

EL FOSFORO EN LA NUTRICION DE LOS RUMIANTES

Sin lugar a dudas el fósforo representa un rubro importante en la alimentación del ganado, por esta razón se debe tener especial cuidado al suministrar una fuente suplementaria, ya que ésta no sólo debe aportar una cantidad determinada del elemento, sino que además, deberá contar con ciertas características fisicoquímicas que garanticen un buen aprovechamiento del mineral por parte del animal.

Afranio Cuervo Henao

Químico farmacéutico U. de Antioquia

Supervisor Control Calidad - Planta San Pedro. - COLANTA



IMPORTANCIA FISIOLÓGICA

El fósforo es quizá uno de los macroelementos implicados en la alimentación de los rumiantes más estudiado, debido a su importancia fisiológica ya que éste se encuentra en todas las células vivientes. El fósforo constituye el 1% del peso total del animal, el 80% se encuentra presente en los huesos, el 20% restante está distribuido por todo el cuerpo desempeñando diferentes funciones en las células, participa en casi todas las reacciones enzimáticas del metabolismo; los carbohidratos como la glucosa son absorbidos a través del intestino en forma de glucosa - 6 - fosfato, los fosfolípidos son la forma más importante de transporte de los ácidos grasos en el cuerpo.

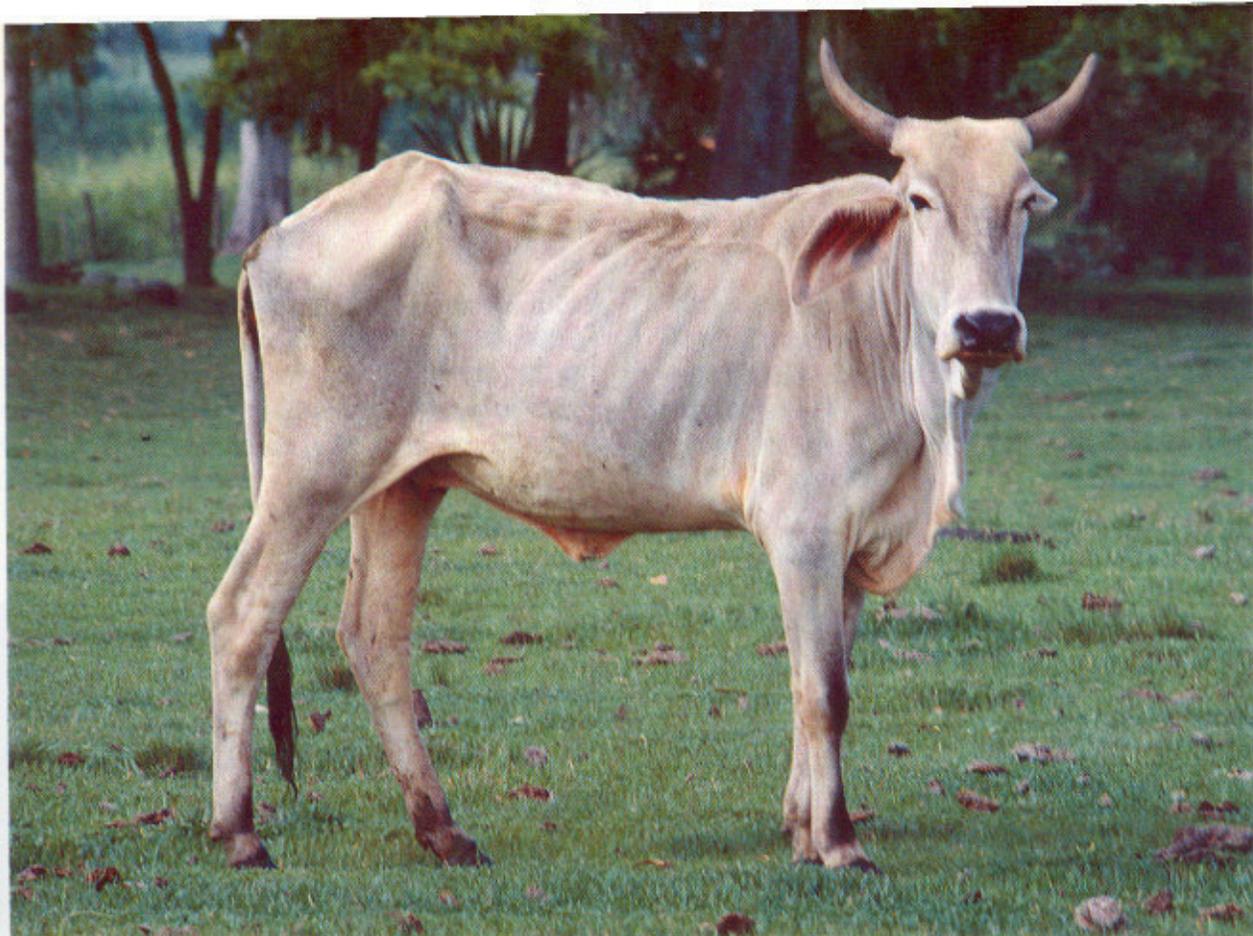
El traspaso de energía se hace por medio de enlaces de fosfatos de alta energía en compuestos tales como el trifosfato de adenosina (ATP), fosfato de creatinina, guanósín trifosfato (GTP), uridín trifosfato (UTP), citidín trifosfato entre otras. El fosfato también hace parte de los ácidos nucleicos (ADN, ARN) responsables de la transmisión genética de las especies. Los fosfatos mantienen el equilibrio ácido-base del organismo formando complejos solubles con los cationes. Los minerales se depositan en los huesos y dientes en forma de fosfatos tricálcicos. En reacciones biológicas de óxido reducción donde se combina el oxígeno, o bien se mueven hidrógenos, o en forma específica la pérdida de electrones, intervienen compuestos que hacen las veces de aceptores o transportadores de electrones como son: el NAD, el NADP y FAD; de estos compuestos también hace parte el fósforo (ortofosfatos).

Por todo lo mencionado es obvia la importancia del fósforo para la vida.

INTERACCION CALCIO - FOSFORO - VITAMINA D:

El fósforo, el calcio y la vitamina D, están íntimamente ligados ya que cantidades excesivas de uno de estos dos minerales bloquea la absorción del otro; se ha propuesto que la más adecuada proporción entre calcio y fósforo en la dieta es de 2:1, lo cual no quiere decir que raciones que se salgan ligeramente de estos rangos no sean apropiadas.

El calcio estimula la acción de un metabolito activo de la vitamina D en el riñón (25 - hidroxicolecalciferol - 1 - hidroxilasa) que aumenta la absorción de fósforo a nivel del intestino delgado, cuando el calcio se encuentra deficiente y hay exceso de fósforo se induce en la tiroides la secreción de la hormona paratiroidea que a su vez, aumenta la movilización de fósforo contenido en los huesos, para nutrir los tejidos blandos y los microorganismos de la panza (hiperparatiroidismo nutricional secundario - HNS). Otros factores también condicionan la absorción del fósforo por parte del animal como el pH intestinal, la grasa, la edad y los niveles en la dieta de hierro, aluminio, manganeso, potasio, magnesio que forman fosfatos insolubles. Por otro lado se requiere para una adecuada actuación del fósforo una alimentación equilibrada en energía y en nitrógeno. Es importante resaltar además que el flúor puede ocasionar graves problemas en los rumiantes como son por ejemplo la fluorosis dental y lesiones en los huesos (porosidad, espesamiento) por tal motivo se debe vigilar que en las raciones de los animales la proporción entre el fósforo y el flúor sea máximo de 100:1, ésto debido a que el flúor es un veneno acumulativo y los rumiantes son especialmente sensibles a él.



CARACTERÍSTICAS DE UN BUEN SUPLEMENTO

Sin lugar a dudas el fósforo representa un rubro importante en la alimentación del ganado, por esta razón se debe tener especial cuidado al suministrar una fuente suplementaria, ya que ésta no sólo debe aportar una cantidad determinada del elemento, sino que además, deberá contar con ciertas características fisicoquímicas que garanticen un buen aprovechamiento del mineral por parte del animal.

Para la elección de un buen suplemento mineral de fósforo se deben considerar diferentes factores entre los cuales se pueden mencionar:

- Su costo por unidad de fósforo.
- Su combinación química con otros elementos que lo hacen insoluble o poco disponible.
- Debe estar libre de impurezas no deseables como por ejemplo el flúor, el vanadio, etc.

- Debe tener un tamaño de partícula homogénea que permita mezclarlo fácilmente con otras fuentes de minerales o con el alimento.

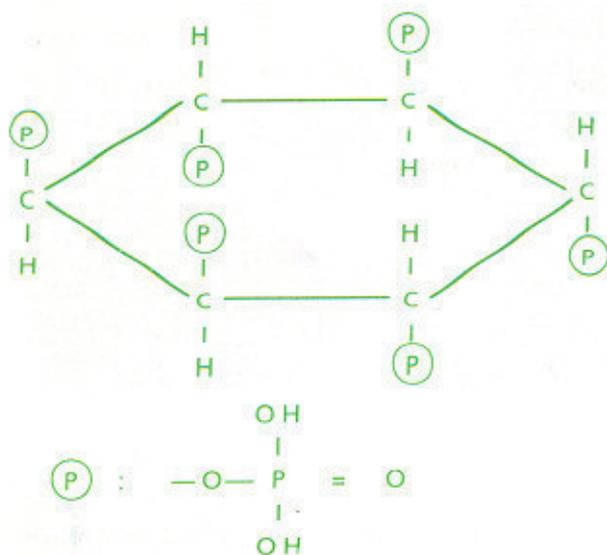
EL FOSFORO EN LOS ALIMENTOS

El fósforo contenido en los productos vegetales se encuentra principalmente en forma de fitina o ácido fitico, un compuesto que se deriva del inositol, la fitina es un complejo del ácido hexafosfórico, ácido éster del inositol, de sales de calcio, magnesio, etc. (Ver Figura No. 1 Pág. sgte.)

Según estudios realizados en monogástricos, el fósforo presente en productos vegetales en forma de fitatos sólo es asimilable en un 20 - 45%. En ovejas también se han realizado estudios que demuestran que éstas pueden hidrolizar los fitatos por acción de las fitasas, presentes en el rumen, lo cual indica que los rumiantes pueden aprovechar mejor el fósforo presente

en los productos vegetales, sin embargo, en estudios con radioisótopos se ha logrado comprobar que el aprovechamiento del fósforo en estas fuentes es muy variable, pues se reportan datos que oscilan entre un 33 y un 90%.

FIGURA No. 1



SUPLEMENTACION DE FOSFORO

Debido a que los pastos no alcanzan a cubrir los requerimientos diarios de fósforo se ve la necesidad de suplementar con fuentes minerales que lo contengan. La suplementación debe estar basada en el conocimiento del animal, esto es, saber claramente la capacidad de ingestión de alimentos, su edad, su peso corporal, los desgastes causados por la gestación y la lactancia, y su grado de producción de leche, ganancias de peso diario, condiciones climáticas, etc. El NRC (1989) define claramente los requerimientos de fósforo para las diferentes etapas del crecimiento del animal, así como para vacas en producción y vacas secas. Si tenemos en cuenta que el peso promedio de una vaca está entre 450 - 600 kilogramos y que éstas pueden consumir diariamente entre 55 - 65 kilogramos de pasto fresco, el cual representa de 10 a 12

kilogramos de materia seca, los porcentajes requeridos de fósforo fijados por el NRC basados en el consumo de materia seca serían de 0,24 % para vacas secas preñadas y 0,33-, 0,37% para vacas con una producción de 13 a 20 litros por día.

El I.N.R.A Instituto Francés de Investigaciones (1978) propone un plan simplificado de suplementación de fósforo así: 35 gramos/día de fósforo para vacas secas preñadas y para vacas en producción la siguiente escala:

- 10 kilogramos de leche = 35 gramos de fósforo por día
- 10 - 15 kilogramos de leche = 45 gramos de fósforo por día
- > 15 kilogramos de leche = 55 gramos de fósforo por día

FUENTES SUPLEMENTARIAS DE FOSFORO

Antes de considerar algunas de las principales fuentes suplementarias de fósforo es conveniente detenernos un poco en lo que respecta a la digestibilidad verdadera y disponibilidad biológica.

La digestibilidad verdadera en ocasiones se reporta o confunde a través de otros términos como digestibilidad aparente, absorción, retención neta, disponibilidad aparente, disponibilidad verdadera, disponibilidad biológica. La digestibilidad verdadera es una expresión que cuantifica el porcentaje de un mineral presente en una fuente determinada que ha sido ingerido, absorbido e incorporado a tejidos y/o excretado en la orina o como material endógeno en las heces.

La disponibilidad biológica es un término que se utiliza para medir la disponibilidad de un ele-

NUTRICION

mento o de un ion para realizar procesos fisiológicos determinados. La disponibilidad biológica está siempre referida a patrones previamente seleccionados y que tienen un alto valor nutritivo y a los cuales se les asigna un 100% de disponibilidad.

Para comprender mejor estos conceptos remítamonos al cuadro No. 1 donde se reporta la absorción de fósforo de diferentes fuentes en la cual se utilizó la técnica de dilución de radioisótopos para eliminar la interferencia del fosfato endógeno.

CUADRO No. 1 - ABSORCION DE FOSFORO SEGUN WETHERS (*)

SUPLEMENTO	INGESTION DE FOSFORO EN EL SUPLEMENTO	ABSORCION DE FOSFORO DEL SUPLEMENTO	DIGESTIBILIDAD VERDADERA	VALOR BIOLÓGICO
	g/día	g/día	%	%
FOSFATO DICALCICO	3.43	1.71	50	100
HARINA DE HUESOS	3.86	1.76	46	92
FOSFATO SUELTO	3.76	0.52	14	28
FITATO CALCICO	3.91	1.29	33	66

(*) Lofgreen (1960)



NUTRICION

Para la suplementación de fósforo se han utilizado diferentes fuentes orgánicas e inorgánicas, la principal fuente orgánica es la harina de hueso calcinado, entre las fuentes inorgánicas se encuentran las rocas fosfóricas bajas en flúor, fosfatos sueltos, fosfatos coloidales y fosfatos de curacao, todas estas fuentes inorgánicas tienen el peligro de contener altas concentraciones de flúor, que como se dijo antes pueden ser perjudiciales para la salud de los animales. Aparte de las fuentes antes mencionadas también se utilizan diferentes tipos de sales de ácidos fosfóricos, las principales son las sales de los ácidos metafosfórico (HPO_3), pirofosfórico ($\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$) y ortofosfórico (H_3PO_4).

Según estudios se ha comprobado que las sales de los ácidos meta y pirofosfórico presentan

una biodisponibilidad relativa limitada, mientras que las sales del ácido ortofosfórico presentan la mejor biodisponibilidad. (Ver cuadros 2 y 3). Del ácido ortofosfórico se obtienen principalmente tres tipos de sales, mono (MH_2PO_4), Di (M_2HPO_4) y las Tri (M_3PO_4) de acuerdo al grado de sustitución de los hidrógenos; para reemplazar éstos se usan principalmente sodio (Na^+), amonio (NH_4^+) y calcio (Ca^{++}), siendo este último el más utilizado.

El NRC clasifica de mayor a menor de acuerdo con su disponibilidad biológica a las siguientes fuentes: Fosfato sódico, ácido fosfórico, fosfato monocálcico, fosfato dicálcico, fosfato defluorinado, harina de hueso y fosfato suave.

CUADRO No. 2 - UTILIZACION DE FOSFATOS INORGANICOS EN OVEJAS(*)

SAL DE FOSFATO	DIGESTIBILIDAD RELATIVA	
	ABSORCION IN VIVO	DIGESTION DE CELULOSA INVITRO
	%	%
ORTO-CALCICO $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	100	100
META-CALCICO $\text{Ca}(\text{PO}_3)_2$	70	78
PIRO-CALCICO $\text{Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7$	54	0
ORTO-SODICO $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	-	107
META-SODICO NaPO_3	97	98
PIRO-SODICO $\text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$	82	100

(*) Chicco y Otros (1965)

NUTRICION

CUADRO No.3 - DISPONIBILIDAD BIOLÓGICA DE VARIAS FUENTES DE FOSFATO EN GANADO VACUNO DE CARNE

FUENTE	LONG, %	ARRINGTON ₂ %	AMMERMAN ₃ %	O'DONOVAN ₄ %
FOSFATO DICALCICO	100	100	100	100
FOSFATO DEFLUORINADO	-	71	95	93
FOSFATO SUELTO	17	68	88	-

1. RESPUESTA AL CRECIMIENTO. LONG Y OTROS (1956)
2. TECNICA DE RETENCION NETA DE ISOTOPOS. ARRINGTON Y OTROS (1963).
3. ABSORCION - DEPLECION - REPLECION VERDADERAS. AMMERMAN Y OTROS (1965).
4. PRUEBAS DE DIGESTIBILIDAD VERDADERA. O'DANOVAN Y OTROS (1965)

SUPLEMENTO DE FOSFOROS MAS UTILIZADOS EN COLOMBIA

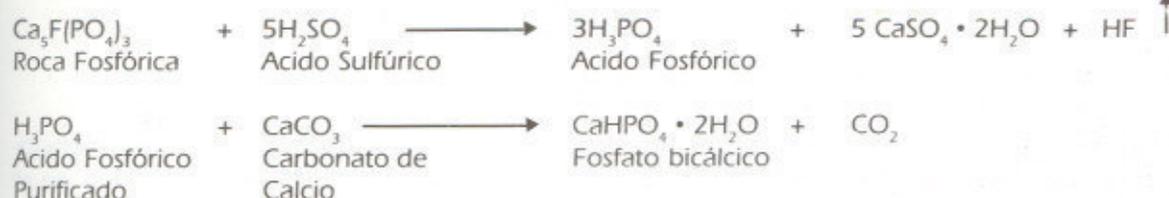
LAS HARINAS DE HUESO: Estas son obtenidas al someter los residuos óseos de mataderos a un proceso de calcinación y molienda. El fósforo en los huesos se encuentra en dos fases, una no cristalina que es el fosfato tricálcico hidratado ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) y una fase cristalina semejante a la hidroxiapatita ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$). Si bien la harina de hueso presenta una biodisponibilidad relativa aceptable, debe tenerse cuidado durante su obtención, ya que si no se controla adecuadamente el proceso de calcinación, puede darse origen a la aparición

de otras formas diferentes de fosfatos como son los pirofosfatos y metafosfatos de menor biodisponibilidad.

FOSFATOS MONOCALCICOS Y BICALCICOS: Estos dos productos son obtenidos simultáneamente por la reacción química entre roca fosfórica y ácido sulfúrico para producir ácido fosfórico, el cual reacciona luego con el carbonato de calcio para producir los fosfatos mono y bicálcico. (Ver Figura No. 2)

La eficacia de estos dos tipos de fosfatos ha sido plenamente comprobada en estudios con animales monogástricos y poligástricos.

FIGURA No. 2 - OBTENCION QUIMICA DE FOSFATOS BICALCICOS



FOSFATOS TRICALCICOS: Estos fosfatos también son obtenidos químicamente por la reacción entre roca fosfórica, ácido fosfórico y carbonato de sodio a temperaturas superiores a los 1.300 °C. A los fosfatos tricálcicos como tales se les ha atribuido una biodisponibilidad un poco

menor que la de los fosfatos mono y bicálcico. En el proceso de obtención antes mencionado, no solamente se producen fosfatos tricálcicos sino también una solución sólida llamada renania, compuesta por una sal doble de sodio y calcio del ácido fosfórico y fosfato tricálcico



($2\text{CaNaPO}_4 \cdot \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$), a la cual se le atribuye la propiedad de hacer más disponible el fósforo para los animales, llegando a ser equivalente al fósforo contenido en los fosfatos mono y bicálcicos.

La experiencia a nivel de campo con estos fosfatos las han tenido principalmente Japón y los Estados Unidos con resultados satisfactorios.

FIGURA No. 3 - OBTENCION QUIMICA DE FOSFATOS TRICALCICOS



Cabe anotar, que en la producción de todos los fosfatos a partir de roca fosfórica se debe tener especial cuidado en el control de la temperatura (necesaria para eliminar el flúor) ya que también se pueden formar, al igual que sucede con la harina de hueso, fosfatos piro y metafosfóricos de menor disponibilidad biológica.

La composición química de los productos mencionados anteriormente se pueden observar en el cuadro No. 4

Para concluir, podemos decir que desde el punto de vista químico, la calidad de un suplemento de fósforo radica en el correcto y estricto control del proceso de fabricación.

NUTRICION

CUADRO No. 4 - COMPOSICION QUIMICA DE ALGUNAS FUENTES SUPLEMENTARIAS DE FOSFORO

FUENTE	FOSFORO	CALCIO	SODIO	FLUOR
	%	%	%	%
FOSFATO MONO-BICALCICO	21	16	0.06	máx. 0.21
FOSFATO TRICALCICO	18	32	5	máx. 0.18
HARINA DE HUESOS	15	35		máx. 0.15

NUTRICION

BIBLIOGRAFIA

GARZON DIAZ, Hernando. El fósforo en la alimentación de los rumiantes. *En: Ganados y praderas*. Bogotá. Vol. 3, No. 22 (Dic. 1984); p. 5 - 9.

IMPORTANCIA DE Los minerales. *En: Ganados y praderas*. Bogotá. Vol. 7, No. 41 (Feb. -Abr. 1987); p. 34 -36.

INTERNATIONAL MINERALS and Chemical. El Calcio y el fósforo en la nutrición animal. Mundelein: IMC, 1973. 130 p.

MAYNARD, Leonard et al. Nutrición animal. México: McGraw-Hill, 1981. 640 p.

LOS MINERALES EN LA ALIMENTACION DEL GANADO. *En: Revista Nacional de Zootecnia*. Bogotá. Vol. 4, No. 21 (May. -Jun. 1987); p. 16 - 20.

NATIONAL RESEARCH Council. Subcommittee on Dairy Cattle Nutrition. Nutrient requeriments of dairy cattle. 6 ed. Washington: National Academy Press, 1989. 157 p.

NIETO ORDAZ, Ricardo. Disponibilidad biológica de los minerales: Clave en la alimentación de la vaca lechera. *En: Lechero Latinoamericano*. México. Vol. 2, No. 2 (Jul. - Sep. 1990); p. 46, 50, 54 - 55.

SIMPOSIO LATINOAMERICANO SOBRE INVESTIGACIONES EN NUTRICION MINERAL DE LOS RUMIANTES EN PASTOREO (1: 1976: Belo Horizonte). Memorias I Simposio Latinoamericano sobre investigaciones en nutrición mineral de los rumiantes en pastoreo. Florida: Universidad de la Florida, 1978. 225 p.