

FÓSFORO: IMPORTANCIA, PROBLEMAS AMBIENTALES Y REQUERIMIENTOS EN GANADO DE LECHE

Ing. M.Sc. Jorge A. Elizondo Salazar*. 2015. BM Editores

*Estación Experimental Alfredo Volio Mata. Facultad de Ciencias Agroalimentarias. Universidad de Costa Rica. Costa Rica.

Estudiante de Doctorado (Animal Science). The Pennsylvania State University.

Presentado en el curso RAPCO (Regional Animal Production Courses) en ganado lechero. 3 al 7 de setiembre del 2007. Escuela Centroamericana de Ganadería. Balsa de Atenas, Costa Rica.

jaelizon@cariari.ucr.ac.cr

www.produccion-animal.com.ar

Volver a: [Minerales](#)

INTRODUCCIÓN

El fósforo (P) es esencial para todos los organismos vivos y es uno de los principales nutrientes para el crecimiento animal. El P está presente en cada célula del cuerpo y tiene más funciones que cualquier otro elemento mineral (Ternouth, 1990; NRC, 2001). El fósforo es también un constituyente importante de la leche, y por lo tanto es requerido en grandes cantidades por vacas con altos niveles de producción.

Preocupaciones concernientes con el ambiente y diversas propuestas ambientales que regulan el manejo de nutrientes han renovado el interés en la cantidad de P que se debe alimentar a las vacas lecheras, ya que alimentar P en exceso aumenta su excreción, lo que conlleva a desequilibrios ecológicos. Cuando se aplica en el campo, por encima de lo requerido para el crecimiento de las plantas, el P se acumula en la tierra en forma de fosfatos y entra a los sistemas acuíferos por medio del agua de escorrentía y la erosión. Un sistema acuático enriquecido con P se puede deteriorar dando como resultado el fenómeno conocido como eutrofización (Walker, 2000).

Una serie de estrategias, para aminorar las pérdidas de nutrientes a través del agua de escorrentía y erosión, se aplican cada vez más en las fincas lecheras, pero la mayor parte de los esfuerzos se han enfocado en estrategias a la hora de aplicar el estiércol en el campo, es decir, posteriormente a su excreción. En tanto que reducir el contenido de P en la dieta para minimizar su excreción es un enfoque más fundamental y rentable para reducir las pérdidas de P de la finca. Sin embargo, es importante recalcar que las dietas para vacas lecheras deben contener suficiente P para satisfacer los requerimientos para una producción óptima.

Tradicionalmente, los productores sobrealimentan P a las vacas lecheras (0.55 a 0.60% de P en la dieta) como una práctica para aumentar la producción y mejorar el desempeño reproductivo. Esto, sin embargo, no ha sido soportado por investigaciones recientes. Varios estudios (Brintrup et al., 1993; Valk y Sebek, 1999; Wu y Satter, 2000; Wu et al., 2000, 2001) mostraron que niveles de P en la dieta por encima de 0.36% no son necesarios.

EL FÓSFORO Y EL MEDIO AMBIENTE

El fósforo es un elemento esencial para los animales y debe proporcionarse en la dieta (Soares, 1995). Sin embargo, los animales lo utilizan forma ineficiente. En vacas lecheras de 60 a 70% del P consumido es excretado (Dou et al., 2002), por lo que la mayoría de P que ingresa a la finca en forma de alimento permanece en ella en forma de abono, en lugar de ser exportado en la leche o en animales vendidos (Beede y Davidson, 1999; Kowlton y Herbain, 2000). Una vez en el suelo, el P se almacena, principalmente en forma de compuestos inorgánicos con hierro, aluminio y calcio, o en formas orgánicas en microorganismos, residuos de cosecha y material en descomposición (McDowell y Condon, 2001).

La transferencia de P del suelo a las fuentes de agua se da principalmente a través del agua de escorrentía, específicamente como P adherido a partículas de compuestos minerales y como P inorgánico disuelto, siendo la primera, la forma predominante que se da en la mayoría de tierras agrícolas (Sharpley et al., 1992). Adicionalmente, el P aplicado al suelo a lo largo de los años o la aplicación de estiércol en exceso puede llegar a lixiviarse a aguas subterráneas (Eghball, 2003). La entrada de P a los cuerpos de agua superficiales puede resultar en eutrofización. El fósforo es a menudo el nutriente limitante en sistemas acuáticos, lo mismo que en suelos poco fértiles, con la diferencia de que los sistemas acuáticos tienen una baja capacidad amortiguante o habilidad para almacenar dicho elemento.

Cuando el P entra a lagos, ríos o riachuelos, el crecimiento de algas y otros microorganismos acuáticos se estimula. La descomposición de algas consume el oxígeno disuelto y cuando el oxígeno disuelto es escaso o se agota, los organismos aeróbicos del ecosistema se ven afectados y comienzan a morir. Cuando la tasa de muerte de

estos organismos aumenta, la demanda por el oxígeno en el sistema aumenta aún más. Mayores tasas de mortalidad tendrán como resultado una mayor demanda de oxígeno necesario para la descomposición hasta que eventualmente llega a ser limitante. Cuando esto sucede, el sistema pasa de ser un sistema aeróbico a uno anaeróbico (Sharpley et al., 1994; Walker, 2000; Knowlton et al., 2001).

El agua de esta forma puede experimentar un crecimiento masivo de cianobacterias, las cuáles puede matar animales y exponer a los seres humanos a problemas de salud (Walker, 2000; Sharpley y Beegle, 2001). Otros problemas comunes asociados con cuerpos de agua eutrofizados son: un uso recreacional restringido, efectos negativos en la salud por el consumo del agua y un incremento en el costo para el tratamiento de las mismas (Van Horn et al., 1991; Walker, 2000).

La eutrofización se ha convertido en un problema grave en muchas áreas del mundo donde se da una producción animal intensiva, por lo que para proteger y preservar la calidad de los recursos acuáticos, es importante limitar el ingreso del P a los mismos.

FUNCIONES DEL FÓSFORO EN EL ORGANISMO

El fósforo tiene una serie de funciones en los animales. Los compuestos fosfatados dan rigidez al hueso, lo que asegura la función del sistema músculo-esquelético. Semejante al Ca, el P es importante para la formación y la conservación de los huesos. Los cambios en la estructura y composición de los huesos que resultan de la privación de P son semejantes a los causados por la deficiencia de Ca. Sin embargo, el P se requiere para la formación de la matriz orgánica del hueso así como de la mineralización de la matriz. Además del tejido esquelético, el P está distribuido ampliamente en los líquidos del cuerpo y tejido blando, donde está íntimamente ligado con una gran variedad de reacciones bioquímicas (Ternouth, 1990).

El fósforo es un componente del ácido desoxirribonucleico (ADN) y ácido ribonucleico (ARN), que son esenciales para el crecimiento y diferenciación de las células. Como componente de los fosfolípidos, contribuye a la fluidez e integridad de la membrana celular (Soares, 1995); como fosfato, ayuda a mantener el equilibrio osmótico y el balance ácido-base. El fósforo juega un papel esencial en las funciones metabólicas del organismo, incluyendo la utilización y transferencia de energía AMP, ADP y ATP. El fósforo es importante en la glucogénesis, en el transporte de ácidos grasos, en la síntesis de aminoácidos y proteína y en la actividad de la bomba Na⁺/K⁺ (McDonald et al., 1995). Cualquier limitación en el suministro de P se reflejará en un deterioro generalizado de las funciones del cuerpo (McDowell, 1992).

La disponibilidad de P para los microorganismos del rumen es también importante y la síntesis de proteína microbiana en el rumen se puede ver afectada cuando los animales se alimentan con dietas deficientes en P (Witt y Owens, 1989; Ternouth, 1990; Spiekers et al., 1993). Una deficiencia de fósforo dietético se puede manifestar en una reducción en el consumo de alimento y en la digestibilidad de la materia seca (Bass et al., 1981).

EL FÓSFORO EN LOS RUMIANTES

El fósforo es el segundo mineral en abundancia presente en el cuerpo del animal (Ternouth, 1990). Constituye cerca de 1% del peso corporal y cerca de 80 a 85% del P en el cuerpo se encuentra en los huesos y dientes (Maynard y Looslie, 1979; Horst, 1986; Ternouth, 1990; Breves y Schroder, 1991; McDowell, 1992; Soares, 1995; Beede y Davidson, 1999; NRC, 2001), dependiendo de la edad, del estado nutricional y de la especie (Maynard y Looslie, 1979; Soares, 1995). El plasma sanguíneo de animales en crecimiento contiene normalmente entre 4 a 6 mg de P/dl. Aproximadamente de 1 a 2 g de P circula como P inorgánico en el plasma sanguíneo de un animal de 600 kg. Debido a que los eritrocitos presentan una mayor concentración de P, la sangre íntegra contiene de 6 a 8 veces mayor concentración que el plasma. Cerca de 5 a 8 g están presentes en el reservorio extracelular de una vaca de 600 kg. La concentración intracelular de P es cerca de 78 mg/dl y el P intracelular total es cerca de 155 g en una vaca de 600 kg (McDowell, 1992).

EXCRECIÓN DE FÓSFORO EN LAS HECE

En rumiantes, típicamente de 95 a 98% de la excreción total de P se da en las heces (Horst, 1986; NRC, 2001; Bravo et al., 2003). El P fecal se puede clasificar en las siguientes tres fracciones: 1) P de origen dietético, no disponible para absorción; 2) P de origen endógeno, una fracción que puede considerarse como pérdidas inevitables; y 3) P de origen dietético y endógeno, excretado como resultado de la homeostasis del P o eliminación del P en exceso (Spiekers et al., 1993; Knowlton et al., 2001; NRC, 2001; Bravo et al., 2003).

Diversas investigaciones han determinado que la excreción fecal de P está relacionada con su consumo (Dayrell y Iván, 1989; Sanson et al., 1990; Van Horn et al., 1991; Spiekers et al., 1993; Wu et al., 2000; Weiss y Wyatt, 2004; Ekelund et al., 2005; Elizondo et al., 2006). Weiss y Wyatt (2004) mostraron que la excreción fecal de P aumentada linealmente conforme el consumo de este mineral aumenta. Los autores utilizaron los datos de 8 experimentos que incluían 162 vacas y derivaron las siguientes dos ecuaciones que relacionan el consumo de P con la excreción de P fecal en vacas lecheras:

$$P \text{ fecal} = -2.5 + (0.64 \times \text{consumo de P})$$

$$P \text{ fecal} = 7.5 + (0.78 \times \text{consumo de P}) - (0.702 \times \text{producción láctea})$$

donde la unidad es g/d para el consumo de P y P fecal y kg/d para producción láctea.

Wu *et al.* (2000) reportaron también una relación lineal entre el P consumido y el excretado en las heces. La ecuación obtenida es la siguiente:

$$P \text{ fecal} = 0.643 \times \text{consumo de P} - 5.2 \text{ donde la unidad es g/d tanto para el P fecal y como para el consumo de P.}$$

Van Horn *et al.* (1991) propusieron que la excreción de P (g/d) se podía calcular como el P consumido menos el P secretado en la leche, el cual se puede calcular a partir de la producción láctea (kg/d) y el contenido de P en la leche (0.9 g/kg).

$$\text{Excreción de P} = \text{P consumido} - (\text{leche} \times 0.9)$$

EXCRECIÓN DE FÓSFORO EN LA ORINA

Los rumiantes generalmente excretan cantidades insignificantes de P en la orina, pero a menudo muestran una considerable variación. Manston y Vagg (1970) reportaron que la concentración de P en la orina en vacas lecheras fue menor de 10 mg/l, pero con un rango que oscila entre 1.0 y 2120 mg/l, sin ninguna tendencia asociada con el nivel de P dietético. Ekelund *et al.* (2005) reportaron un promedio de 12.6 mg de P/l. Asumiendo un volumen diario de orina de 30 litros, la excreción de P será generalmente menor a 1.0 g/d. El NRC (2001) estima 1.2 g/d para una vaca que pesa 600 kg.

EL FÓSFORO Y EL DESEMPEÑO REPRODUCTIVO DE LOS ANIMALES

El fósforo ha sido utilizado por productores para mejorar el desempeño reproductivo de los animales. Algunos signos de bajo desempeño reproductivo en vacas lecheras como consecuencia de dietas deficientes en P incluyen actividad ovárica disminuida, bajas tasas de concepción y bajas tasas de preñez (Ternouth, 1990). Sin embargo, el bajo desempeño reproductivo ha sido raramente atribuido a la deficiencia de P y la relación a menudo ha sido confundida con una deficiencia en el consumo de materia seca u otros nutrientes.

Estudios recientes no han mostrado cambio alguno en el desempeño reproductivo de vacas lecheras cuando se varió el contenido de P en la dieta. Wu y Satter (2000) resumieron 8 estudios que incluían 785 observaciones y no encontraron diferencias en el desempeño reproductivo de los animales entre tratamientos al incrementar los niveles de P de 0.32 a 0.40% y de 0.39 a 0.61% (Cuadro 1). Valk y Sebek (1999) alimentaron vacas con niveles de 0.24, 0.28, o 0.33% de P por 2 años y tampoco encontraron diferencias significativas en el desempeño reproductivo.

PRODUCCIÓN LÁCTEA Y SECRECIÓN DE FÓSFORO EN LA LECHE

Estudios recientes reportan rendimientos semejantes de leche cuando las vacas se alimentan con cantidades diferentes de P (Cuadro 2). Wu *et al.* (2000) no encontraron diferencias en la producción de leche durante la lactancia completa entre vacas que se alimentaron con dietas que contenían 0.40 y 0.49% de P. Igualmente, Ekelund *et al.* (2005) reportaron producciones similares de leche en vacas que fueron alimentadas con dietas que contenían 0.32 ó 0.43% de P. Steevens *et al.* (1971) alimentaron vacas con dietas de 0.37, 0.55 y 0.57% de P, obteniendo rendimientos de leche similares durante las primeras 24 semanas de lactancia. Brintrup *et al.* (1993) utilizaron dietas que contenían 0.33 y 0.39% de P durante 2 años, y ambos grupos de vacas produjeron aproximadamente 7500 kg de leche por año. Wu *et al.* (2001) alimentaron 37 vacas con 0.31 ó 0.39% de P durante 2 ó 3 años y no observaron diferencias en los rendimientos de leche o en el potencial de producción.

Wu y Satter (2000) concluyeron que el reducir el nivel de P en la dieta de 48 a 38% no afectó la producción de leche en un experimento que se llevó a cabo por 2 años con 30 vacas. Finalmente, al alimentar vacas con dietas que contenían 0.33 ó 0.42% de P, Wu *et al.* (2003) no observaron diferencias en la producción láctea ni en la composición de la misma. El contenido de P en la leche es relativamente constante. Brintrup *et al.* (1993) y Wu *et al.* (2001) reportaron un contenido promedio de P en la leche de 0.90 g/kg, mientras que Ekelund *et al.* (2005) reportaron 0.94 g/kg. En términos generales, la concentración P en la leche es de 0.09% (Harris *et al.*, 1990; NRC, 2001; CAST, 2002; Dou *et al.*, 2002; Kowlton y Herbain, 2000).

DISPONIBILIDAD DE FÓSFORO EN LOS ALIMENTOS

Es importante comprender que el contenido total de un mineral en un ingrediente particular o en una ración completa tiene poco significado a menos que se determine su disponibilidad biológica. Ningún elemento se absorbe o se utiliza en su totalidad y alguna cantidad siempre se pierde en los procesos digestivos y metabólicos. Antes de que un nutriente esencial puede tener valor nutricional, debe estar en una forma tal que pueda ser digerido,

absorbido y transportado a la parte del cuerpo donde se le pueda utilizar (Peeler, 1972). El NRC (1989) utilizó un solo valor de la disponibilidad de P para todos los alimentos.

La edición del NRC (2001) propone valores diferentes dependiendo del tipo de alimento, incluyendo entre ellos; 64% para forrajes, 70% para granos y 90% para el fosfato monosódico. La absorción de P en la vaca lechera se ve afectado por varios factores, entre ellos están el tipo de ración, la forma química del elemento, la proporción Ca:P en la dieta, el pH intestinal, el tipo de alimento, la edad y el sexo del animal. Factores tales como el ambiente, niveles hormonales, enfermedades, parásitos, procesamiento del alimento y el contenido dietético de grasa, energía, hierro, aluminio, manganeso, magnesio y potasio, pueden tener también algún efecto (Peeler, 1972; McDowell, 1992; Soares, 1995; Chase, 1998).

Dayrell y Iván (1989) informaron coeficientes de absorción verdadera de 75.1, 67.3 y 48.1% de P en ovejas que se alimentaron con ensilaje de maíz sólo, ensilaje de maíz suplementado con fosfato dicálcico, o con ensilaje de maíz suplementado con roca fosfórica, respectivamente. Martz et al. (1990) reportaron valores de absorción verdadera en vacas lactantes de 74.6 y 64.4% para el ensilaje de alfalfa más ensilaje de maíz, y alfalfa sola, respectivamente. Martz et al. (1999) reportaron también que la absorción verdadera de P en ensilaje de maíz varió entre 84 a 94% en vacas lecheras, preñadas no lactantes y que incrementar el contenido de P en la dieta resultó en un aumento en el P absorbido lo mismo que en el P excretado. Ternouth y Coates (1997) reportaron niveles de absorción de P de 73.7, 76.6 y 83.9% para novillas de carne en preñez tardía, lactancia temprana y lactancia tardía, respectivamente. La eficiencia de absorción del P debe ser máxima en animales con demandas altas y que consumen dietas con niveles de P bajos o moderados (Vitti et al., 2000).

REQUERIMIENTOS DE FÓSFORO PARA GANADO DE LECHE

Los requerimientos de P de vacas lactantes se estiman utilizando un enfoque factorial. En el NRC (2001), los requerimientos se calculan como la suma del P absorbido utilizado para mantenimiento, lactación, crecimiento y gestación. El P absorbido se divide luego por un coeficiente de absorción intestinal del P dietético para estimar la necesidad de P en la dieta. El NRC (2001) utiliza un 64% para forrajes, 70% para concentrados y 75 a 90% para suplementos minerales, como los coeficientes de la absorción.

El NRC (2001) calcula el requerimiento de P para mantenimiento como 1.0 g/kg de materia seca (MS) más una cantidad insignificante para recuperar la pérdida de P en la orina (0.002 g/kg de peso corporal). Esto difiere del NRC (1989), en el cuál el peso vivo del animal se utilizaba para calcular el requerimiento para mantenimiento. El cambio fue hecho como resultado de la investigación por Spiekers et al. (1993), quien demostró que la excreción de P fecal endógena está en función del consumo de materia seca (MS) más que en función del peso corporal.

El requerimiento de P para lactancia se calcula como 0.9 g/kg de leche, sin importar el contenido de grasa o proteína. El requerimiento para crecimiento se calcula utilizando una ecuación alométrica y solamente se aplica a animales en crecimiento. El requerimiento de P para gestación es significativo únicamente durante el último trimestre de la gestación. El NRC (2001) utiliza una ecuación exponencial para calcular el requerimiento de P de acuerdo a los días de gestación, con valores obtenidos que oscilan entre 1.9 g/d para 190 días hasta 5.4 g/d para 280 días de preñez. La cantidad de P absorbible requerido para gestación durante los últimos 60 días de preñez es de 2.5 g/d como promedio.

El actual NRC (2001) ha reducido las cantidades recomendadas de P cuando se compara con el NRC anterior (1989). Wu et al. (2001) indicaron que el cambio está bien justificado y que de seguir con estos lineamientos, la excreción P se puede reducir entre un 25 a 30%. En otro estudio, Wu et al. (2003) reportaron que al reducir la concentración de P en la dieta de 0.42 a 0.33%, se obtuvo una reducción del P excretado. Esto es consecuente con un estudio de Morse et al. (1992) quienes obtuvieron una reducción de 22.7% del P fecal cuando el contenido de P en la dieta se redujo de 0.41 a 0.31% en vacas lecheras.

En el Cuadro 4, se presenta los requerimientos de P absorbible total en gramos por día y en porcentaje de la dieta para una vaca adulta, no gestante, con diferentes niveles de producción láctea y diferentes consumos de materia seca.

LITERATURA CITADA

1. Beede, D. K. and J. A. Davidson. 1999. Phosphorus: Nutritional management for Y2K and beyond. Proc. Tri-State Dairy Nutr. Conf. Fort Wayne, IN. pp.50-97.
2. Bravo, D., D. Sauvant, C. Bogaert, and F. Meschy. 2003. Quantitative aspects of phosphorus excretion in ruminants. Reprod. Nutr. Dev. 43:285-300.
3. Breves, G. and B. Schroder. 1991. Comparative aspects of gastrointestinal phosphorus metabolism. Nut. Research Rev. 4:125-140.
4. Brintrup, R., T. Mooren, U. Meyer, H. Spiekers, and E. Pfeffer. 1993. Effects of two levels of phosphorus intake on performance and faecal phosphorus excretion of dairy cows. J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr. 69:29-36.
5. Chase, L. E. 1998. Phosphorus in dairy cattle nutrition. Pages 212-223. in Proc. Cornell Nutr. Conf. For Feed Manufacturers, Ithaca, N.Y.

6. Council for Agricultural Science and Technology (CAST). 2002. Animal diet modification to decrease the potential for nitrogen and phosphorus pollution. Issue Paper 21. Council for Agricultural Science and Technology, Ames, Iowa, U.S.A.
7. Dayrell, M. and M. Ivan. 1989. True absorption of phosphorus in sheep fed corn silage and corn silage supplemented with dicalcium or rock phosphate. *Can. J. Anim. Sci.* 69:181-186.
8. Dou, Z.; K. F. Knowlton; R. A. Kohn; Z. Wu; L. D. Satter; G. Zhang, J. D. Toth, and J. D. Ferguson. 2002. Phosphorus characteristics of dairy feces affected by diets. *J. Environ. Qual.* 31:2058-2065.
9. Eghball, B. 2003. Leaching of phosphorus fractions following manure or compost application. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 34:2803-2815.
10. Elizondo, J.; D. Beegle, J. Fergusson, and Z. Wu. 2006. Milk production of dairy cows fed diets constant or varied in phosphorus content during lactation. *J. Dairy Sci.* 89: Suppl. 1.
11. Ekelund, A., R. Sporndly, K. Holtenius. 2005. Influence of low phosphorus intake during early lactation on apparent digestibility of phosphorus and bone metabolism in dairy cows. *Livestock Sci.* 99:227-236.
12. Harris, B., D. Morse, H. Head, H. Van Horn. 1990. Phosphorus nutrition and excretion by dairy animals. Circular 849. University of Florida, Cooperative Extension Service. Institute of Food and Agricultural Sciences. U.S.A. 14 p.
13. Horst, R. L. 1986. Regulation of calcium and phosphorus homeostasis in the dairy cow. *J. Dairy Sci.* 69:604-616.
14. Knowlton, K. F. and J. H. Herbain. 2000. Phosphorus partitioning during early lactation in dairy cows fed diets varying in phosphorus content. *J. Dairy Sci.* 85:1227-1236.
15. Knowlton, K. F., J. H. Herbain, M. A. Meister-Weisbarth, and W. A. Wark. 2001. Nitrogen and phosphorus partitioning in lactating Holstein cows fed different sources of dietary protein and phosphorus. *J. Dairy Sci.* 84:1210-1217.
16. Manston, R. and M. J. Vagg. 1970. Urinary phosphate excretion in the dairy cow. *J. Agric. Sci. (Camb).* 74:161-167.
17. Martz, F. A., A. T. Belo, M. F. Weiss, and R. L. Belyea. 1999. True absorption of calcium and phosphorus from corn silage fed to nonlactating, pregnant dairy cows. *J. Dairy Sci.* 82:618-622.
18. Martz, F. A., A. T. Belo, M. F. Weiss, R. L. Belyea, and J. P. Goff. 1990. True absorption of calcium and phosphorus from alfalfa and corn silage when fed to lactating cows. *J. Dairy Sci.* 73:1288-1295.
19. Maynard, L. and Looslie, J. 1979. *Animal nutrition*. 7th ed. McGraw-Hill, Inc. New York, U.S.A.
20. McDonald, P., R. A. Edwards, J. F. Greenhalgh, and C. A. Morgan. 1995. *Animal Nutrition*. 5th edition. John Wiley & Sons, Inc., N.Y.
21. McDowell, L. R. 1992. *Minerals in Animal and Human Nutrition*. Academic Press, Inc., San Diego, CA.
22. McDowell, R. and L. Condron. 2001. Influence of soil constituents on soil phosphorus sorption and desorption. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 32:2531-2547.
23. Morse, D., H. H. Head, C. J. Wilcox, H. H. Van Horn, C. D. Hinsen, and B. Harris. 1992. Effects of concentration of dietary phosphorus on amount and route of excretion. *Journal of Dairy Science* 75: 3039-3049.
24. National Research Council (NRC). 1989. *Nutrient requirements of dairy cattle*. 6th rev. ed. Natl. Acad. Sci., Washington, DC.
25. National Research Council (NRC). 2001. *Nutrient requirements of dairy cattle*. 7th rev. ed. Natl. Acad. Sci., Washington, DC.
26. Peeler, H. T. 1972. Biological availability of nutrients in feeds: availability of major mineral ions. *J. Anim. Sci.* 35:695-712.
27. Sanson, D. W., G. L. Walker, D. C. Clanton, and K. M. Eskridge. 1990. Relationship between phosphorus intake and blood or fecal phosphorus in gestating cows. *J. Range Management.* 43:238-241.
28. Sharpley, A. and D. Beegle. 2001. *Managing phosphorus for agriculture and the environment*. Penn State University, College of Agricultural Sciences. Agricultural Research and Cooperative Extension. U.S.A.
29. Sharpley, A. N., O. R. Jones, W. A. Berg, and G. A. Coleman. 1992. The transport of bioavailable phosphorus in agricultural runoff. *J. Environ. Qual.* 21:30-35.
30. Sharpley, A. N., S. C. Chapra, R. Wedepohl, J. T. Sims, and T. C. Daniel. 1994. Managing agricultural phosphorus for protection of surface waters: Issues and options. *J. Environ. Qual.* 23:437-451.
31. Soares, J. H. 1995. Phosphorus bioavailability. Pp 257-294. In *Bioavailability of nutrients for animals*. Academic Press.
32. Spiekens, H., R. Brintrup, M. Balmelli, and E. Pfeffer. 1993. Influence of dry matter intake on faecal phosphorus losses in dairy cows fed rations low in phosphorus. *J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr.* 69:37-43.
33. Steevens, B. J., L. J. Bush, J. D. Scott, and E. I. Williams. 1971. Effect of varying amounts of calcium and phosphorus in rations for dairy cows. *J. Dairy Sci.* 54:655-661.
34. Ternouth, J. H. 1990. Phosphorus and beef production in northern Australia. 3. Phosphorus in cattle-a review. *Tropical Grasslands.* 24:159-169.
35. Ternouth, J. H. and D. B. Coates. 1997. Phosphorus homeostasis in grazing breeder cattle. *J. Agric. Sci. (Camb).* 128-331-337.
36. Valk, H.; and L. B. Sebek. 1999. Influence of prolonged feeding of limited amounts of phosphorus on dry matter intake, milk production, reproduction and body weight of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 82:2157-2163.
37. Van Horn, H.; G. Newton, R. Nordstedt, E. French, G. Kidder, D. Graetz, and C. Chambliss. 1991. *Dairy manure management: Strategies for recycling nutrients to recover fertilizer value and avoid environmental pollution*. Circular 1016. University of Florida, Cooperative Extension Service. Institute of Food and Agricultural Sciences. U.S.A.
38. Vitti, D. M., E. Kebread, J. B. Lopes, A. L. Abdalla, F. F. De Carvalhos, K. T. De Resende, L. A. Crompton, and J. Franca. 2000. A kinetic model of phosphorus metabolism in growing goats. *J. Anim. Sci.* 78:2706-2712.
39. Walker, F. 2000. *Best management practices for phosphorus in the environment*. Publication No. 1645. Agricultural Extension Service. The University of Tennessee.

40. Weiss, W. P. and Wyatt, D. J. 2004. Macromineral digestion by lactating dairy cows: estimating phosphorus excretion via manure. *Journal of Dairy Science* 87: 2158-2166.
41. Witt, K. E. and F. N. Owens. 1989. Phosphorus: Ruminant availability and effects on digestion. *J. Anim. Sci.* 56:930-937.
42. Wu, Z. and L. D. Satter. 2000. Milk production and reproductive performance of dairy cows fed two concentrations of phosphorus for two years. *J. Dairy Sci.* 83:1052-1063.
43. Wu, Z.; L. D. Satter, A. J. Blohowiak.; R. H. Stauffacher, and J. H. Wilson. 2001. Milk production, estimated phosphorus excretion and bone characteristics of dairy cows fed different amounts of phosphorus for two or three years. *J. Dairy Sci.* 84: 1738-1748.
44. Wu, Z., L. D. Satter, and R. Sojo. 2000. Milk production, reproductive performance, and fecal excretion of phosphorus by dairy cows fed three amounts of phosphorus. *J. Dairy Sci.* 83:1028-1041.
45. Wu, Z.; S. K. Tallam, V. A. Ishler, D. D. Archibald. 2003. Utilization of phosphorus in lactating cows fed varying amounts of phosphorus and forage. *J. Dairy Sci.* 86:3300-3308.

Volver a: [Minerales](#)