fever prevention. *Proceedings, 1994 Michigan Veterinary Conference.* 345-354p.
- Oetzel, G. R. 1993. Use of anionic salts for prevention of milk fever in dairy cattle. *Compendium on continuing education for the practicing veterinarian.* 15(8):1138-1146.
- Oetzel, G. R. 1991. Meta-Analysis of nutritional risk factors for milk fever in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 74: 3900-3912.
- Oetzel, G. R.; J. A. Barmore. 1993. Intake of a concentrate mixture containing various anionic salts fed to pregnant, nonlactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 76:1607-1616.
- Oetzel, G. R.; M. J. Fettman; D. W. Hamar; J. D. Olson. 1991. Screening of anionic salts for palatability, effects on acid-base status, and urinary calcium excretion in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 74:965-971.
- Oetzel, G. R.; J. D. Olson; C. R. Curtis; M. J. Fettman. 1988. Ammonium

chloride and ammonium sulfate for prevention of parturient paresis in dairy cows. J. Dairy Sci. 71:3302.

- Risco, C. A.; J. P. Reynolds; D. Hird. 1984. Uterine prolapse and hypocalcemia in dairy cows. J. Am. Vet. Med. Assoc. 185: 1517.
- Sánchez, J. Ml.; H. Soto; I. Pérez; E. Vargas. 1995. Nutritional risk factors in *Setaria anceps* for milk fever incidence in dairy herds of the humid tropics. Accepted for presentation in the American Dairy Science Association Annual Meeting. Cornell University. Ithaca, New York.
- Sánchez, W. K.; D. K. Beede; J. A. Cornell. 1994. Interactions of sodium, potassium, and chloride on lactation, Acid -Base status, and mineral concentrations. J. Dairy Sci. 77(6):1661-1675.
- Sánchez, W. K.; D. K. Beede; M. A. DeLorenzo. 1994. Macromineral element interrelationships and lactational performance: empirical models from large data set. J. Dairy Sci. 77(10):3096-3110.
- Sánchez, W. K.; M. A. McGuire; D. K. Beede. 1994. Macromineral nutrition by heat stress interactions in dairy cattle: Review and original Research. J. Dairy Sci. 77 (7):2051-2079.
- Schultz, L. H. 1988. Metabolic problems related to nutrition: Milk fever. IN: The ruminant animal. Digestive physiology and nutrition. Ed. by D. C. Church. New Jersey. Prince Hall. 493-499p.
- Stewart, P. A. 1983. Modern quantitative acid-base chemistry. Can. J. Physiol. Pharmacol. 61:1444.
- Tucker, W. B.; G. A. Harrison, R. W. Hemken. 1988. Influence of dietary cation-anion balance on milk, blood, urine, and rumen fluid on

lactating dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 71:346.

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

Vagg, M. J.; J. M. Payne. 1970. The effect of ammonium chloride induced acidosis on calcium metabolism in ruminants. *B. Vet. J.* 126: 531.