

# EL FÓSFORO EN LA VACA LECHERA

Ing. Agr. Juan M. Hernández Vieyra. 2004. Argent Export S.A.  
Sitio Argentino de Producción Animal - [www.produccion-animal.com.ar](http://www.produccion-animal.com.ar)

Volver a: [Suplementación mineral](#)

## IMPORTANCIA DE LOS MINERALES EN EL RUMEN

Un aporte cualitativo y cuantitativo de minerales en la ración es esencial para mantener la salud de los animales y eficientizar su rendimiento productivo. Este es el rol que cumplen los minerales en la fermentación ruminal, y por ende en la utilización del alimento, haciendo más eficiente el aprovechamiento de los principales nutrientes, esto es hidratos de carbonos (estructurales y no estructurales) y proteínas.

Los rumiantes que no reciben alimentación con concentraciones minerales adecuadas, padecen desordenes nutricionales, pudiendo presentarse enfermedades graves y agudas, o alteraciones leves y transitorias, difíciles de diagnosticar con exactitud y que se manifiestan afectando principalmente el crecimiento y la performance productiva y reproductiva.

Para que las bacterias ruminales elaboren en forma óptima productos finales, tales como ácidos grasos volátiles y proteína bacteriana, es necesario garantizar sus requerimientos nutricionales. Esto se logra con alimentos de buena digestibilidad y equilibrados en energía y proteína, sin descuidar un buen aporte de minerales. Los minerales intervienen en los dos procesos fermentativos más importantes descriptos en el rumen, degradación de hidratos de carbono y síntesis de proteína microbiana.

Como regla general debemos tener en cuenta que lo que entra por la boca es mejor, por que los minerales en general no solo juegan un papel fundamental en el metabolismo animal, sino también en el ambiente ruminal al mejorar la digestibilidad y aprovechamiento de forrajes. Por ello hay que alimentar bien a las bacterias y protozoarios del rumen.

Los elementos minerales indispensables se clasifican habitualmente en macro minerales y oligoelementos o minerales traza. Entre el primer grupo encontramos: Calcio, Fósforo, Magnesio, Sodio, Potasio, Cloro y Azufre.

Entre los oligoelementos más importantes podemos mencionar: hierro (Fe), cobre (Cu), cobalto (Co), manganeso (Mn), zinc (Zn), iodo (I) y selenio (Se). Aproximadamente unos 15 elementos traza han demostrado realizar funciones fisiológicas en el organismo.

De los macro-elementos mucho se ha hablado del Calcio, cuya deficiencia en momentos críticos como el inicio de la lactancia produce la conocida patología fiebre de leche (Hipocalcemia) o Síndrome de Vaca caída.

Otro macro-elemento no menos importante en la nutrición mineral de los animales, y en especial de aquellos que se encuentran en pastoreo, es el fósforo (P).

Es por ello que en este artículo nos centraremos en la importancia del P en la producción animal y en particular en la producción lechera.

## EL ROL DEL FÓSFORO EN EL ANIMAL

El fósforo es el segundo mineral más abundante del cuerpo y tiene más funciones conocidas en el organismo que cualquier otro elemento. Además de su rol vital en el desarrollo y mantenimiento del tejido esquelético, tiene también una función especial en el crecimiento celular y juega un papel clave en muchas otras funciones metabólicas.

Todos los procesos fisiológicos que implican una ganancia o pérdida de energía se realizan mediante la formación o la destrucción de "enlaces fosfato" que acumulan energía. Sumado a ello cumple con el mantenimiento de la presión osmótica y el equilibrio ácido-básico, la formación de fosfolípidos y, en consecuencia, en el transporte de ácidos grasos y en la formación de aminoácidos y proteínas.

El fósforo también está implicado en el control del apetito y la eficiencia de la utilización de los alimentos.

Interviene en numerosos sistemas enzimáticos microbianos (coenzimas) en la fermentación de glúcidos y en la composición de materia celular (ácidos nucleicos de ribosomas (ARN), ácido teicoico de paredes bacterianas GRAM+, etc.

El fósforo disponible para los microorganismos ruminales tiene dos orígenes, alimentario y salival.

La saliva en condiciones normales de alimentación es rica en fosfatos (600-800 mg de fósforo por litro). Su presencia permite la neutralización de los componentes acidificantes del rumen, indispensable para asegurar la función celulolítica y la producción de biomasa bacteriana.

## REQUERIMIENTOS DE FÓSFORO DE LA VACA EN PRODUCCIÓN

Las necesidades de fósforo se sitúan entre 3 y 5 g P/kg. materia orgánica digestible (MOD), según la actividad de la microflora, siendo los tenores de P disponible en el medio ruminal de alrededor de 70 a 100 mg/l.

Según NRC 1989, los requerimientos diarios de una vaca lechera de 600 kg. de peso vivo, para mantenimiento son de 17 g.

En la leche encontramos una concentración de 0.1% de P, de las cuales las dos terceras partes están asociadas a la caseína. Por consiguiente, los niveles en la leche variarán con el tenor proteico. Es decir la leche con alto contenido de sólidos como por ejemplo la leche de vacas Jersey contiene un 20% más de proteína y por tanto cerca de un 12% más de P que las Holando.

Es así que según NRC 1989, se debe calcular la necesidad de P por litro de leche al 3.5% de grasa butirosa en 1.85 g / l / día. Esto equivale también a 0.9 g de P/kg de proteína de leche, asumiendo un porcentaje de proteína de 3.1%.

Por lo tanto una vaca de 600 kg. produciendo 25 litros de leche diarios al 3.5% de GB y 3.1% de proteína tendrá un requerimiento total de 63 g de P. Mayor será el requerimiento si se trata de una vaca de primer parto que debe continuar su desarrollo y lo mismo en el caso de animales cuyo contenido de sólidos en leche sea superior al de las Holando.

## EL METABOLISMO DEL P EN VACA LACTANTE

En la práctica el bajo nivel de inclusión de fósforo en las dietas de vacas lecheras tiende a dejar de lado una apreciación verdadera de su importancia. Este artículo enfatiza el rol esencial del fósforo cuantificando su alta tasa de actividad metabólica.

Para alcanzar los requerimientos minerales de sus tejidos y órganos, los animales poseen una serie de mecanismos a su disposición para optimizar la provisión temporaria de minerales esenciales en el caso de insuficiencia dietaria. Estos incluyen la capacidad de incrementar la absorción del aparato digestivo, tanto adaptando la actividad de las enzimas en el intestino, las cuales son necesarias para la transferencia de minerales, disparando las hormonas que activan las proteínas implicadas en el transporte de minerales a través de la pared intestinal.

Un buen ejemplo aquí es el incremento en la eficiencia de la absorción del calcio con una disminución en la aporte dietario de este elemento (y viceversa). Esto es lo mismo para muchos minerales trazas, notablemente en hierro, en donde la absorción está en función de los requerimientos del animal. En contraposición con esto, la absorción de otros minerales (ej. potasio, sodio, cloro, iodo, molibdeno) no es tan bien controlada y todo lo que se absorbe en exceso de las necesidades del animal, es excretado por la orina. Desafortunadamente esta excreción es costosa para el animal en términos de gasto de energía.

La pérdida endógena de P fecal y urinaria puede ser además reducida en casos de insuficiencia dietaria por la acción de una hormona secretada por la glándula paratiroides la cual aumenta la recirculación salival y la retención de P en los riñones. En casos de deficiencias severas en la dieta de P y Ca (ej. durante la lactancia), el animal puede movilizar las reservas óseas de estos minerales bajo influencia hormonal.

Para discutir la importancia de la provisión de P y su utilización en el caso de una vaca en lactancia, se presenta en la figura de abajo, un esquema cuantitativo representa los caminos implicados en el metabolismo del P. Dicho esquema está basado y adaptado de trabajos de metabolismo de P en la vaca lechera realizados por Gueguen (1978) y Gueguen, Lamand & Meschy (1988) y muestra un "balance de P" en un momento específico en el ciclo de lactancia de la vaca.

Se observa en la Fig. 1, una vaca de 600 kg. en el comienzo de la lactancia, con una producción de leche de 25 litros por día y su requerimiento total diario de P, incluyendo mantenimiento, es de 63 gramos.

Suponiendo que la digestibilidad real del P suministrado en la dieta es aproximadamente 55%, entonces 35 g de P será absorbido del aparato digestivo y 28 g serán excretados en la materia fecal (P Fecal exógeno). Esta absorción de P dietario será obviamente intensificado por el uso de la fuente de P dietario, que tiene una alta biodisponibilidad.

La recirculación de P por medio de la saliva agrega 60g de P por día al aparato digestivo, de los cuales se absorben 40g en el tracto digestivo, dando una absorción total de 75g de P por día. Es interesante notar que aproximadamente un tercio del P reciclado en la saliva no es absorbido y es excretado en las heces. (P fecal endógeno). La excreción fecal de P (48g por día) es enorme y alcanza un 77% de la ingesta total de P dietario. En contraste a esto, la excreción urinaria de P (1g por día) es casi insignificante, y representa solo al rededor del 1% de la ingesta de P dietario.

De los 75g de P absorbidos del aparato digestivo, la fracción más grande (60g = 80%) es reciclada hacia el aparato digestivo por medio de la saliva. Una cantidad de 22g de P es secretada en los 25 litros de leche producidos diariamente, recordando que el contenido de P y la proteína de la leche están positivamente correlacionados). Otra cantidad de 10g de P por día se deposita en el tejido óseo bajo control hormonal.

Balanceando las cantidades requeridas con la absorción de P diaria, esta vaca tiene una deficiencia metabólica diaria de unos 16g de P. Ella deberá movilizar esta cantidad de su tejido óseo. El saldo de lo depositado y lo movilizado es de 6g negativo, es decir un 10 % de las necesidades.

Esta metabolización de las reservas esqueléticas de P es inevitable al principio de la lactancia, especialmente en vacas de alta producción, y es, en general, compensada después del pico de la lactancia, cuando la producción de leche disminuye y la absorción de P excede la excreción de P. Esta movilización de las reservas óseas puede no ser detectada, y de prolongarse el balance negativo, producirse un determinado grado de desmineralización del esqueleto.

De lo discutido anteriormente, queda claro que la tasa de renovación del fósforo en el cuerpo es muy alta. Es, por consiguiente, extremadamente importante que las dietas para vacas lecheras sean formuladas para asegurar un aporte adecuado de fósforo disponible en todo momento.

## CONSECUENCIAS DEL DÉFICIT DE P EN LA DIETA

La fiebre de leche en las vacas puede estar también asociada a una deficiencia de fósforo dietario además de estar relacionada a casos de hipocalcemia.

El P aparentemente afectaría la capacidad de movilizar el Ca óseo y la eficiencia de la absorción del Ca en el intestino, aunque esto último estaría bastante discutido.

Por ello durante el último período de seca no es bueno sobrealimentar en Ca y mantener en la dieta la relación Ca: P entre 1,5 a 1, siendo los valores mínimos recomendados por el NRC (1989) en porcentaje del consumo total de materia seca de 0,39% Ca y 0,24% P.

El P óseo se moviliza hasta cierto punto a los efectos de mantener normal la concentración en sangre, pero con una baja tasa, debido a que no hay un mecanismo de movilización directa, como el que tiene el Calcio (Ca).

Como ambos elementos están combinados en el hueso, la movilización del Ca, como resultado de la acción de la glándula paratiroide, está acompañada por una movilización incidental de P.

La relación Ca: P durante la lactancia puede ser más amplia que la mencionada más arriba, siempre y cuando se satisfagan los requerimientos de P para la producción. No obstante en un ensayo llevado a cabo en la Universidad de Florida, se encontró una respuesta de 5% en producción de leche corregida al 3,5% de grasa, en vacas consumiendo una dieta cuya rel. Ca : P era de 1,1 : 1 vs. aquellas que tenían una relación de 2,9 : 1. Es de esperar que si la relación es aún más amplia la incidencia en la producción sea todavía mayor.

NRC, 1989, si bien no recomienda directamente una relación óptima de Ca : P, que es más importante un adecuado aporte de ambos minerales en la ración, en lugar de su relación pero, se sugiere conforme a los resultados de la investigación que se formule con una relación no inferior a 1 : 1 y no superior a 2,5 : 1, a los efectos de evitar la incidencia de fiebre de leche y la reducción de la utilización del Ca y el P, además de evitar la caída en la producción de leche y la disminución en la concentración mineral del hueso.

Sumado a ello, está bastante documentado que la deficiencia de P está asociado a una pobre performance reproductiva, las vacas no ciclan normalmente o no se preñan si se sirven.

El contenido de P en el plasma y suero sanguíneos disminuye ante una deficiencia crónica o prolongada, a pesar de que se mantenga la concentración en la leche. La concentración en el suero es un buen indicador del status de P en la vaca, cuyo rango varía de 3.6 a 8 mg/dl. La concentración máxima se encuentra en animales jóvenes (6 a 8 mg/dl), disminuyendo con la edad. Valores menores a 3 indicarían deficiencia de este mineral.

Los requerimientos son máximos durante la lactación, etapa de crecimiento, y para la reproducción. Como se comentó en la primera parte el P en la leche está asociado a la fracción proteica (caseína) de la leche. A mayor producción láctea, mayor secreción de P en leche y por lo tanto mayores serán los requerimientos.

Por ello, debido a los elevados niveles en la leche, es necesario un continuo aporte de P en la ración para permitir altos niveles de producción láctea.

Por otra parte al estar el P asociado al control del apetito y a la eficiencia de la utilización del alimento, también de esta forma se afectaría directamente la producción láctea ante un déficit de P.

Debido a este constante drenaje que sufren de P que deben soportar los animales a causa de las exigencias de P para la preñez y la lactancia, la deficiencia de P es considerada de carácter acumulativo.

Animales con deficiencia crónica de fósforo, sufren a veces de endurecimiento de las articulaciones y en los casos severos, se caracterizan por la fragilidad de sus huesos, produciéndose raquitismo en los animales jóvenes y osteomalacia en los adultos.

La falta de desarrollo corporal es habitualmente síntoma de deficiencias crónicas en animales en desarrollo, afectándose el metabolismo óseo y el muscular. Por ello también se debe prestar particular atención a la suplementación de la recría.

Está comprobado que en situaciones de deficiencias muy severas de P los animales presentan problemas de depravación del apetito (pica). Los animales consumirán huesos, madera, tierra a los efectos de obtener fósforo. Como resultado de este comportamiento, si se trata de pica de huesos de animales en descomposición, pueden

producirse casos de botulismo, asociados a bacterias presentes en dichas situaciones (*Clostridium botulinum*), y como consecuencia de ello los animales enferman y los puede llevar a la muerte. No obstante, otras carencias minerales pueden traer aparejada la pica, como la de sodio y cobre.

En la Tabla 1 se observan los requerimientos de P para ganado lechero.

Tabla 1: Requerimiento diarios de Ca y P para bovinos de leche según NRC, 1989.

Peso Vivo	Ganancia	Prod. Leche *	REQUERIMIENTOS (g/día)	
kg	gramos / día	Litros / día	Ca	P
40	0.3	--	6.8	4.1
70	0.7	--	15.4	7.7
140	0.7	--	19.4	11.4
320	0.7	--	24.9	18.6
410	0.7	--	28.6	20.9
640 (seca)	--	--	25.9	18.2
640 (seca**)	--	--	41.8	25.4
640	--	16	73.5	46.7
640	--	25	102.5	65.0
640	--	33	121.1	75.3
* leche al 3.5% de grasa butirosa. Se calcula 0.4 - 0.43% del consumo de MS.				
** Último mes de seca antes del parto.				

Las vacas en el último período de seca deben ser manejadas con más cuidado ya que están en el final de la gestación, cuando el feto está creciendo a una tasa acelerada. Según la Tabla 1 las vacas en el fin del período seco necesitan más P que al principio.

## FUENTES DE P Y SU DISPONIBILIDAD

Para poder evaluar la deficiencia de P de un establecimiento y las alternativas de manejo profiláctico ante un diagnóstico de déficit de este elemento, se describen a continuación las fuentes de P para los animales.

Las fuentes de P se pueden clasificar en orgánicas e inorgánicas. Dentro de las orgánicas pueden ser animales o vegetales. En la Tabla 2 se observan la concentración de Ca y P encontrada en los alimentos para rumiantes, y su biodisponibilidad relativa.

### 1. ORGÁNICAS :

**FUENTES ANIMALES:** Dentro de las fuentes animales, podemos diferenciar entre rumiantes y no rumiantes.

Dentro de las primeras, y según la última resolución del SENASA N° 611, la cual prohíbe todo tipo de proteínas, y a la vez fuentes de P, de origen rumiante (para la alimentación de rumiantes), se descartan las harinas de sangre, carne, hueso y sus variantes.

La única que todavía está permitida es la Ceniza de Hueso, siempre y cuando cumpla con el tratamiento térmico que asegure la eliminación de toda la proteína, según lo mencionado en dicha resolución, y tenga la correspondiente certificación. En rigor esta sería una fuente inorgánica de P debido a que no debe tener restos orgánicos, aunque se la clasifica dentro de este grupo por su origen.

Es frecuente encontrarse con variaciones en la concentración de Ca y P, debido a que la misma dependerá de la materia prima utilizada a tales efectos. Por ello es recomendable también un frecuente análisis de esta fuente de P.

De las no rumiantes encontramos mayormente la harina de pescado. Como el aporte que realiza es muy bajo, y debido a su alto costo, la hacen inaccesible como fuente de P.

**FUENTES VEGETALES:** Dentro de las fuentes vegetales, los forrajes de alta calidad tienden a ser en general buenas fuentes de Ca y relativamente bajos en P en especial las leguminosas, no así algunos granos y subproductos.

En general se utilizan los valores de tablas para formular las dietas de los animales. En los forrajes, en el caso particular de los minerales, es conveniente utilizar datos de análisis de los alimentos, debido a que son muchos los factores que pueden afectar la concentración de Ca y P.

La concentración en el suelo de dichos nutrientes es un factor muy importante que puede hacer variar de una zona a otra el contenido de los vegetales. Otro factor que afecta el tenor de los minerales en el forraje es la madurez del mismo. En general el contenido de Ca y P de los forrajes disminuye con la madurez y por las inclemencias del clima.

De la Tabla 2 surge que si se utiliza alfalfa como único alimento, como es habitual en algunas cuencas lecheras durante la primavera-verano, especial atención se debería prestar para suplementar a los animales con una mezcla mineral que provea un adecuado balance de Ca y P.

Los suplementos proteicos en general son buenas fuentes de P, como así también algunos granos y subproductos: afrechillo de trigo, harina de soja y semilla de algodón.

## **2. INORGÁNICAS :**

Por último encontramos las fuentes de P inorgánicas propiamente dichas o fosfatos. Por lo general se utilizan ortofosfatos de calcio. De acuerdo a la cantidad de átomos de Ca en la molécula, se los clasifica en Mono, Di o Tricálcico.

Los fosfatos Mono-Dicálcicos son combinaciones de los dos primeros, aprovechando las ventajas de ambos.

Un punto muy importante a considerar en los fosfatos es el contenido de Flúor (F), que es tóxico para el ganado en exceso, ya que un fosfato grado alimenticio (Feed Grade) debe poseer una relación P :F inferior a 100 : 1.

Por ello los fosfatos grado fertilizantes (por ej. Fosfato Diamónico) no deben ser utilizados en la alimentación animal. Otro punto que debe ser cuidado es el de metales pesados como Cadmio y Arsénico, cuyos valores deberán ser inferiores a 10 ppm, además de Plomo (<30 ppm) y Mercurio (<0.1 ppm)

La utilización de fosfatos alimenticios en las raciones permite gran flexibilidad para balancear la rel. Ca : P, una disponibilidad superior de P, utilizar productos libres de posible contaminación microbiana y de malos olores y además contar con un aporte de P predecible y constante.

Ante deficiencias agudas de P es posible utilizar productos inyectables en forma de sales inorgánicas cuyas forma química y concentración de P aseguren la eficacia del producto (por ejemplo: hipofosfitos de Mg o Na), aunque este tipo de productos no siempre está disponible en el mercado y por lo tanto la suplementación oral es la mejor alternativa en profilaxis de deficiencia de fósforo (Auza, 1987).

## **3. BIODISPONIBILIDAD DE LAS DISTINTAS FUENTES:**

La mayor parte del P de origen vegetal está ligado a un complejo químico llamado "fitato". Dicha fuente de P es escasamente aprovechado por los no rumiantes (aves, cerdos, conejos, etc.) peor es bastante disponible para los rumiantes.

Las bacterias ruminales producen un enzima llamada fitasa que degrada este compuesto complejo. Como resultado el P sería liberado y disponible para ser absorbido y utilizado. Así cerca de un 99% del fitato se degrada al ser incubado durante 24 horas en el rumen (Morse, 1989).

No obstante ello, muchos otros factores afectan la disponibilidad de dicha fuente de P para el animal. Como por ejemplo la ligazón a las fibras de la pared celular y los oxalatos.

El rápido tránsito intestinal de los forrajes, con bajo contenido de materia seca, ya sea hierba o ensilado, en particular de leguminosas y de estadíos vegetativos de las plantas, resulta desfavorable para la eficacia de absorción. Es por ello que la disponibilidad del P a partir de forrajes verdes o conservados (henos o silajes) es en general inferior a la obtenida de fuentes inorgánicas de calidad.

No obstante no todas las fuentes inorgánicas son iguales en lo que respecta a la disponibilidad del P para el animal y aquí se incluye la ceniza de huesos.

Según Gueguen (1978) los fosfatos solubles en agua se absorben en alta proporción, alrededor del 80%. Entre los solubles en agua se encuentran los fosfatos Monocálcico y Mono-Dicálcico.

Las fuentes insolubles, como el fosfato Defluorinado y la ceniza de hueso, tienen una disponibilidad mucho menor, del orden de 50-60%. El fosfato Dicálcico estaría en una situación intermedia.

Para evaluar la calidad de los fosfatos alimenticios el Consejo de la Industria Química Europea (CEFIC), Sector Fosfatos Inorgánicos para alimentación, utiliza la las pruebas de solubilidad en Ácido Cítrico al 2% y en Citrato de Amonio.

Estas pruebas proveen una indicación del nivel de disponibilidad de P y de la naturaleza de la fuente (Monocálcico y Dicálcico), respectivamente.

La solubilidad de un fosfato en ácido cítrico al 2%, sumada a la solubilidad en agua tiene una alta correlación con el valor de Biodisponibilidad Relativa (BDR).

En la Tabla 3 figuran los valores promedio de solubilidad en ac. Cítrico al 2% y en citrato de amonio de las típicas fuentes de P comerciales.

Tabla 2: Concentración de Ca y P de distintas fuentes y su disponibilidad relativa.

BDR (%)	FUENTE DE P	Ca %	P %	Ca : P
ALTA (120)	F. Monocálcico/ MonoDicálcico	15-18	21-22	0.7 - 0.8
MEDIA ALTA (100)	F. Dicálcico	22	18	1.3
MEDIA BAJA (<90)	F. Defluorinado	32	18	1.7
	Ceniza de huesos	32	16	2.0
	Harina de Pescado	6	3.5	2.0
<b>FORRAJES</b>				
	Alfalfa, Heno	1.25	0.23	5.8
	Alfalfa, Past.	1.9	0.27	6 - 7
	Algodón, Semilla	0.21	0.64	0.33
	Gramíneas, Heno	0.38	0.12	3.2
	Maíz, Grano	0.03	0.24	0.12
	Maíz, Silaje	0.20	0.19	1.0
	Soja, Harina	0.3	0.68	0.44
	Sorgo, Grano	0.04	0.34	0.12
	Trigo, Afrechillo	0.13	0.9	0.13
BDR: Biodisponibilidad Relativa				

Tabla 3: Características típicas de las fuentes de fósforos comerciales, según CEFIC.

	Ácido Cítrico	Citrato de Amonio
Fosfato Monocálcico	>	>
Fosfato Monodicálcico	>	>
Fosfato Dicálcico	>	>
Fosfato Defluorinado	>	<
Ceniza de Huesos	<	<
Fosfato Tricálcico	<	<
Solubilidad + > 90%		
Solubilidad - < 90%		

Estas consideraciones deberían ser tenidas en cuenta a la hora de optar entre las distintas fuentes de fósforo, ya que se debe evaluar el costo de la unidad de P que estará disponible para el animal, y no solamente el valor de P total.

#### BIBLIOGRAFÍA

- Auza, N.J. 1987. Enfermedades de la producción : Trastornos en homeóstasis del fósforo en bovinos. Rev. Arg. Prod. Anim. 7: 107-116.
- Basson, W.D. 1993. Kynoch Feeds (Pty) Ltd: Feed phosphates Report.
- Bondi, A. 1989. Nutrición Animal Aplicada. Ed. Acribia
- CEFIC, 1990. Fosfatos inorgánicos para la Alimentación animal. El Balance Correcto. Bruselas.
- Grant, R. 1992. Mineral and Vitamin Nutrition of dairy cattle. University of Nebraska. Coop. Extension Service Publ.
- Gueguen, L., Lamand, M & Meschy, F., 1988. Nutrition Minerale. In Alimentation des bovins, ovins et caprins. De. R Jarrige. INRA Editions, Versailles.
- Gueguen, L., 1978. Mineraux: elements minéraux majeurs. In Alimentation des Ruminants. P129-142. INRA Pub. Versailles.
- Harris, B ; Morse, D. ; Head, H. ; Van Horn, H. 1993. Phosphorus Nutrition and Excretion by dairy Animals. Feeding and Nutrition Colection. Extension Publication Service. Univ. Florida.
- Morse, D. 1989. Studies of modification of Phosphorus concentration in diets, hydrolisis of phytate bounds phosphorus, and excretion of phosphorus by dairy cow. PhD Disertation.
- NRC, 1989. Nutrients requirements of dairy cattle. Washington D.C., National Academy of Sciences.
- Oterby, D ; Linn, J. 1992. Calcium and Phosphorus for dairy cattle. Feeding and Nutrition Colection. Extension Publication Service. Univ. Florida.
- Richardson, C.W, 1996. Minerals and Vitamins for Dairy Cattle. Coop. Extension Service Publ. Oklahoma State Univ.
- Underwood, E. J. 1981. Los minerales en la nutrición de ganado. Ed. Acribia.

Volver a: [Suplementación mineral](#)