

# BALANCE DE MINERALES

## en vacas lactando: ¿hacia dónde vamos?<sup>1</sup>

### Alejandro R. Castillo

Ingeniero Agrónomo  
Universidad de Córdoba  
Maestría en Ciencia de los Animales  
Doctorado en Nutrición de Rumiantes  
Consejero Agrícola - Ciencia Lechera  
Universidad de California  
Extensión Cooperativa  
arcastillo@ucdavis.edu  
Uruguay – Estados Unidos

### Resumen

El objetivo de este trabajo es discutir la manera en que estamos suplementando el ganado lechero con minerales en la actualidad, la importancia del balance de nutrientes en relación con la eficiencia de conversión del alimento a leche (nitrógeno en particular y minerales en general) y las posibles tendencias futuras.

Debido al incremento de los costos fijos, la reciente volatilidad en los precios de la leche, la necesidad de ser más eficientes y competitivos, en términos de costos de producción, y las posibles interacciones entre minerales en exceso o déficit, se discute hacia dónde debería enfocarse la suplementación de minerales en ganado lechero en el futuro. Se concluye sobre la necesidad de planificar las dietas y los balances de minerales estrictamente de acuerdo con las necesidades de los animales, inclusive el agua de bebida, para lo cual es necesario realizar análisis químicos completos de los diferentes ingredientes de la dieta en cada lechería. Estos datos, en pocos años, permitirán obtener bases de datos con un claro diagnóstico de los minerales en exceso y déficit en cada establecimiento lechero para realizar correctos balances de minerales en todas las categorías de animales, reducir el gasto de alimentación por unidad de leche producida y maximizar el desempeño de los hatos lecheros.

### Suplementación mineral en vacas lecheras: situación actual

En los últimos 30 años, la estrategia de suplementación con minerales a vacas lactando estuvo basada en cubrir una alta proporción (50 al 100%) de los requerimientos de los mismos en el suplemento o en la mezcla de minerales sin considerar los otros ingredientes de la dieta, ya sea pastura, silaje, henos y concentrados energéticos y proteicos. En algunos casos, datos del Consejo Nacional de Investigación de los Estados Unidos (NRC por sus siglas en inglés: National Research Council) o análisis químicos de forrajes, principalmente de macro minerales

<sup>1</sup> Trabajo presentado (en revisión) a la Revista Argentina de Producción Animal (APPA).



como calcio, fósforo, magnesio y potasio, fueron usados para balancear requerimientos de animales lecheros.

Además de la falta de información sobre el contenido de minerales en los alimentos para el ganado, uno de los objetivos de sobrealimentar con minerales en el pasado, fue maximizar la expresión genética de los animales o, en otras palabras, evitar deficiencias en animales de alto mérito genético. Dicho objetivo se cumplió ampliamente lográndose, en los últimos años, un avance notable en la producción de leche por vaca.

Por diferentes motivos: el incremento de los costos fijos de producción, los bajos precios y alta volatilidad del valor comercial de la leche, la necesidad de ser más eficientes y competitivos en términos de costos de producción, las posibles interacciones entre minerales en exceso o déficit (alta producción por vaca y altos consumos) y, finalmente, el posible impacto ambiental del estiércol durante su manejo, almacenamiento y aplicación al suelo; en la actualidad hay necesidad sentida de controlar no solamente el consumo por costo sino también la excreción de nutrientes y su impacto ambiental. En algunos países o estados como California los productores lecheros están siendo afectados por

fuertes controles o regulaciones ambientales (CRWQCB, 2007). Debido a la importancia de este tema a nivel mundial, es muy probable que en los próximos años las regulaciones ambientales de los países desarrollados puedan actuar como barreras parancelarias en algunos países en vías de desarrollo.

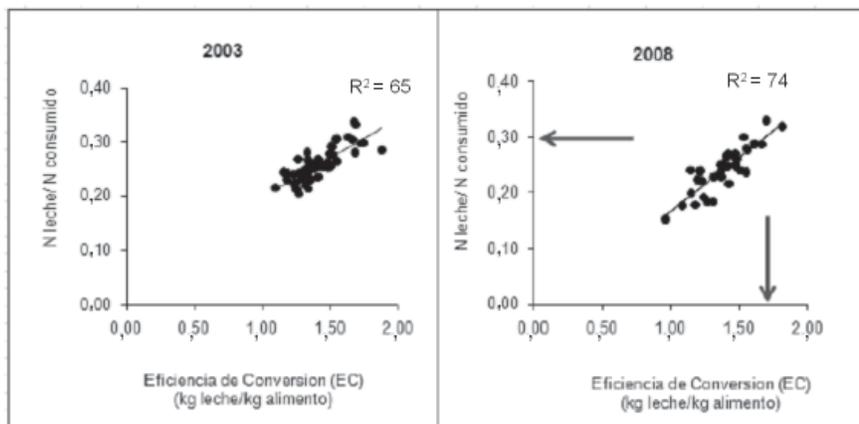
La biodisponibilidad de los minerales en los alimentos comunes o más usados en ganado lechero, que aún hoy no está bien caracterizada, es afectada por el nivel de consumo, el procesamiento (molido, picado, fermentado), las variaciones en el contenido del mismo alimento (especialmente subproductos), las interacciones entre minerales en exceso o déficit, el contenido de minerales del suelo, las variaciones entre laboratorios y los métodos de análisis, entre otros aspectos (Requerimientos Nutricionales de Cerdos - NRC, 2001, 2005). El NRC (2005) menciona, además, el posible efecto negativo de distintos minerales en el estiércol y el suelo sobre la producción de los cultivos y el ambiente, destacando el cadmio, mercurio, fósforo, hierro, selenio, zinc, sodio, azufre y potasio; donde el fósforo es la principal preocupación. A estos minerales también hay que adicionar el nitrógeno por sus posibles efectos sobre el ambiente y por su efecto negativo sobre la productividad de los animales.

En hatos lecheros de alta producción con elevado consumo de nutrientes, los desbalances de los mismos podrían estar relacionados con una baja eficiencia de utilización y un costo energético extra para su excreción. Para poder analizar esta situación es necesario saber dónde estamos en términos de suministro de nitrógeno y minerales a vacas lecheras durante la lactancia.

El objetivo de este trabajo es presentar información sobre dos estudios realizados en establecimientos lecheros comerciales (n=90) en el Condado de Merced, en el Valle Central de California (Estados Unidos), para analizar la importancia del balance de nutrientes en relación con la eficiencia de conversión del alimento a leche, los posibles impactos ambientales y el enfoque que debería dársele a la suplementación mineral en ganado lechero en el futuro.

## **Eficiencia** de utilización del nitrógeno de la dieta

La estimación de la eficiencia del nitrógeno de la dieta, expresado como la proporción del nitrógeno consumido obtenido en la leche, es importante, no sólo por su relación con



**Figura 1.** Relación entre la eficiencia de utilización de nitrógeno (N leche/ N consumido) de la dieta en vacas lecheras y la eficiencia de conversión (EC) del alimento a leche (EC = Kg leche corregida al 3,5% grasa/Kg Materia Seca consumidos) en dos relevamientos realizados en California (Estados Unidos).

la eficiencia de conversión del alimento a leche y la productividad de los animales medidos en producción de leche, salud y reproducción, sino también por la posible interacción entre el nitrógeno con otros minerales en el estiércol y el suelo.

La eficiencia de utilización del nitrógeno de la dieta fue estimada alrededor de 0,28 (Castillo et al., 2000) y su impacto también fue analizado a nivel de sistema lechero (Castillo, 2009). En California se estimó una media de utilización del nitrógeno de la dieta de  $0,26 \pm 0,03$  ( $n=50$  lecherías) y un rango de 0,20 a 0,34 (Castillo et al., 2005). Más recientemente, un segundo estudio fue llevado a cabo (Castillo et al., no publicado) estimándose una media de eficiencia de utilización del nitrógeno de  $0,24 \pm 0,04$  desde 0,15 a 0,33 ( $n=40$  lecherías). Estos valores y rangos indican la posibilidad de mejorar el uso del nitrógeno

con la dieta de las vacas lecheras. Uno de los factores menos estudiados en relación al exceso de nitrógeno en la dieta es su relación con la eficiencia de conversión del alimento en leche. En la figura 1 se puede observar dicha relación.

La figura 1 muestra una alta y positiva correlación lineal entre la eficiencia de conversión y la utilización de nitrógeno de la dieta en hatos lecheros californianos. A partir de estos datos, se sugiere planificar la dieta para lograr una eficiencia del uso de nitrógeno de 0,30 la cual corresponde a una eficiencia de conversión entre 1,6 y 1,7 kg de leche (grasa corregida 3,5%) por kilogramo de materia seca consumida. La tendencia futura es trabajar para lograr dos kilogramos de leche por cada kilogramo de alimento consumido en sistemas intensivos. Los sistemas pastoriles típicos fluctúan entre 0,8 y 1,2 kg de leche por

kilogramo de alimento. Estos valores representan un importante mejoramiento competitivo en el costo de la leche producida por unidad de alimento consumido en sistemas intensivos, en comparación con sistemas pastoriles.

## Importancia del agua de bebida como posible fuente de minerales

El NRC (2001) comienza el capítulo de agua (pág.178) indicando: "El agua es el nutriente más importante para el ganado lechero". El agua en la dieta de las vacas lecheras es importante por dos razones fundamentales. Es requerida para "todos" los procesos de la vida, ya sea digestión, transporte y excreción de nutrientes, por el mantenimiento de la temperatura corporal, el balance iónico y como fluido durante la gestación, entre otros (NRC, 2001). Por otro lado, en muchos establecimientos lecheros el agua debe ser considerada como un importante aporte de minerales. Incluso pequeñas concentraciones ( $\sim 500$  mg/L) de sales totales (ST) en el agua de bebida pueden afectar el balance de minerales (consumo y excreción) de la dieta en vacas lactando (Castillo et al., 2007, 2009ab).

Por ejemplo, recientemente se estimó (Castillo et al., 2009a) que en vacas lecheras produ-



ciendo 32 litros de leche por día y consumiendo un agua de bebida con  $800 \pm 310$  mg ST/L, el agua suministraba un 7, 9, 25, 25 y 8% de los requerimientos de calcio, magnesio, cloro, sodio y azufre, respectivamente. En el mencionado estudio se concluyó que cuando el agua de bebida tiene más de 500 mg ST/L, es necesario identificar el contenido de minerales mediante análisis químicos e incorporar los mismos en el balance de minerales de la dieta para evitar excesos, antagonismos entre minerales y disminuir el costo de la ración.

Para estimar el aporte de minerales del agua de bebida, es necesario conocer el consumo de agua en vacas lactando. Una de las fórmulas más recomendadas para estimar el consumo de agua en vacas lactando fue desarrollada por investigadores de la Universidad de Illinois, Estados Unidos (Murphy et al., 1983).

$$\begin{aligned} \text{Consumo libre de agua} \\ (\text{kg/vaca/día}) &= 15,99 \\ &+ 1,58 \times \text{CMS} \\ &+ 0,90 \times \text{PL} \\ &+ 0,05 \times \text{CNa} \\ &+ 1,20 \times \text{TM} \end{aligned}$$

Donde:

CMS= consumo de materia seca (kg/vaca/día)  
 PL= producción de leche (kg/vaca/día)  
 CNa= consumo de sodio (g/vaca/día)  
 TM= temperatura mínima diaria (°C).

La fórmula fue evaluada comparativamente en 10 lecherías de California en diferentes momentos del año (verano e invierno) a través del uso de medidores de flujo de agua electrónicos para estimar el consumo por vaca en cada lechería. Los medidores se instalaron sobre las cañerías principales proveedoras de agua para los corrales de vacas lactando. Las mediciones se realizaron diariamente durante al menos dos semanas en cada establecimiento lechero. El volumen de agua diario total consumido fue dividido por el número de animales en los corrales correspondientes. En la figura 2 se muestra el ajuste donde cada punto representa la información promedio proveniente de cada lechería. Los resultados indican que la fórmula de Murphy et al. (1983) es adecuada para estimar el consumo libre de agua en establecimientos lecheros intensivos.

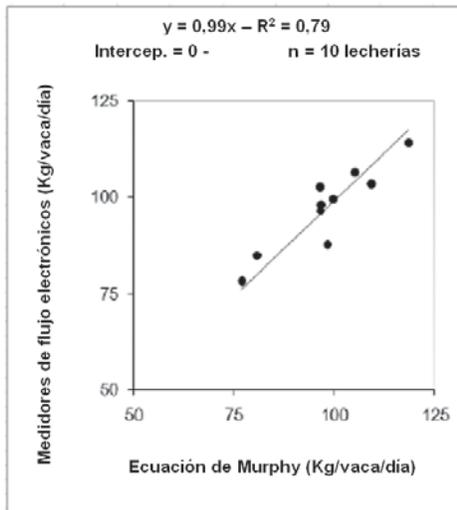
## Diagnóstico del contenido de minerales en la dieta de vacas lecheras

Se presenta a continuación un resumen de los resultados del estudio sobre 40 lecherías en California (Tablas 1 y 2), con un promedio de 780 vacas en ordeño por lechería (desde 210 a 2.435 vacas lactando) y una media de producción de leche de 32 kg/vaca por día (desde

20,6 a 43,5 kg leche/vaca por día) (Castillo et al., 2009ab).

La concentración de minerales en la dieta, considerada una preocupación por su acumulación en el estiércol y la tierra y, en consecuencia, por sus posibles efectos sobre el rendimiento de los cultivos y el ambiente de acuerdo con el NRC (2005), estuvieron entre un 120 y 200% por encima de los requerimientos de los animales en aproximadamente el 60% de las lecherías. Particularmente cobre, selenio y zinc estuvieron entre el 120 y 200% de los requerimientos en el 48, 78 y 66% de las lecherías, respectivamente. Entre un 15 y 20% de las lecherías estuvieron por encima del 200% de los requerimientos (Tabla 1). Dos minerales traza (hierro y manganeso) estuvieron por encima del 200% de los requerimientos animales en el 100% de las lecherías evaluadas en este estudio. En promedio, menos del 20% de las lecherías estuvieron entre un 80 y un 120% de los requerimientos indicados según el NRC (2001).

Debido a la importancia de la seguridad alimentaria en relación con la salud animal y humana de niveles tolerables y tóxicos de minerales en la dieta, un grupo de expertos en nutrición, toxicología y medicina veterinaria han publicado recientemente una nueva edición de "Tolerancia



**Figura 2.** Estimaciones de consumo de agua en vacas lactando. Comparación de la ecuación de Murphy et al. (1983) con medidores de flujo electrónicos en 10 lecherías californianas.

**Tabla 1.** Proporción de lecherías (n=40) con diferentes contenidos de minerales en la ración (cuerpo de la tabla) de acuerdo con los requerimientos del NRC 2001.

Minerales	< 80%	80 a 120%	120 a 200%	> 200%
Ca*	2,5	40,0	57,5	--
P	--	37,5	62,5	--
Mg	--	--	82,5	17,5
Cl	--	2,5	32,5	65,0
K	--	7,5	85,0	7,5
Na	--	15,0	37,5	47,5
S	--	25,0	75,0	--
Cu	7,5	27,5	47,5	17,5
Fe	--	--	--	100,0
Mn	--	--	--	100,0
Se	2,5	15,0	77,5	5,0
Zn	--	17,5	65,0	17,5

\* El valor más cercano de producción de leche fue usado para determinar los requerimientos de acuerdo al NRC.

**Tabla 2.** Contenido de minerales en la dieta y niveles máximos tolerables (NMT).

Contenido de Minerales		Media±SD	Min	Max	NMT	Lecherías sc	NMT (%)
Ca	%	0,81 ± 0,14	0,47	1,13	1,15	--	--
P	%	0,44 ± 0,06	0,32	0,58	0,70	--	--
Mg	%	0,35 ± 0,05	0,27	0,47	0,60	--	--
K	%	1,61 ± 0,25	1,18	2,36	2,00	5	5
Na + Cl*	%	0,47 ± 0,14	0,24	1,10	--	--	--
S**	%	1,12 ± 0,32	0,68	2,60	3,00 *	--	--
Cu***	%	0,29 ± 0,05	0,18	0,38	0,30 **	47	47
Fe	ppm	17,70 ± 7,09	8,44	37,33	40,00	--	--
Mn	ppm	380,00 ± 145,10	198,30	770,00	500,00	15	15
Se	ppm	72,80 ± 19,12	40,50	113,30	2.000,00	--	--
Se	ppm	0,45 ± 0,11	0,22	0,75	5,00	--	--
Zn	pmm	75,80 ± 21,53	38,50	139,50	500,00	--	--

\* Los valores individuales (Na & Cl) fueron sumados para comparar el NMT del CINA.

\*\* Se consideró el NMT del S para dietas altas en concentrados (NRC 2005).

\*\*\* Se asumió una concentración normal de molibdeno y azufre.

de Minerales en los Animales Domésticos” (NRC, 2005). En esta publicación se vuelven a analizar conceptos sobre niveles de minerales esenciales en la dieta, como por ejemplo: deficitarios, marginales, óptimos, máximos tolerables y tóxicos. El nivel máximo tolerable (NMT) de un mineral se define como el nivel dietético que, cuando es suministrado por un período definido de tiempo, no perjudica la salud ni la desempeño productivo de los animales.

En la tabla 2 se presentan los resultados de contenido de minerales en la dieta de 40 lecherías y 128 raciones totales mezcladas analizadas, y los NMT de acuerdo con lo discutido en este párrafo. Potasio, hierro y azufre estuvieron por encima de los NMT en el 5,47 y 15% de las lecherías evaluadas, respectivamente.

En este estudio también se observó que suministrando minerales de acuerdo con los requerimientos del NRC se maximiza la eficiencia de utilización de minerales en la leche (EUML). Lo cual reivindica el sistema NRC (2001) como referente en este tema. La EUML se calculó como la proporción de los minerales consumidos eliminados a través de la leche (EUML = leche/consumo). En este estudio todos los minerales presentaron una alta correlación lineal en-

tre la concentración en la dieta, la proporción obtenida en la leche y el balance entre el total consumido y el total excretado en la leche en gramos/vaca por día. Indicando la posibilidad de predecir, a través de ecuaciones matemáticas, la excreción de cada mineral a partir de su concentración en la dieta.

A partir de los resultados de este estudio, se recomienda desarrollar una base de datos con la composición química (macro y minerales traza) de los forrajes y concentrados más usados en cada establecimiento lechero, incluyendo el agua de bebida con más de 500 mg ST/L. En la mayoría de las lecherías un ~80% de la dieta analizada está basada en cinco o seis ingredientes principales. El análisis sistemático de los mismos, permitirá en pocos años que cada empresa pueda contar con una excelente descripción de la concentración de minerales de los alimentos más usados y realizar un correcto balance de minerales estrictamente de acuerdo con las necesidades de los animales. Sería importante que esta base de datos se complemente con los correspondientes análisis de suelo. El beneficio de esta estrategia podría redundar en importantes ahorros en suplementos minerales o menores costos de alimentación, mejoramiento de la eficiencia de producción, reducción de la excreción de ciertos minerales

en el estiércol y preparación para cumplir con posibles regulaciones ambientales en el futuro.

## Ciclo del nitrógeno y minerales traza

La suplementación de minerales en ganado lechero y sus posibles efectos sobre el ambiente abre nuevas posibilidades para la nutrición animal. La biodisponibilidad normal de los minerales traza es muy baja. Una alta proporción de los mismos es excretada en las heces. Cuando alimentamos vacas también "alimentamos" estiércol o una gran población de microorganismos en el mismo, lo cual tiene un gran impacto sobre el ambiente e indudablemente necesita ser controlado (Castillo, 2010).

El efecto que tienen estos minerales almacenados en el estiércol sobre los gases de efecto invernadero no ha sido bien estudiado, particularmente sobre el estiércol proveniente de dietas lecheras y bajo diferentes condiciones de manejo. Recientes estudios indican que los minerales traza podrían jugar un importante rol en el ciclo del nitrógeno.

Richardson et al. (2009) analizaron las posibles vías de mitigar la acumulación del N<sub>2</sub>O en el ambiente describiendo las posibles enzimas requeridas para la reducción secuencial

del anión NO<sub>3</sub><sup>-</sup> a nitrógeno gaseoso (N<sub>2</sub>) en el ciclo del nitrógeno. Cada enzima usa un cofactor metálico activo tal como el molibdeno para la reducción del NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, el cobre o hierro para la reducción del NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, el hierro para la reducción del NO y, finalmente, el cobre para la reacción final de reducción del N<sub>2</sub>O a N<sub>2</sub> en el aire. De acuerdo con estos autores, más información es necesaria para comprender todos los factores que afectan el proceso de desnitrificación del ciclo del nitrógeno en el estiércol y el suelo (bacterias, cofactores metálicos, enzimas, calidad del suelo).

En la actualidad, las dietas lecheras son ajustadas de acuerdo con las necesidades de los animales para maximizar la productividad de los mismos. Probablemente en el futuro, algunos nutrientes (minerales) deberán ser reducidos o incorporados en la dieta para ser excretados en el estiércol y mejorar o suplementar algunas reacciones químicas específicas para mitigar posibles impactos ambientales (Castillo, 2010).

## Perspectivas futuras

Los sistemas lecheros a nivel mundial, desde los pastoriles neozelandeses hasta los intensivos californianos, avanzan hacia una mayor escala, donde

se destacan dos factores fundamentales: (1) un mayor número de animales por unidad de producción y (2) una mayor producción por vaca. Una de las razones de estos cambios de escala en los sistemas de producción de leche es la de disminuir los costos de producción, que cada vez son más altos, y la necesidad de ser cada vez más eficiente en términos productivos.

El manejo de la alimentación en los hatos lecheros debe planearse para maximizar la eficiencia de utilización de los nutrientes. Análisis químicos completos, incluyendo macro y micro minerales de los diferentes ingredientes de la dieta, son necesarios para balancear los nutrientes de acuerdo con las necesidades de los animales.

Debido a las variaciones en la composición química de los alimentos, se recomienda hacer una base de datos del contenido de minerales de aquellos forrajes más usados en cada establecimiento lechero, particularmente silaje, henos y granos producidos en cada lechería junto con el agua de bebida para los animales con más de 500 mg ST/L. En pocos años, esta información, junto con los análisis de suelos, permitirá obtener bases de datos con un claro diagnóstico de los minerales en exceso y déficit en cada lechería y realizar correctos balances de

minerales estrictamente de acuerdo con las necesidades de los animales. Además, posibilitará la reducción del gasto de alimentación por unidad de leche producida y la maximización del desempeño de los hatos lecheros.

## Agradecimientos

Dr. Normand St-Pierre (Ohio State University) y Dra Noelia Silva del Río (University of California, Cooperative Extension, Tulare, California).

## Bibliografía

CALIFORNIA REGIONAL Water Quality Control Board (CRWQCB). Waste Discharge Requirements General Order for Existing Milking Cow Dairies. Order No R5-2007-0035. May 2007. 125p .

CASTILLO, A. R. ; KREAB, E.; BEEVER, D.E. and FRANCE, J. A review of efficiency of nitrogen utilization in dairy cows and its relationship with the environmental pollution. In: J. Anim.and Feed Sci.Vol. 9 (2000) ; p.1-32.

CASTILLO, A.R.; J.E.P. , SANTOS and J.H., KIRK. Feed conversion and efficiency of NPK utilization in lactating dairy cows. In: J. Dairy Sci.Vol. 88 Suppl.1 Abstract 252. 2005.

CASTILLO, A.R.; J.E.P., SANTOS and T.J. ,TABONE. Estimation of mineral balances in dairy herds including minerals in the drinking water. In: California Agriculture. Vol. 61, no.2 (2007) ; p. 90-95.

CASTILLO, A.R. Whole-farm nu-

trient balances are an important tool for California dairy farms. In: California Agriculture. Vol. 63, no.3 (2009) ; p.149-151.

CASTILLO, A.R.,; ST-PIERRE, N. and N., SILVA DEL RIO. Mineral balances in California dairy farms. In: J. Dairy Sci. Vol. 92 Suppl. 1, Abstract 724. 2009a.

CASTILLO, A.R.; N. SILVA DEL RIO and ST-PIERRE, N. Total mixed ration mineral contents in California dairy farms. In: J. Dairy Sci. Vol. 92 Suppl. 1, Abstract W293. 2009b.

CASTILLO, A.R. Mineral Balances in Dairy Farms – Effect of trace minerals on the Environment. In: THE MID-SOUTH RUMINANT NUTRITION CONFERENCE. (2010: Arlington, Texas). P. 39-41.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th Revised Edition. Washington: Natl. Acad. Press., 2001.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). Mineral Tolerance of Animals. Second Revised Edition. Washigton: Natl. Acad. Press, 2005.

MURPHY, M.R.; C.L. ,DAVIS and C.G, McCOY. Factors affecting water consumption by Holstein cows in early lactation. In: J. Dairy Sci.Vol. 66 (1983) ; p.35-38.

RICHARDSON, D., H. et al. Mitigating release of the potent greenhouse gas N2O from the nitrogen cycle – could enzymic regulation hold the key? In: Trends in Biotech.Vol. 27, no.7 (2009) ; p. 388-394.

