

UTILIZACIÓN DEL FÓSFORO FÍTICO EN LA NUTRICIÓN DE LOS RUMIANTES

Susmira Godoy y C. F. Chicco*. 2005. Revista Digital CENIAP HOY N° 9, Maracay, Aragua, Venezuela.

*INIA-CENIAP.

www.produccion-animal.com.ar

Volver a: [Suplementación mineral](#)

INTRODUCCIÓN

En las fuentes de origen vegetal el fósforo se encuentra principalmente en forma de fitatos y ácido fítico, que representa aproximadamente entre 50 y 80% del fósforo total del grano (Oberleas, 1971; Ogawa *et al.*, 1975; Kirby y Nelson, 1988). El fósforo restante se encuentra formando parte de compuestos tales como fosfolípidos, fosfoproteínas y ácidos nucleicos, y una pequeña proporción (8-12%) como fosfatos inorgánicos.

El fósforo presente en la molécula de fitato es de baja disponibilidad para los no rumiantes, relacionada principalmente con la forma química del elemento, la proporción de otros minerales y nutrientes en la dieta (proteína y energía) y la propia especie animal (De Groote, 1983). Esto último, debido a la escasa actividad fitásica en el tracto digestivo de los animales de estomago simple.

En rumiantes se ha demostrado que, cuando se utilizan dietas con aproximadamente 50% del fósforo bajo la forma de fitatos, más de 90% es hidrolizado por las fitasas producidas por los microorganismos del rumen (Ellis y Tillman, 1960; Morse *et al.*, 1992). Sin embargo, diferentes autores (Reddy *et al.*, 1982; Greiner *et al.*, 1993) sugieren la hipótesis de que, en rumiantes, a pesar de la actividad fitásica de los microorganismos del rumen, cuando se utilizan regímenes alimenticios que exigen la incorporación de altos niveles de concentrados (>70%), la actividad fitásica de los microorganismos es limitante, probablemente debido a una saturación de su capacidad de hidrolizar el sustrato (Greiner *et al.*, 1993; Godoy y Meschy, 2000).

Los tratamientos químicos o térmicos que se utilizan en el procesamiento de algunos ingredientes alimenticios pueden también afectar la degradación del fósforo fítico (Bitar y Reinhold, 1972; Konischi *et al.*, 1999; Park *et al.*, 1999).

En la presente revisión se discutirán los principales resultados de trabajos de investigación en el área de la utilización del fósforo fítico en la alimentación de los rumiantes.

ÁCIDO FÍTICO Y FITATOS

El ácido fítico y sus sales constituyen la principal forma de almacenamiento de fósforo en semillas de cereales y oleaginosas (Wyatt y Tejas, 1994; Zhou y Erdman, 1995). Sin embargo, en esta forma el fósforo permanece no disponible para los animales no rumiantes, debido a que éstos no están provistos de suficiente actividad de las fosfatasas endógenas (fitasas) que son capaces de liberar el grupo fosfato de la estructura del fitato (Walsh *et al.*, 1994). El ácido fítico es además un compuesto con actividad antinutricional, debido a su capacidad de formar complejos insolubles con minerales y proteínas (Zhou y Erdman, 1995; Sugiera *et al.*, 1999), convirtiéndolos en compuestos no asimilables por el organismo, bajo condiciones fisiológicas.

El ácido fítico se forma por la esterificación del alcohol inositol cíclico con un (máximo) de seis grupos de ácido fosfórico, myo-inositol cíclico hexafosfato. Según la nomenclatura química es llamado "Myo-inositol" 1, 2, 3, 4, 5, 6-Hexakis (Oberleas, 1971).

Los seis grupos reactivos en la molécula de fitato (IP₆) lo hacen un agente fuertemente quelante, que se une a cationes como el Ca, Mg, Fe y Zn. Bajo las condiciones de pH en el tracto gastrointestinal, permite que se formen complejos fitato-metal insolubles, lo que hace al metal no disponible para la absorción en el tracto intestinal (Maga, 1982). La afinidad por los cationes es variable (Fe<Ca<Mn<Co<Cu<Zn; Erdman, 1979). Los fitatos naturales son principalmente los de Mg y K, compuestos más solubles que los fitatos de calcio, hierro y zinc. Una molécula de ácido fítico puede unir de 3 a 6 moles de calcio, formando fitatos insolubles a pH intestinal, haciendo no disponibles al fósforo y al calcio.

Los fitatos reducen la digestibilidad de las proteínas, almidón y lípidos, debido a que forman complejos con las proteínas, haciéndolas menos solubles, es decir, más resistentes a la proteólisis (Dvorakova, 1998). Los polifenoles y el ácido fítico pueden afectar la digestibilidad del almidón a través de la interacción con las enzimas amilasas (Thompson y Yoon, 1984). La acción de ciertas enzimas tales como amilasa, tripsina, fosfatasa ácida y tirosinasa son inhibidas por el ácido fítico y también por inositol pentafofosfato (Harland y Morris, 1995).

ESTRUCTURA QUÍMICA Y PROPIEDADES

Se han propuesto varios modelos para la estructura del ácido fítico. Según el modelo propuesto por Anderson (1914), el ácido fítico sería una molécula con seis grupos ortofosfato (IP6) de nombre químico myo-inositol 1, 2, 3, 4, 5, 6- hexaquis (dihidrógeno fosfato). Según esta estructura, el ácido fítico, a pH neutro y al pH que normalmente presentan los alimentos, es una molécula cargada negativamente y por lo tanto muy reactiva, por lo que presenta una elevada capacidad para formar complejos o unirse a moléculas cargadas positivamente como cationes o proteínas (Wang, 1998). La interacción del ácido fítico con las proteínas es pH-dependiente, mientras que con los cationes la interacción es debida exclusivamente a sus numerosos grupos de fosfato; éstos pueden unirse bien a un solo grupo fosfato, a dos grupos fosfato de una misma molécula o a grupos fosfato de distintas moléculas de ácido fítico (Thompson, 1986; Lott *et al.*, 1995).

En la semilla el ácido fítico se encuentra como una mezcla de sales con varios cationes como K, Mg, Ca, Mn, Zn y Fe (Frossard, 2000); el término fitina se ha empleado para designar una mezcla de sales de Ca y Mg del ácido fítico (Yoshida *et al.*, 1999).

La insolubilidad del ácido fítico es la principal causa de su comportamiento antinutricional y de sus propiedades fisicoquímicas (Cheryan, 1980; Wang *et al.*, 1992). Sin embargo, es importante considerar que la solubilidad de las sales de ácido fítico varía con el pH, ya que el grado de protonación de los grupos fosfatos que no se han unido a los metales está en función de dicho parámetro. Aparentemente, el ácido fítico en la semilla se encuentra bajo la forma de sales relativamente solubles de Na o K, mas que como fitina insoluble. Las sales de Ca y Mg son solubles a pH bajos e insolubles a pH elevados. Por lo tanto, a pH fisiológico serían insolubles, de ahí el descenso de la biodisponibilidad mineral. En general, las sales hidrogenadas y monovalentes del ácido fítico son solubles en agua, mientras que las sales metálicas divalentes y trivalentes son bastante insolubles.

El grado de interacción entre el ácido fítico y las proteínas es dependiente de la carga eléctrica neta de la proteína, de su conformación y de las interacciones con minerales a un pH dado. A bajo pH, por debajo del punto isoelectrico de las proteínas, éstas se encuentran cargadas positivamente y el ácido fítico negativamente. En estas condiciones, se produce una fuerte interacción electrostática entre los grupos amino terminal de las proteínas y los ésteres fosfatos aniónicos del ácido fítico, formándose en complejo binario. A pH intermedio, por encima del punto isoelectrico de las proteínas, dado que la carga de las proteínas, al igual que la del ácido fítico, es negativa, su interacción sería imposible; sin embargo, si puede realizarse a través de la formación de un complejo ternario con cationes divalentes como el Ca o el Mg. Esta unión se realiza a través de los grupos carboxilos ionizados y el grupo imidazol desprotonado de la histidina, siendo necesaria una concentración mínima de estos cationes para mantener estos complejos. A pH intermedio también pueden existir algunos complejos binarios, ya que a dicho pH los residuos lisil y arginil de las proteínas están aún cargados positivamente. A pH elevado la interacción entre las proteínas y el ácido fítico disminuye, los grupos lisil y arginil pierden su carga y por tanto su capacidad de formar complejos binarios. Los complejos ternarios se desestabilizan ya que la fuerza iónica aumenta a pH elevado; un incremento en la concentración del ión Na hace que la reacción de equilibrio del complejo ternario se desplace hacia la derecha liberándose fitato cálcico insoluble y proteína-Na soluble. Así, la formación de complejos entre ácido fítico y proteínas no solo afecta la solubilidad y propiedades funcionales de las mismas, sino que también tiene una gran influencia en la biodisponibilidad mineral. Además, el ácido fítico puede unirse también al almidón, bien directamente a través de puentes de hidrógeno o indirectamente mediante las proteínas a las que se asocia.

DISTRIBUCIÓN, CONTENIDO Y LOCALIZACIÓN

El ácido fítico se encuentra ampliamente distribuido en el reino vegetal. En la mayoría de las plantas, una gran proporción de fósforo (80%) está presente en forma de fitato, especialmente en aquellas semillas en las que se encuentra en proporciones elevadas. Así, en las semillas de cereales, oleaginosas y leguminosas, los niveles de ácido fítico son elevados y constituyen el mayor porcentaje (60-82%) del fósforo total, representando una reserva de fósforo y de glúcidos que son utilizados por la planta durante la germinación.

El contenido de fósforo total (Cuadro 1) en granos de cereales varía entre 0.27 y 0.37%, mientras que para los subproductos es mas elevado con valores entre 0.65 y 1.71%. En las tortas de oleaginosas, el fósforo total (%) varía entre 0.53 y 1.0% (Eeckhout y De Paepe, 1994).

El contenido fósforo fítico en los cereales presenta valores entre 0.13 y 0.25 y para los subproductos de cereales entre 0.42 y 1.10%. En las tortas de oleaginosas la concentración de fósforo fítico varía entre 0.18 y 0.44%. La proporción de fósforo fítico en relación al fósforo total (%) fue superior de 60 en la mayoría de los materiales y mas bajo en maíz (43%) y gluten de maíz (54%) y en las tortas de oleaginosas (34-53%).

Cuadro 1. Contenido de fósforo total, fósforo fítico en ingredientes alimenticios (Eeckhout, de Paepe, 1994)

Ingrediente	Fósforo Total %	Fósforo fítico	% de Fósforo fítico sobre Fósforo Total
Cereal			
Centeno	0.36±0.01	0.22±0.01	61±5.0
Triticale	0.37±0.02	0.25±0.02	67±3.7
Cebada	0.37±0.02	0.22±0.01	60±2.4
Sorgo	0.27±0.05	0.19±0.04	70±6.2
Maíz	0.30±0.05	0.13±0.02	43±5.3
Avena	0.36±0.03	0.21±0.04	59±11.0
Arroz	0.34±0.03	0.25±0.02	72±3.0
Subproducto cereal			
Afrecho trigo	1.16±0.14	0.97±0.20	84±7.3
Afrecho arroz	1.71±0.50	1.10±0.02	64±2.0
Gluten maíz	0.87±0.16	0.47±0.06	54±6.2
Germen maíz	0.65	0.42	65
Gluten trigo	0.78±0.06	0.56±0.10	71±11.0
Pulituta de arroz	1.71±0.07	1.10±0.02	64±2.0
Tortas oleaginosas			
Maní	0.68±0.03	0.32±0.02	47±2.0
Coco	0.53±0.05	0.18±0.03	34±4.0
Soya 44	0.66±0.03	0.35±0.02	53±2.5
Girasol	1.00±0.11	0.44±0.05	44±3.9

Cuadro 2. Localización del fósforo fítico en los granos (Reddy et al; 1982)

Cereal	Localización	P fítico %	Distribución en % del total del grano
Maíz	Híbrido	0,25	-
	Comercial		
	Endospermo	0,01	3
	Germen	1,80	88
	Cutícula	0,02	0,4
Trigo	Blando	0,32	-
	Endospermo	Trazas	2
	Germen	1,10	13
	Tegumentos	0	0
	Aleurona	1,16	87
Arroz	Moreno	0,25	-
	Endospermo	Trazas	1,2
	Germen	0,98	7,6
	Pericarpio	0,95	80

En los cereales, el ácido fítico se encuentra asociado a las estructuras parietales del grano (Cuadro 2). En el arroz y el trigo los principales sitios de acumulación son el germen y en las envolturas (pericarpio, testa y aleurona) de los granos, mientras que en el maíz se encuentran esencialmente en el germen.

En la mayoría de las semillas de leguminosas el fósforo fítico constituye aproximadamente el 80% del fósforo total, y se localiza fundamentalmente en el cotiledón y ejes embrionarios. Estructuralmente su localización no es bien conocida. Según algunos autores está integrado con el cuerpo de proteínas formando complejos con proteínas y minerales (Yoon *et al.*, 1996). Sin embargo, otros investigadores han indicado que en frijoles más del 70% del fitato se encuentra en formas solubles en agua, posiblemente combinadas con proteínas solubles, mas que como fitina insoluble.

BIODISPONIBILIDAD DE LOS FITATOS EN RUMIANTES

El término disponibilidad biológica se define como la proporción en que un nutriente ingerido es absorbido, de tal forma que puede ser utilizado en los procesos metabólicos o almacenado en los tejidos del animal. Definiciones similares han sido señaladas por Forbes y Erdman (1983). Otros investigadores (Fox *et al.*, 1981) indican que la utilización de un nutriente debe demostrarse a través de su participación en un proceso metabólico normal del animal, a fin de establecer la biodisponibilidad del elemento. El fosfato proveniente de cualquier fuente, inorgánica u orgánica, no siempre es completamente disponible o utilizado. Algo se pierde siempre en las funciones digestivas y metabólicas normales.

En general, para las diferentes especies, las fuentes de fósforo de origen animal, son de alta biodisponibilidad cuando se comparan con las de origen mineral, de mayor valor biológico, como los mono, di y trifosfatos inorgánicos (Housemann, 1984).

En las fuentes de origen vegetal, granos de cereales y leguminosas y torta de oleaginosas, el fósforo presente en forma de fitatos, es muy poco utilizado por los no rumiantes, mientras que, en los rumiantes, la microflora del rumen es capaz de hidrolizar estos fitatos liberando fósforo disponible para su absorción.

FACTORES QUE AFECTAN LA DISPONIBILIDAD DEL FÓSFORO FÍTICO EN RUMIANTES

La biodisponibilidad del fósforo fítico de los alimentos es variable, y depende de la proporción de granos en la dieta, concentración, localización y solubilidad de los fitatos, aporte asociado de fitasas vegetales y digestivas (intrínsecas y microbiana), presencia de elementos inorgánicos en la dieta, contenido de proteína, degradabilidad del almidón y técnicas de procesamiento (físicos y químicos) de los materiales (Pointillart, 1991).

En rumiantes, muy pocos trabajos han sido realizados sobre la utilización del fósforo fítico en el tracto gastrointestinal. Reid *et al.* (1947) señalan que los ovinos pueden utilizar fitatos naturales y que la mayoría de la hidrólisis ocurre en el rumen en menos de 8 horas. Raun *et al.* (1956), simulando la función ruminal artificialmente, demostraron que los microorganismos del rumen de novillos hidrolizan fitato de calcio, sugiriendo la presencia de fitasas. Otros autores (Tillman y Brethour, 1958; Lofgreen, 1960; Ellis y Tillman, 1960) confirmaron que los rumiantes (ovinos y bovinos) son capaces de utilizar fósforo fítico. El valor biológico para fitato dietario en ovinos y ganado de leche fue establecido en 66 y 50%, respectivamente (Lofgreen, 1960).

Asimismo, se ha demostrado que, cuando se utilizan dietas con aproximadamente 50% del fósforo bajo la forma de fitatos, más del 90% es hidrolizado por las fitasas producidas por los microorganismos del rumen (Ellis y Tillman, 1960; Morse *et al.*, 1992). Sin embargo, diferentes autores (Reddy *et al.*, 1982; Greiner *et al.*, 1993) sugieren la hipótesis de que, en rumiantes, a pesar de la actividad fitásica de los microorganismos del rumen, cuando se utilizan regímenes alimenticios que exigen la incorporación de altos niveles de alimentos concentrados (>70%), donde la mayor proporción del fósforo está presente como fitatos, la actividad fitásica de los microorganismos es limitante, probablemente debido a una saturación de su capacidad de hidrolizar el sustrato (Preston *et al.*, 1977; Greiner *et al.*, 1993; Meschy y Guéguen, 1998; Godoy y Meschy, 2000) por exceso de fósforo fítico, como sucede en el caso de las fitasas vegetales (Ricaud-Monouvrier, 1953). Por otro lado, las dietas altas en concentrado reducen el tiempo de retención de la digesta lo que puede también disminuir la hidrólisis de los fitatos en el rumen (Sauvant *et al.*, 1999).

La propia naturaleza de localización de los fitatos en la estructura del grano también afecta la disponibilidad de los fitatos. Así, en los subproductos del trigo el fósforo fítico está localizado en las aleuronas celulares y es liberado rápidamente por los microorganismos del rumen (Reid *et al.*, 1947; Raun *et al.*, 1956). Contrario a esto ocurre con el grano de maíz ya que fósforo fítico se encuentra en el germen (Pointillart, 1994). En los subproductos del maíz la fracción de fósforo fítico integrado a la parte estructural de la pared celular del grano no es fácilmente liberado y puede requerir degradabilidad previa de la materia seca.

Otros factores que afectan la absorción y metabolismo del fósforo son los niveles de calcio y vitamina D. Un exceso de Ca con relación al P de la dieta reduce la absorción del fósforo, al igual que la de otros minerales (Mg, Mn, Zn), y resulta en bajos índices de crecimientos y de mineralización ósea (NRC, 1994; 1998). Además, una relación Ca:P alta disminuye la actividad de las fitasas. El Ca extra puede unirse a los fitatos formando complejos

insolubles menos accesibles a las fitasas y el Ca extra puede reprimir directamente la actividad de las fitasas, compitiendo con ellas por los sitios catalíticos (Kornegay, 1999).

Sin embargo, otros minerales presentes en la dieta podrían también afectar la disponibilidad del fósforo, por formar precipitados insolubles cerca del sitio de absorción (Field *et al.*, 1983; Gifford y Clydesdale, 1990; Maenz *et al.*, 1999). Los grupos fosfatos reactivos en la molécula de fitatos lo hacen un agente fuertemente quelante que se une a cationes (Ca, Mg, Fe, Zn). Los fitatos naturales son principalmente de Mg y K, compuestos más solubles que los fitatos de Ca, Fe y Zn. Además, los fitatos forman complejos con las proteínas haciéndolas menos solubles, lo que reduce la digestibilidad también de los fitatos.

Los cereales tienen además contenidos elevados de almidón pobremente degradado en el rumen e hidrolizado a glucosa en el intestino (Sauvant y Van Milgen, 1995). La glucosa y el fósforo compiten por la absorción dependiente del gradiente de sodio, por lo que, la absorción de fósforo puede ser limitada por exceso de glucosa intestinal.

Las técnicas de procesamiento, tales como la aplicación de tratamientos físicos y/o químicos en los ingredientes alimenticios son también factores que pueden afectar la eficiencia de la actividad fitásica ruminal, provocando reducción en la degradación del fósforo (Konishi *et al.*, 1999; Park *et al.*, 2000). Así, los tratamientos con formaldehído disminuyen la degradabilidad de la proteína (Zelter *et al.*, 1970) y del almidón a nivel ruminal y, además reducen la actividad fitásica de los microorganismos del rumen (Park *et al.*, 1999). Los tratamientos térmicos también disminuyen la degradación de los fitatos a nivel ruminal (Konishi *et al.*, 1999).

DISPONIBILIDAD DEL FÓSFORO FÍTICO

La disponibilidad del fósforo, también llamado coeficiente de absorción verdadera (TAC), es utilizado para el cálculo de las necesidades diarias de fósforo por el método factorial. Los valores de TAC varían entre 50% (NRC, 1989) y 70% (AFRC, 1991). Sin embargo, en general en las recomendaciones el valor de TAC es constante, excepto en el AFRC (1991) que propone un valor de TAC (70%) más alto para las dietas altas en concentrados y más bajo para dietas altas en forraje (58%)

Para consumos de fósforo entre 2.5 y 5.0 g/kg de materia seca ingerida, el promedio de fósforo absorbido es de 73%. Los valores de TAC para el NRC (1989) e INRA (Jarrige, 1989) parecen ser también bajos. Sin embargo, Ternouth *et al.*, (1996) dan valores de 78%. La variabilidad restante (21%) es probablemente debida a los ingredientes, tipos de dietas (Gueguen y Durand, 1976; Scott y Buchan, 1985) y a diferencias en fósforo digestible (Field *et al.*, 1984).

Aún cuando es importante calcular los requerimientos de fósforo en los rumiantes, muy pocas experimentaciones sobre disponibilidad del fósforo se han realizado. En forrajes se han reportado valores de disponibilidad del fósforo con valores de 70.8% (Gueguen y Durand, 1976), 75.1% (Dayrell y Iván, 1989) y 80% en vacas lactantes (Martz *et al.*, 1990). Para el fósforo de los cereales el 70% es disponible para la absorción (Field *et al.*, 1984) y 90% para el afrecho de trigo (Koddebusch y Pfeffer, 1988). Por esta razón, la crítica principal a los sistemas actuales no es el nivel recomendado (50, 55, 60 o 70%). La crítica está dirigida a la asignación de un valor constante. Así, el valor de TAC de 60% podría ser adecuado para dietas con gran cantidad de forraje, mientras que 70% sería mejor para dietas basadas en silajes. Solo la AFRC (1991) propone diferentes valores de TAC para dietas ricas en forrajes o concentrado. Para mejorar la precisión del método factorial es necesario tener valores de TAC para los diferentes alimentos o por grupos de alimentos, como propuesto recientemente por la NRC (2001).

Por otro lado, el fósforo fítico tiene eficiencias de absorción altamente variable (35 a 81%; Mathur, 1951), debido a una digestibilidad muy baja cuando el fósforo es suministrado en exceso (25.4%; Ellis y Tillman, 1960).

Consecuentemente, hay dificultades para asignar coeficientes de absorción de fósforo para los alimentos debido a que los estudios se llevan a cabo en diferentes condiciones experimentales, como niveles de fósforo dietario, consumo de materia seca, contenido de fibra y estado fisiológico de los animales.

Los coeficientes de absorción verdadera generalmente se desconocen y muchos estudios incluyen medidas de absorción aparente, algunos con estimaciones del fósforo endógeno y solo en menor extensión estudios *in situ* con bolsas de nylon, *in vitro* o técnicas con marcadores (^{32}P). Se ha encontrado en la bibliografía revisada un solo autor que ha reportado medidas de disponibilidad del fósforo de fuentes proteicas usando ^{32}P (Field *et al.*, 1984).

Otras dificultades están relacionadas al hecho de que el cereal debe suplir más de 70% del fósforo dietario, debido al bajo contenido de fósforo. Un alto volumen de cereales en la dieta puede producir complicaciones durante las (ensayos) evaluaciones, como, por ejemplo, acidosis ruminal. A pesar de estos problemas, Field *et al.* (1984) midieron la disponibilidad del fósforo en ovinos en dietas que contenían 33% de varios cereales y obtuvieron valores de disponibilidad del fósforo de 78.5% para cebada, 78.0% para trigo, y 70.5% para gluten de maíz.

La disponibilidad del fósforo en ovinos varía entre 54.9% (Gueguen y Durand, 1976) a 94.5% (Lofgreen, 1960), dependiendo del alimento evaluado. El último valor, el cual fue obtenido con heno de alfalfa, parece ser

excesivo cuando se compara con el valor de 67.3% observado en heno de alfalfa en vacas lecheras (Martz *et al.*, 1990). Un valor cercano a este (75%) fue obtenido por otros autores (Gueguen y Durand, 1976; Dayrell e Iván, 1989; Martz *et al.*, 1990).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AFRC. 1991. Technical committee on responses to nutrients. Report 6. A reappraisal of the calcium and phosphorus requirements of sheep and cattle. *Nutr. Abstr. Rev.* 61:573-612.
- Bitar, K., Reinhold H. 1972. Phytase and alkaline phosphatase activities in intestinal mucosa of rat, chicken, calf and man. *Biochim. Biophys. Acta* 268: 442-452.
- Cheryan M. 1980. Phytic acid interactions in food systems. *C. R. C. Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 13:297-305.
- Dayrell M. S., Ivan M. 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.
- De Groote, G. 1983. Biological availability of phosphorus in feed phosphates for broilers. In: European Symposium on Poultry Nutr. (4th, 1983, Tours, France). Proceedings. P. 91-99.
- Dvorakova J. 1998. Phytase: Sources, preparation and exploitation. *Folia Microbiol.* 43:1186-1189.
- Eeckhout W., De Paepe M. 1994. Total phosphorus, phytate-phosphorus and phytase activity in plant feedstuffs. *Animal. Feed. Sci. Technol.* 47: 19-29.
- Ellis L. C., Tillman A. D. 1960. Utilization of phytin phosphorus in wheat bran by sheep. *J. Anim. Sci.* 50:606-607.
- Erdman J. W. Jr. 1979. Oilseed phytates: Nutritional implications. *J. AMER. Oil Chem. Soc.* 56:736-741.
- Field A. C.; Woolliams J. A.; Dingwall R. A., Munro C. S. 1984. Animal and dietary variation in the absorption and metabolism of phosphorus by sheep. *J. Agric. Sci.* 103:283-291. 1984.
- Forbes R. M., Erdman J. W. 1983. Bioavailability of trace mineral elements. *Am. Rev. Nutr.* 3:213.
- Fox M. R. S., Jacobs R. M., Jones A. O. L., Fry B. E., Rakowska M., Hamilton R. P., Harland B. F., Stone C. L., Tao S. H. 1981. Animal models for assessing bioavailability of essential and toxic elements. *Cereal Chem.* 58:6.
- Gifford S. R., Clydesdale F. M. 1990. Interactions among calcium zinc and phytate with three protein sources. *J. Food Sci.* 55:1720-1724.
- Godoy S., Meschy F. 2000. Utilisation of phytate phosphorus by rumen bacteria in a semi-continuous culture system (Rusitec) in lactating goats fed on different forage to concentrate ratios. *Reprod. Nutr. Dev.* 41:259-265.
- Greiner R., Konietzny U., Jany KL. D. Purification and characterization of two phytases from *Escherichia coli*, *Arch. Biochem. Biophys.* 303:107-113. 1993.
- Gueguen L., Durand M. 1976. Utilisation des principaux éléments minéraux du maïs ensilé par le mouton en croissance. *Ann. Zootech.* 25:543-549.
- Harland B., Morris E. 1995. Phytate: a good or bad food component?. *Nutr. Res.* 15:733-754.
- Housemann R. A. 1984. Phosphorus, some aspect of phosphorus supply to farm livestock. *The Feed Compound.* 4:15-32.
- Jarrige R. 1989. Institut National de la Recherche Agronomique. Ruminant nutrition recommended allowances and feed tables. John Libely and coltd, Londres.
- Kirby L., Nelson T. 1988. Total and phytate phosphorus content of some feed ingredients derived from grains. *Nutr. Reports Intl.* 37: 277-280.
- Koddebusch L., Pfeffer E. 1988. Untersuchungen zur Verwertbarkeit von phosphor verschiedener herkunft an laktierenden ziegen. *J. Anim. Physiol. A. Anim. Nutr.* 60:269-275.
- Konishi C., Matsui T., Park X., Yano H., Yano F. 1999. Heat treatment of soybean meal and rapeseed meal suppresses rumen degradation of phytate phosphorus in sheep. *Anim. Feed Sci. Technol.* 80, 115-122.
- Kornegay E. T. 1999. A review of phosphorus digestion and excretion as influenced by microbial phytase in poultry. *Basf Technical Symposium*, January 16, Atlanta, GA. BASF Corp., Mount Olive, NJ.
- Lofgreen G. P. 1960. The availability of the phosphorus in dicalcium phosphates, bonemeal, soft phosphates and calcium phytate for mature wethers. *J. Nutr.* 70:58-62.
- Lott J. N. A., Greenwood J. S., Batten G. D. 1995. Mechanisms and mineral nutrient storage during seed development. En: *Seed Development and Germination.* J. Kigel G. Galili (Eds) Marcel Dekker. New York. p. 215.
- Maenz D., Classen H. 1998. Phytase activity in the intestinal brush border membrane of the chicken. *Poultry Sci.* 77: 557-563.
- Maga J. A. 1982. Phytate: its chemistry, occurrence, food interactions, nutritional significance, and methods of analysis. *J. Agric. Food Chem.* 30:1-9.
- Martz F. A., Belo A. T., Weiss M. F., Belyea R. L. 1990. True absorption of calcium and phosphorus from alfalfa and corn silage when fed to lactating cows. *J. Dairy Sci.* 73:1288-1295.
- Meschy F., Gueguen L. 1998. Les recommandations d'apport alimentaire en éléments minéraux : analyse et perspectives. *Renc. Rech. Ruminants.* 5:237-240.
- Morse D., Head H. H., Wilcox C. J. 1992. Disappearance of phosphorus in phytate from concentrates in vitro and from rations fed to lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 75:1979-1986.
- National Research Council (NRC). 1989. Nutrient requirements of dairy cattle. Washington. National Academic Press.
- National Research Council (NRC). 1994. Nutrient requirements of poultry. 9th Ed. Washington, D.C., National Academy of Sciences. 157 p.
- National Research Council (NRC). 1998. Nutrient Requirements of swine, 9th ed. National Academy Press, Washington, DC.
- National Research Council (NRC). 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. Washington. National Academic Press.
- Oberleas D. 1971. The determination of phytate and inositol phosphate. *Methods of biochemical Analysis.* 20: 87-101.

- Ogawa M., Tanaka M., Kasai Z. 1975. Isolation of high phytin containing particles from rice grains using an aqueous polymer two phase system. *Agric. Chem.* 39:695.
- Park W. Y., Matsui T., Konishi C., Kim S. W., Yano F., Yano H. 1999. Formaldehyde treatment suppresses ruminal degradation of phytate in soybean meal and rapeseed meal. *B. J. Nutr.* 81:467-471.
- Preston R. L., Jacobson N. L., Wiggers K. D., Wiggers M. H., Jacobson G. N. 1977. Phosphorus in ruminants nutrition. National Feed Ingredients Association, Des Moines, IA. 45-60.
- Pointillart A. 1991. Enhancement of phosphorus utilization in growing pigs fed phytase-rich diets by feeding rye bran. *J. Anim. Sci.* 69:1109-1115.
- Pointillart A. 1994. Phytates, Phytase: leur importance dans l'alimentation des monogastriques. *Prod. Anim.* 7:29-39.
- Raun A., Cheng E., Burroughs W. 1956. Phytate phosphorus hydrolysis and availability to rumen microorganisms. *J. Agr. Food Chem.* 4:869-871.
- Reddy N. R., Sathe S. K., Salunkhe D. K. 1982. Phytases in legumes and cereals. En *Advances in Food Chemistry*. Edited by C.O. Chichester, E. M. Mrak G. F. Stewart. New York. Academic Press.:1-92.
- Reid R. L., Franklin M. C. 1947. The utilization of phytate phosphorus by sheep. *Aust. Vet. J.* 23:136-142.
- Ricaud-Manouvrier J. 1953. Action de l'acide phytique sur les phosphatases. *Bull. St. Chim. Biol.* 35:889-898.
- Sauvant D., Van Milgen J. 1995. Les consequences de la dynamique de la digestion des aliments sur le metabolisme ruminal et les performances animales. *INRA Prod. Anim.* 8:353-367.
- Sauvant D., Meschy F., Mertens D. 1999. Les composantes de l'acidose ruminale et les effets acidogenes des rations. *INRA. Prod. Anim.* 12:49-60.
- Scott D., Buchan W. 1985. The effects of feeding either hay or grass diets on salivary phosphorus secretion, net intestinal phosphorus absorption and urinary phosphorus in the sheep. *Q. J. Exp. Physiol.* 70:365-375.
- Sugiura S. H., Raboy V., Young K. A., Dong F. M., Hardy R. W. 1999. Availability of phosphorus and trace-elements in low-phytate varieties of barley and corn for rainbow-trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture.* 170:285-296.
- Ternouth J. H., Bortolussi G., Coates D. B., Hendricksen R. E., Mc Lean R. W. 1996. The phosphorus requirements of growing cattle consuming forage diets. *J. Agric. Sci.* 126:503-510.
- Thompson, L. U. 1986. Phytic acid: a factor influencing starch digestibility and blood glucose response. En: *Phytic Acid: Chemistry and Applications* (E. Graf, Ed.). Pilatus Press, Minneapolis, pp. 173-194.
- Thompson L. U., Yoon J. H. 1984. Starch digestibility as affected by polyphenols and phytic acid. *J. Food Sci.* 49:1228-1229.
- Tillman A. D., Brethour J. R. 1958. Utilization of phytin phosphorus by sheep. *J. Anim. Sci.* 17:104-112.
- Walsh G. A., Power R. F., Headon D. R. 1994. Enzymes in the animal feed industry. *Trends Food Sci. Technol.* 5:81-87.
- Wang J. 1998. Improvement of citric-acid production by *Aspergillus niger* with addition of phytate to beef molasses. *Bioresource Technol.* 65:243-245.
- Wang C. F., Tsay S. M., Lee C. Y., Liu S. M., Aras N. K. 1992. Phytate content in Taiwanese diet determined by 31P. Fourier Transform Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy. *J. Agric. Food Chem.* 40:1030-1033.
- Wyatt C. J., Triana-Tejas. 1994. Soluble and insoluble Fe, Zn, Ca y phytates in foods commonly consumed in Northern Mexico. *J. Agric. Food Chem.* 42:2204-2209.
- Yoshida T., Wada T., Koyama H., Mizobuchi Fukuoka R., Naito S. 1999. Temporal and spatial patterns of accumulation of the transcript of myo-inositol-1-phosphate synthase and phytin-containing particles during seed development in rice. *Plant Physiol.* 119:65-72.
- Yoon S., Choi Y., Min H., Cho K., Kim J., Lee S., Jung. Y. 1996. Isolation and identification of phytase-producing bacterium. *Enterobacter* sp.4. and enzymatic properties of phytase enzyme. *Enzyme and Microbial Technology.* 18: 449-454.
- Zelter S. Z., Leroy F., Tissier J. P. 1970. Protection des proteines alimentaires contre la desamination bacterienne dans le rumen. *Ann. Biol. Anim. Biochim. Biophys.* 10:111-122.
- Zhou J. R., Erdman J. W. Jr. 1995. Phytic acid in health and disease *C. R. C. Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 35:495-508.

Volver a: [Suplementación mineral](#)