

FUENTES DE FÓSFORO ALTERNATIVAS EN LA NUTRICION DE AVES

Susmira Godoy y C. F. Chicco

Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA-CENIAP). Facultad de Ciencias Veterinarias (FCV-UCV).

INTRODUCCION

El fósforo (P) es un nutriente indispensable para los organismos vivos y consecuentemente esencial, para la producción de alimentos. Gran parte del fósforo presente en el suelo no es disponible para las plantas, por lo que se requiere adicionarlo, junto con otros nutrientes, para la producción de cultivos. Este recurso no renovable, que se obtiene en su mayoría de las minas de fosfatos de roca, está siendo extraído a una tasa creciente para cubrir principalmente la demanda de fertilizantes para la agricultura. Algunos autores (Gumbo *et al.*, 2002) han advertido sobre el declive de la producción mundial de fosfatos, habiendo alcanzado su techo en el año 1989, y desde entonces, han entrado en constante descenso. Así, el fosfato es un recurso natural no renovable, pero potencialmente renovable o recuperable. El fósforo se puede reciclar, devolviéndolo como estiércol animal para fertilizar los suelos para cultivos. Sin embargo, su tasa de extracción es muy superior a la capacidad tecnológica actual de recuperación.

La producción de fertilizantes químicos tradicionales utiliza el 80% de la producción mundial de fosfatos. El 20% restante se destina a la producción de detergentes, la alimentación animal y otras aplicaciones especiales. Aproximadamente un 10% es para la producción de fosfatos grado alimenticio para animales. Tanto la industria de fertilizantes como la de alimentos usan la roca fosfórica o derivados (ácido fosfórico) como materia prima para producir fosfatos con una mayor disponibilidad, tanto para las plantas como para los animales.

La crisis mundial de la producción de fosfatos hace que cada día disminuya la disponibilidad de estas fuentes en los mercados internacionales y se eleven los costos, lo que plantea la necesidad de incorporar fuentes alternas de fósforo en la alimentación animal. A continuación se presentan resultados de investigación sobre la evaluación de fuentes tradicionales y alternas de fósforo para la alimentación de aves, realizados en el país (Chicco y Godoy, 1997; Godoy y Chicco, 2001a; 2001b, 2006; Godoy *et al.*, 2007b). Entre las fuentes estudiadas se encuentran algunos fosfatos comerciales, fosfatos sedimentarios venezolanos y otras fuentes disponibles en la actualidad como los fosfatos nitrogenados y las harinas de hueso y de carne y hueso calcinados.

EL FOSFORO EN LA NUTRICION DE AVES

El fósforo (P) es un mineral esencial para la formación y mantenimiento de las estructuras óseas, síntesis de tejidos como masa muscular y formación de huevos en aves. Participa en el metabolismo de las proteínas, grasas, carbohidratos, minerales y otros nutrientes del organismo, es componente del ATP, de los ácidos nucleicos y de los fosfolípidos que integran y dan flexibilidad a las membranas celulares (Georgyievskii *et al.*, 1982).

El P que contienen las dietas para aves se origina fundamentalmente de materias primas vegetales, fuentes de origen animal y de fosfatos inorgánicos. La mayor parte (60 a 90 %) del P en los vegetales está unido orgánicamente como sales de ácido fítico, en la forma de P-fitato. Los fitatos son moléculas de inositol-1-fosfato a inositol-6-fosfato. El aprovechamiento que hacen las aves de este P-fítico es bajo o nulo, por carecer de la

enzima fitasa en su tracto digestivo que hidroliza los fitatos, liberando el P como ortofosfato. Este proceso está influenciado por factores como el tipo de ingrediente y condiciones de procesamiento del alimento, como las temperaturas de granulación, que inactivan las fitasas intrínsecas de las materias primas. El P restante (10 a 40%) está presente en otras formas químicas, y es metabolizado por el animal. Sin embargo, esta última fracción no es suficiente para cubrir los requerimientos de P de las aves.

Las deficiencias severas de P producen trastornos bien descritos en la literatura en todas las especies productivas. Bajo las condiciones actuales de producción avícola este tipo de deficiencia es muy difícil que se presente. Sin embargo, deficiencias marginales, las cuales pueden ser más frecuentes, producen trastornos en los rendimientos productivos, aumento de la mortalidad y reducen la calidad de la carne.

Por lo tanto, las dietas para aves tradicionalmente se suplementan con fuentes inorgánicas de fósforo como los fosfatos grado alimenticio monocálcico, dicálcicos y sus combinaciones, que se obtienen haciendo reaccionar el ácido fosfórico, proveniente de la roca fosfórica, con hidróxido, carbonato u óxido de calcio. De la misma manera se pueden obtener otros tipos de fosfatos como fosfatos de sodio y de magnesio, dependiendo del material reaccionante. El fosfato tricálcico defluorinado se produce mezclando roca fosfórica cruda con ácido fosfórico y carbonato o hidróxido de sodio previo sometimiento de esta mezcla a una temperatura de al menos 1200 °C, para eliminar el flúor. El grado de aprovechamiento que hacen las aves del P contenido en estas fuentes es variable y se determina a través de pruebas biológicas que permiten establecer la biodisponibilidad del P. La biodisponibilidad se define como el grado en que un nutriente ingerido de una fuente en particular es absorbido y disponible para que pueda ser utilizado en el metabolismo animal (Forbes y Erdman, 1983).

En el país, se han realizado evaluaciones para medir la biodisponibilidad del fósforo de fuentes comerciales, comúnmente utilizados en la alimentación de aves en Venezuela, como las combinaciones de fosfatos mono-dicálcicos (MONODI A, B y C), fosfato tricálcico (TRICAL), utilizando un fosfato dicálcico (DICAL) de alta pureza como testigo (Godoy y Chicco, 1998). El contenido (%) de calcio, fósforo y flúor de las fuentes evaluadas se corresponde con los señalados por la literatura (Gillis *et al.*, 1962) para los fosfatos dicálcico, monodicálcico y tricálcico (Cuadro 1).

Cuadro 1. Contenido (%) de calcio, fósforo, flúor y biodisponibilidad relativa (BR) de fosfatos utilizados en la alimentación de aves en Venezuela¹.

Fuente	Calcio	Fósforo	Flúor	BR ²
DICAL	29.0	22.7	0	100
MONODI A	21.0	18.5	0.11	93
MONODI B	17.0	21.0	0.12	100
MONODI C	22.0	20.5	0.12	111
TRICAL	31.5	18.3	0.02	89

¹Análisis en laboratorio (n = 10 muestras de cada una); ²BR: Biodisponibilidad relativa

La biodisponibilidad relativa (%) del fósforo (Cuadro 1), calculada a través de la prueba de proporción de la pendiente, mediante ecuaciones de regresión lineal entre el nivel de fósforo en la dieta y el contenido de cenizas del hueso, fue de 93, 100, 111 y 89, para

MONODI A, MONODI B, MONODI C y TRICAL, respectivamente, en relación al DICAL (100%). La literatura señala valores entre 95 a 100% para fosfatos monocálcicos, 75 a 100% para los dicálcicos y de 75 a 97% para los tricálcicos (Sullivan et al., 1992), utilizando como fosfato referencial un fosfato dicálcico dihidratado grado reactivo.

ALTERNATIVAS DE FUENTES DE FOSFORO

Entre las alternativas para cubrir los requerimientos de fósforo en las diferentes etapas productivas del ave se pueden señalar las que se describen a continuación:

Mejorar la disponibilidad del P fítico presente en las fuentes vegetales disponibles para la alimentación de las aves:

Las materias primas vegetales tienen una disponibilidad del P que es muy variable, dependiendo del porcentaje del P total que se encuentra en forma de fitatos y del contenido de fitasas intrínsecas requeridas para su hidrólisis.

En el país (Godoy *et al.*, 2005), se ha determinado el contenido de fósforo total, fósforo fítico y actividad fitásica intrínseca (Cuadro 2) de materias primas de uso actual y potencial en la alimentación animal. La combinación de ingredientes con diferente actividad fitásica intrínseca permite un mejor aprovechamiento del fósforo fítico de la ración total a través de su hidrólisis por las fitasas intrínsecas de los granos y sus subproductos. Así, el trigo, el arroz y sus subproductos son las materias primas de mayor actividad fitásica intrínseca.

Cuadro 2. Contenido de fósforo total y fítico y actividad fitásica de ingredientes alimenticios

Ingrediente	P total, %	P fítico, %	P fítico, % P total	Actividad fitásica, U/kg
Cereales y subproductos				
Trigo	0.33	0.18	55	1565
Maíz	0.25	0.17	73	24
Arroz	0.12	0.08	65	112
Sorgo	0.26	0.17	66	24
Afrecho de trigo	0.92	0.63	69	928
Germen y afrecho de maíz desgrasado grueso	0.66	0.42	64	41
Germen y afrecho de maíz desgrasado fino	1.21	0.78	65	56
Pulitura de arroz	1.57	1.13	72	134
Oleaginosas y subproductos				
Semilla algodón	0.64	0.49	77	51
Harina de soya	0.57	0.37	65	62
Harina de algodón	1.34	0.84	63	36
Harina de Palmiste	0.51	0.29	57	34
Harina de coco	0.43	0.24	56	37
Levadura de cervecería	1.22	0.30	24	39

Unidad de fitasa (U/kg): cantidad de Pi liberado/min de 5 mM solución de fitato de sodio a 1µmol/min., a pH:5.5 y 37°C.

Asimismo, el uso de fitasas exógenas mejora la disponibilidad del fósforo fítico en dietas tradicionales a base de maíz-soya (Godoy *et al.*, 2007a). Las evaluaciones indican que la incorporación de fitasas sintéticas (*Aspergillus niger*) en raciones para aves en crecimiento mejora la respuesta productiva, la mineralización ósea y la retención del fósforo, por incremento en la disponibilidad del fósforo fítico (Cuadro 3). Este efecto es más evidente con dietas bajas en contenido de fósforo total (0.45%). La conveniencia de la utilización de fitasas exógenas dependerá de los avances biotecnológicos que se realicen en este ámbito y de la relación costo beneficio que se derive de su uso. El componente ambiental puede jugar un papel determinante que podría obviar en cierta medida las limitadas ventajas económicas que bajo los conocimientos y tecnologías actuales se están logrando mediante el uso de fitasas exógenas.

Cuadro 3. Peso, consumo, conversión alimenticia, cenizas en hueso y retención neta de P en aves alimentadas con diferentes niveles de fósforo total y de fitasas en la dieta

Tratamientos		Variables				
Fósforo total (%)	Fitasas (U/kg)	Peso (g/ave)	Consumo (g/ave)	Conversión alimenticia	Cenizas %	RNA ¹ %
0.45	0	1104 ^b	1370 ^a	1.24 ^a	37.17 ^c	58 ^b
	300	1137 ^b	1520 ^a	1.34 ^a	38.8 ^b	57 ^b
	400	1232 ^a	1611 ^a	1.31 ^a	38.5 ^{cb}	63 ^a
	500	1222 ^a	1556 ^a	1.28 ^a	40.1 ^a	65 ^a
Promedio		1174^A	1514^C	1.29^B	38.6^C	60.7^C
0.55	0	1289 ^a	1766 ^a	1.34 ^a	41.8 ^b	57 ^b
	300	1329 ^a	1749 ^a	1.36 ^a	41.2 ^c	61 ^b
	400	1335 ^a	1744 ^a	1.32 ^a	42.0 ^{ab}	70 ^a
	500	1346 ^a	1812 ^a	1.35 ^a	42.3 ^a	72 ^a
Promedio		1325^B	1768^B	1.34^{AB}	41.8^B	65^B
0.65	0	1357 ^a	1834 ^a	1.38 ^a	42.7 ^b	57 ^c
	300	1362 ^a	1856 ^a	1.34 ^b	42.9 ^{ab}	77 ^a
	400	1394 ^a	1878 ^a	1.33 ^b	42.6 ^b	67 ^b
	500	1403 ^a	1893 ^a	1.35 ^{ab}	43.7 ^a	75 ^a
Promedio		1379^C	1865^A	1.35^A	43.0^A	69^A

A, B diferencias significativas (P<0,05) entre niveles de fósforo adicionado independiente del nivel de fitasas

a, b diferencias significativas (P<0,05) entre niveles de fitasas para cada nivel de fósforo adicionado

¹RNA: Retención neta aparente de P

Sustitución de las fuentes tradicionales por fosfatos sedimentarios nacionales crudos:

Los fosfatos de grado alimenticio que actualmente se utilizan en el país, todos de origen importado, son de buena calidad y responden a las crecientes exigencias de la industria avícola nacional. Dadas ciertas condiciones de mercado previsibles en el futuro, una alternativa a los fosfatos convencionales de grado alimenticio y con posibilidad de éxito, es el uso de fosfatos sedimentarios no tratados.

A tal fin, se evaluaron los fosfatos sedimentarios de Riecito (RIO) y Lizardo (LIZA) del estado Falcón, Chiguará (CHIGUA) y Jají (JAJI) de Mérida, y Monte Fresco (MONTE) y Navay (NAVAY) de Táchira, utilizándose como testigo ortofosfato dicálcio (DICAL) de alta pureza (Godoy y Chicco, 2001b). La composición química de los fosfatos (Cuadro 4)

presenta valores similares a los reseñados por diferentes autores (Casanova y Valderrama, 1986; Soto *et al.*, 1993). El contenido de flúor es más bajo en las minas de Falcón (1.2%) y, más elevados en las de Táchira (2.6%) y Mérida (2.5%).

La biodisponibilidad del fósforo (Cuadro 5) estimada tomando como criterios de respuesta variables productivas, de mineralización ósea y medidas de absorción, es más elevada en los fosfatos sedimentarios del Estado Falcón (RIO, LIZA).

Cuadro 4. Composición química de rocas fosfáticas de Venezuela.

Fosfatos	Ca	P	F	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn	Co
			%						
							Ppm		
DICAL	29.0	22.7	-	-	-	-	-	-	-
LIZA	25.9	12.3	1.2	0.14	2.86	20	310	671	14
RIO	24.6	11.1	1.2	0.08	0.92	22	100	797	10
CHIGUA	29.4	10.7	2.8	0.86	0.04	15	102	113	19
JAJI	20.0	10.5	2.4	2.38	2.73	8	393	96	11
MONTE	34.4	11.0	2.5	0.12	0.37	19	39	449	15
NAVAY	24.3	10.5	2.5	0.06	0.53	7	60	90	9

Cuadro 5. Disponibilidad biológica (%) del fósforo de rocas fosfáticas en aves¹

Variable	RIO	LIZA	CHIGUA	JAJI	MONTE	NAVAY
Crecimiento	66.7	74.3	69.3	56.8	54.6	57.2
Cenizas	78.8	70.7	54.5	32.2	73.6	62.8
Retención Neta	80.7	78.6	80.2	57.8	81.2	67.2
Eficiencia (EU)	66.6	76.4	54.8	59.9	56.2	62.1
Promedio	73.2	75.0	64.7	51.7	66.6	62.3

¹ Los valores se expresan como % de la disponibilidad del DICAL (100%)

Otros autores (Osorio y Jensen, 1986) reportan una biodisponibilidad de 65% para la roca de Riecito, cuando se comparó con fosfatos mono y dicálcico grado alimenticio, en relación a ganancia de peso y contenido de cenizas en hueso. Los valores de Monroy (1986), se aproximan a los señalados para las minas de Riecito (76.7%) y Lizardo (64.2%).

La disponibilidad biológica relativamente alta para los fosfatos de roca de RIO y LIZA, pudieran sugerir la posibilidad de uso directo en la alimentación animal. Sin embargo, el contenido de flúor es un factor limitante por la toxicidad del elemento, siendo el máximo tolerable según la NCR (1984) entre 400-800 ppm, cuando el elemento proviene de rocas fosfáticas. Esto es de particular consideración para la mayoría de los yacimientos de la región andina, en los cuales el contenido de flúor es superior al 2.5%. Niveles elevados de flúor reducen significativamente la ganancia de peso y el consumo de alimento (Huyghebaert y De Groote, 1988). Esto reviste mayor significado en aves con ciclos productivos largos, como las ponedoras.

En gallinas ponedoras alimentadas con fosfatos de roca (Godoy y Chicco, 2000), como única fuente de fósforo inorgánica adicionada a la dieta, en fase de prepostura, el comportamiento productivo comienza a afectarse a partir de la sexta semana de vida en las

aves alimentadas con las roca de MONTE y NAVAY, debido posiblemente a la menor biodisponibilidad del P y el alto contenido de flúor de éstas fuentes. La mineralización del tejido óseo incrementó durante el período de crecimiento y el contenido de F se aproxima a 10.000 ppm en los fosfatos de MONTE y NAVAY. En postura (Cuadro 6), las aves alimentadas con MONTE y NAVAY tuvieron los pesos mas bajos y menor consumo de alimento (Godoy y Chicco, 2001b). La mineralización del tejido óseo, no presentó una tendencia definida, posiblemente asociada a menores cambios en el animal adulto, mientras que la acumulación de flúor se mantuvo en concentraciones de aproximadamente 10.000 ppm en los tratamientos MONTE y NAVAY. Los menores cambios en la acumulación de flúor en el animal adulto se deben a la dilución del elemento en el hueso mineralizado (Suttie *et al.*, 1984).

Cuadro 6. Peso, consumo y mineralización ósea de aves de postura alimentadas con fosfatos sedimentarios.

Edad, Semana	DICAL	D/R	D/M	D/N	RIO	MONTE	NAVAY
Peso, g/ave							
20	1902.0 ^a	1778.6 ^b	1752.0 ^b	1788.8 ^b	1767.9 ^b	1776.0 ^b	1611.8 ^c
42	2444.1 ^a	2025.3 ^b	1781.2 ^c	1898.2 ^{bc}	1950.8 ^b	1810.4 ^c	1784.8 ^c
Consumo, g/ave/día							
20	119.0	112.0	115.5	110.7	110.0	109.1	105.0
42	116.5	106.2	95.7	99.0	110.2	92.5	95.0
Cenizas, %							
30	55.8	54.6	55.1	55.2	56.5	55.9	56.8
42	57.1	54.1	57.2	54.8	56.9	55.3	56.7
Cenizas, mg/cc							
30	332.0	331.0	327.2	323.5	346.6	342.7	343.5
42	346.6 ^{ab}	321.9 ^b	323.1 ^b	319.1 ^b	322.3 ^{ab}	344.5 ^a	350.3 ^a
Flúor ³ , ppm							
30	1100 ^a	3000 ^b	4575 ^d	1975 ^a	3650 ^c	9500 ^e	9175 ^e
42	1320 ^a	4380 ^b	6800 ^c	6300 ^c	7380 ^c	11040 ^d	10080 ^d

D/R: DICAL Prepostura/RIO Postura; D/M: DICAL Prepostura/MONTE Postura; D/N: DICAL Prepostura/NAVAY Postura
 Sesenta aves/tratamiento (peso, consumo); Cuatro aves/tratamiento (hueso)

a, b, c.. Promedios con letras distintas en la misma fila difieren entre sí (P<0.05)

La incorporación de fosfatos de rocas en la dieta (550 ppm) de aves al inicio de la postura disminuyó la intensidad de producción de huevos y provocó retraso para alcanzar la madurez sexual de 4 a 10 días, que fue mas severa (17 días) en las aves alimentadas con éstas fuentes desde el nacimiento (Cuadro 7). Said *et al.* (1979) reportan retrasos en madurez de sexual (8 y 11 días) en aves alimentadas con altos niveles de flúor (>600 ppm).

La depresión en el consumo de alimento provocó un deterioro en la eficiencia de conversión, siendo más severa en los tratamientos MONTE y NAVAY, que en las combinaciones con DICAL. Resultados similares fueron obtenidos por Said *et al.* (1979) y Hanh y Guenter (1986).

Cuadro 7. Comportamiento productivo promedio de ponedoras (20 a 42 semanas de edad) alimentadas con fosfatos de yacimientos.

Medida ¹	DICAL	D/R	D/M	D/N	RIO	MONTE	NAVAY
Intensidad ¹	72.7 ^a	68.3 ^b	62.2 ^c	67.9 ^b	66.6 ^b	58.4 ^d	53.0 ^d
Edad 50%	22.5 ^a	23.3 ^b	24.0 ^c	23.0 ^b	24.0 ^c	25.0 ^d	25.0 ^d
Conversión ²	1.84 ^a	2.53 ^b	2.45 ^b	2.42 ^b	2.57 ^b	2.71 ^b	2.97 ^b

D/R: DICAL Prepostura/RIO Postura; D/M: DICAL Prepostura/MONTE Postura; D/N: DICAL Prepostura/NAVAY Postura Sesenta aves/tratamiento; ¹Intensidad,%=(postura por semana/7 días x 10 aves) x 100; ²Conversión: kg alimento/docena de huevos; a, b, c... Promedios con letras distintas en la misma fila son diferentes entre sí (P<0.05)

Los datos señalan que los fosfatos de yacimiento podrían aportar entre un 60-70% del fósforo total en la alimentación de pollos de engorde (ciclo productivo corto), sin incurrir en problemas de toxicidad. Para gallinas ponedoras, se recomienda sustituir solo el 25% del fósforo total por fosfatos sedimentarios.

Incorporación de fosfatos sedimentarios según su biodisponibilidad:

A fin de determinar la potencialidad de los fosfatos sedimentarios ajustados a su biodisponibilidad previamente determinada, se evaluaron los fosfatos sedimentarios de Riecito (RIO), Monte Fresco (MONTE) y Navay (NAVAY), utilizándose un fosfato dicálcico (DICAL) como testigo (Godoy y Chicco, 2006). Las dietas experimentales para iniciación y engorde, contenían los fosfatos sedimentarios como única fuente de fósforo adicionado, es decir, 100% de sustitución de las fuentes tradicionales. Para ésta evaluación se utilizaron los valores de biodisponibilidad (%) obtenidos en experimentos previos (Godoy y Chicco, 2001b).

Las aves presentaron un comportamiento productivo de similar tendencia, tanto en la fase de iniciación como en la de terminación (Cuadro 8). El peso (g/animal), a los 28 días de edad, fue mayor (P<0.05) para DICAL y los yacimientos de RIO y MONTE y más bajo para NAVAY. El consumo (g/ave) y la eficiencia de conversión guardaron relación con el peso corporal de las aves.

Cuadro 8. Peso, consumo y conversión alimenticia de aves (4ta semana y 6ta semana) alimentadas con fosfatos de yacimientos ajustados por su biodisponibilidad¹.

	DICAL	RIO	MONTE	NAVAY
Edad, 4ta S				
Peso, g	1084 ^a	1119 ^a	1085 ^a	926 ^b
Consumo, g	1701 ^a	1732 ^a	1729 ^a	1568 ^b
Conversión	1.76	1.64	1.59	1.81
Edad, 6ta S				
Peso, g	2052 ^a	2063 ^a	1944 ^b	1701 ^c
Consumo, g	3543 ^b	3630 ^a	3530 ^b	3302 ^c
Conversión	1.73	1.76	1.82	1.94

¹Cuarenta aves/tratamiento

a, b Promedios con letras distintas en la misma fila son diferentes entre sí (P<0,05)

Al comparar el desempeño de las aves, 28 vs 42 días de edad, se evidencia que los pollos suplementados con los fosfatos de MONTE y NAVAY presentaron un deterioro

($P < 0,05$) en los pesos corporales más evidente en la fase de finalización que en la de iniciación. Así, los pesos (g/ave) a la sexta semana de edad fueron más bajos ($P < 0,05$) para MONTE y NAVAY, en relación al DICAL y RIO, sin diferencias entre éstos últimos. El consumo de alimento (g/ave) fue más elevado ($P < 0,05$) para el tratamiento con RIO seguido por DICAL y MONTE y mas bajo para NAVAY.

La roca de RIO fue equivalente al fosfato referencial (DICAL), corroborando estudios previos (Osorio y Jensen, 1986). Las respuestas más baja de las aves alimentadas con las rocas de MONTE y NAVAY aparentemente se relaciona con la mayor inclusión de flúor, que tiende a limitar el consumo de alimento, asociado con alteraciones en el metabolismo de los carbohidratos (Zebrowski *et al.*, 1964).

Las características del tejido óseo de las aves, a la sexta semanas de edad, fueron superiores ($P < 0,05$) para DICAL y RIO, en relación a MONTE y NAVAY (Cuadro 9). La acumulación de flúor (ppm) en el tejido óseo aumentó con la ingestión del elemento aportado por los diferentes fosfatos, siendo los valores mas elevados ($P < 0,05$) en los tratamientos con NAVAY y MONTE, seguidos por RIO e inferior ($P < 0,05$) para DICAL. La mayor acumulación de flúor en el tejido óseo trajo como consecuencia huesos menos mineralizados, coincidiendo con los resultados de numerosos autores, quienes señalan una disminución en la resistencia del hueso a la ruptura como resultado de altos consumos de flúor (Huyghebaert y De Groote, 1988).

Cuadro 9. Características del tejido óseo de aves alimentadas con fosfatos de yacimientos ajustados a la biodisponibilidad del fósforo¹

Medidas	DICAL	RIO	MONTE	NAVAY
Densidad	1.215 ^a	1.151 ^b	1.148 ^b	1.136 ^c
Cenizas, %	44.6 ^a	44.2 ^a	43.0 ^b	42.9 ^b
Cenizas, mg/cc	217.2 ^a	215.2 ^a	199.1 ^b	197.6 ^b
Fósforo, %	18.93	18.61	18.05	19.64
Fósforo, mg/cc	42.19 ^a	40.22 ^b	35.87 ^c	38.64 ^c
Flúor, ppm	1145 ^a	6000 ^b	8333 ^c	14925 ^d

¹ Cuatro aves/tratamiento (6ta semana de edad).

a, b, c, d Promedios con letras distintas en la misma fila son diferentes significativamente ($P < 0,05$)

Uso de fosfatos alternativos disponibles y potenciales:

Fosfatos nitrogenados:

Adicionalmente a los fosfatos mono-, di-, y tricálcicos que por tradición se han venido utilizando en la industria avícola nacional, actualmente se producen compuestos fosfatados que contienen nitrógeno. Para tal fin se evaluó la urea fosfato (UF), un fertilizante fosfato diamónico (FDA) y un fosfato dicálcico (testigo), sin (DICAL) y con adición de urea (DICAL-U), para proporcionar cantidades equivalentes de nitrógeno a la urea fosfato y fosfato diamónico (Godoy *et al.*, 1995). La composición química de los fosfatos (Cuadro 10) presenta concentraciones (%) de calcio, fósforo, nitrógeno y fluor, similares a los reseñados por la literatura (Fishwick y Hemingway, 1973).

Los valores de disponibilidad biológica relativa del fósforo (Cuadro 11), calculados a partir del peso final y retención neta aparente, fueron mayores para DICAL-U y UF y, la estimación mediante las cenizas, mayor para FDA, lo que probablemente se deba al contenido de flúor que se acumula en el tejido óseo.

Cuadro 10. Composición química (%) de los fosfatos evaluados

Fosfato	P	Ca	N	F
DICAL	22.7	29	-	-
UF	20.0	-	17	0.19
FDA	22.0	-	17	1.67

DICAL: fosfato dicálcico; UF: urea fosfato; FDA: fosfato diamónico

Cuadro 11. Biodisponibilidad (%) según peso final, cenizas y retención neta

Fuentes	Peso	Cenizas	Retención neta
DICAL	100	100	100
DICAL-U	94.5	96.6	94.6
FDA	85.3	98.5	73.6
UF	94.6	96.9	91.7

DICAL: fosfato dicálcico; DICAL-U: fosfato dicálcico+urea; UF: urea fosfato; FDA: fosfato diamónico

Fosfatos de origen animal: harina de hueso calcinada (HHC) y harina de carne y hueso calcinada (HCHC) y otras fuentes no convencionales:

Como mencionado en la introducción del documento cierta cantidad de P es recuperable y puede ser reciclada mediante la calcinación del tejido óseo de animales beneficiados. En este caso se evaluó la harina de hueso calcinado (HHC), harina de carne y hueso calcinado de cerdo, un fertilizante superfosfato triple (SFT), fosfato monodisódico (FMDS), TRICAL y DICAL (Godoy *et al.*, 2007b; datos no publicados). La composición química se presenta en el Cuadro 12.

Cuadro 12. Composición química de las fuentes evaluadas

Fuentes	Ca	P	F	Na
HHC	33.1	15.5		
HCHC	16.1	10.9		
SFT	15.8	19.3	2.8	
FMDS		23.0	0.2	22.0
TRICAL	32.0	18.0	0.18	4.5
DICAL	27.1	19.2		

HHC: harina de hueso calcinado; HCHC: harina de carne y hueso calcinado; SFT: superfosfato triple; FMDS: fosfato monodisódico; TRICAL: fosfato tricálcico; DICAL: fosfato dicálcico

La biodisponibilidad del fósforo (Cuadro 13), expresada en términos de peso corporal y contenido de cenizas en el hueso, como criterios de respuesta, utilizando DICAL como testigo referencial (100%), fue de 97% para HHC, 66% para HCHC, 107.5% para SFT, 93% para FMDS y 99% para TRICAL.

Cuadro 13. Biodisponibilidad relativa (%) del fósforo en pollos de engorde alimentados con diferentes fuentes de fósforo¹.

Variable	HHC	HCHC	SFT	FMDS	TRICAL
Peso	97	66	108	93	99
Cenizas	97	-	107	-	-

HHC: harina de hueso calcinado; HCHC: harina de carne y hueso calcinado; SFT: superfosfato triple; TRICAL: fosfato tricálcico. ¹DICAL como testigo referencial (100%).

CONCLUSIONES

La previsible crisis mundial de escasez de fosfatos es una limitante muy importante en la producción de alimentos para la población humana. La producción de fertilizantes químicos ocupa la mayor proporción de los fosfatos a nivel mundial, por lo que, mejorar su eficiencia de utilización representa una de las vías importantes de ahorro, lo que además disminuiría la contaminación ambiental. El desarrollo de la agricultura orgánica es otra vía para afrontar el natural descenso en la disponibilidad mundial de fosfatos, porque permite el reciclaje del fósforo al retornarlo al suelo, a través del uso de heces de animales y humanos, haciendo de los fosfatos una fuente renovable. En este caso, el rendimiento agropecuario es inferior al logrado con la fertilización tradicional con minerales fósiles, sin embargo promueve una agricultura más sostenible en el tiempo.

Otra forma de ahorro, particularmente para la alimentación de no rumiantes como las aves es mejorar la utilización del fósforo fítico presente en las materias primas de origen vegetal, lo que puede lograrse de diferentes formas: incorporando en las dietas ingredientes vegetales con actividad fitásica intrínseca (>100 U/kg); adicionando fitasas sintéticas comerciales (*Aspergillus niger*); desarrollando materiales clonados con actividad fitásica. En relación a esto último, actualmente se dispone de técnicas para transferir el gen fitasa del *Aspergillus niger* a plantas tales como el tabaco y la colza, por lo que, la biotecnología es una técnica disponible para el enriquecimiento de fitasas intrínsecas en los granos para la alimentación de aves.

En el caso particular de Venezuela, que posee cuantiosas reservas de yacimientos de roca fosfórica, estimadas en 2.600 millones de tm, de forma inmediata estas fuentes crudas pudieran ser incorporadas directamente en dietas para aves. Para animales de ciclo productivo corto (pollos de engorde), incorporación entre 60-70% para las rocas de Riecito y Lizardo, de menor contenido de flúor y, 50% para los restantes fosfatos. Para animales de ciclos más largos (gallinas ponedoras) hasta 25%. Sin embargo, se requiere de mayor investigación para una mejor precisión sobre los valores de sustitución. Por otro lado, esta información consolidada permitiría aportar elementos importantes para modificar la legislación vigentes sobre los niveles permisibles de flúor en los fosfatos para consumo animal.

Para lograr la sustitución total de los fosfatos de origen importado por fuentes nacionales es necesario que las rocas fosfáticas venezolanas sean transformadas en fosfatos grado alimenticio para animales, a través de la aplicación de tratamientos físicos y/o químicos. Los fosfatos que se obtienen son de mayor contenido de fósforo biodisponible y menor concentración de elementos tóxicos como el flúor. Dicha transformación se realiza por tratamientos térmicos o hidrolíticos. El primero pareciera ser el más conveniente por la alta disponibilidad de energía fósil que tiene el país. Para ello, se requiere del apoyo del estado venezolano a fin de diseñar e implementar estrategias que permitan la explotación de este importante recurso natural.

BIBLIOGRAFIA

- Casanova E. y U. Valderrama. 1986. Potencial de las rocas fosfóricas venezolanas en la agricultura nacional. Seminario Nacional "Los Fertilizantes y la Productividad Agrícola". Caracas 13 p. 1986.
- Chicco C. F. y S. Godoy. 1997. Calidad de los fosfatos en la alimentación de las aves. Simposium Los fosfatos en el balance mineral de la ración para animales. XV Reunión Latinoamericana de Producción Animal. IX Congreso Venezolano de Zootécnia. Maracaibo, noviembre. p. 49-69.
- Fishwick G. y R. G. Hemingway. 1973. Urea phosphate and monoammonium phosphate as dietary supplements for sheep fed diets inadequate in phosphorus and nitrogen. *J. Agric. Sci.* 81: 139-144.
- Forbes R. M. y J. W. Erdman. 1983. Bioavailability of trace mineral elements. *Ann. Rev. Nutr.* 3:213-217.
- Georgyievskii V. I., B. N. Annenkov y V. T. Samokhin. 1982. Mineral nutrition of animals. Butterworths Londres, 271 pp.
- Gillis M. B., H. M. Edwards y R. J. Young. 1962. Studies on the availability of calcium orthophosphates to chickens and turkeys. *J. Nutrition*, 78:155- 161.
- Godoy S. y C. F. Chicco. 1998. Biodisponibilidad del fósforo de fosfatos comerciales en la alimentación de aves. *Zootecnia Tropical*. 16 (1):5-18.
- Godoy S. y C. F. Chicco. 2000. Fosfatos sedimentarios para la alimentación de aves de postura. 1. Fase de iniciación-prepostura. *Revista Científica de la Universidad del Zulia*. 10(6):486-493.
- Godoy S. y C. F. Chicco. 2001a. Fosfatos sedimentarios para la alimentación de aves de postura. 2. Fase de postura. *Revista Científica de la Universidad del Zulia*. 11(1):12-21.
- Godoy S. y C. F. Chicco. 2001b. Relative bioavailability of phosphorus from Venezuelan raw rock phosphates for poultry. *Animal Feed Science and Technology*. 94:103-113.
- Godoy S. y C. F. Chicco. 2006. Respuesta productiva y mineralización ósea de pollos de engorde alimentados con fosfatos sedimentarios según su biodisponibilidad. *Revista Científica LUZ*. 16(1):83-88.
- Godoy S., C. F. Chicco, y A. León. 1995. Biodisponibilidad del fósforo de la úrea fosfato en la nutrición animal. *Zootecnia Tropical*. 13(1): 49-62.
- Godoy S., G. Hernández y C. F. Chicco. 2002. Efecto de la suplementación de fitasa microbiana en la utilización de fósforo fítico en pollos de engorde alimentados con dietas a base de maíz-soya. *Revista Científica de la Universidad del Zulia*. 12(2):519-523.
- Godoy S., C. F. Chicco, F. Meschy y F. Requena. 2005. Phytic phosphorus and phytase activity of animal feed ingredients. *Interciencia*. 30(1): 24-28.
- Godoy S., C. F. Chicco, G. Hernandez, P. Pizzani. 2007a. Comercial phytases (*Aspergillus niger*) in broiler diets. *Proceedings, Western Section, American Society of Animal Science*. 58:60-65.
- Godoy S., C. F. Chicco, J. Palma, A. Morgado, P. Pizzani, A. Arias. 2007b. Crecimiento y mineralización ósea de pollos de engorde alimentados con fosfatos nacionales. *Zootécnia Tropical*. 25(4):1-9.
- Gumbo B., H. H. G. Savenije y P. Kelderman. 2002. Ecologising Societal Metabolism: The case of phosphorus. In: *Proc. 3rd Int. Conf. Environmental Management*. 27-30. August 2002.
- Hanh P. H. B. y W. Guenter. 1986. Effect of dietary fluorine and aluminium on laying hen performance and fluoride concentration in blood, soft tissue, bone and egg. *Poult. Sci.* 65:1343-1349.
- Huygherbaert G. y G. De Groote, 1988. Effect of dietary fluoride on performance and bone characteristics of broilers and the influence of drying and defatting on bone breaking strength. *Poultry Sci.* 67:950-955.
- Monroy J. M. A. 1986. Biodisponibilidad de cuatro rocas fosfatadas Venezolanas. Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. 69 p. 1986. (Tesis de grado).
- National Research Council (NRC). 1986. Nutrient requirements of domestic animals. 1. Nutrient requirements of poultry. 8 th ed. Natl. Acad. Sci., Washington, DC.
- Osorio J. G. y L. S. Jensen. 1986. Biological availability of phosphorus from a Venezuelan rock phosphate for broiler chicks. *Nutr. Repor. Inter.* 33:545-552.
- Potter L. M. 1988. Bioavailability of phosphorus from various phosphates based on body weight and toe ash measurements. *Poultry Sci.* 67: 96-107. 1988.
- Rojas R. E, R. J. L. Rangel, A. S. Bezares, E. G. Avila. 1980. Determinación de fósforos disponible en una roca fosfórica y su empleo en dietas para aves. *Vet. Méx.* 11:1-8.
- Soto E., N. Obispo, C. F. Chicco, S. Godoy, A. León y A. Valle. 1993. Características químicas y físicas de rocas fosfáticas nacionales y otras fuentes de fósforo. *Zootecnia Tropical*, Vol. 11(2):241-254.
- Sullivan T. W., J. H. Douglas, N. J. González and P. L. Bond Jr. 1992. Correlation of biological value of feed phosphates with their solubility in water, dilute hydrogen chloride, dilute citric acid, and neutral ammonium citrate. *Poult. Sci.* 71: 2065-2074.

Said N. W., M. L. Sunde, H. R. Bird y J. W. Suttie.1979. Rawrock phosphate as a phosphorus supplement for growing pullets and layers. *Poult. Sci.* 58:1557-1563.

Suttie J. W., D. L. Kolstad y M. L. Sunde. 1984. Fluoride tolerance of the young chick and turkey poult. *Poult. Sci.* 63:738-743.

Zebrowski, E. J., J. W. Suttie, P. H. Phillips. 1964. Metabolic studies in fluoride fed rats. *Fed. Proc.* 23:184-192.

FUENTES DE FÓSFORO ALTERNATIVAS EN LA NUTRICIÓN DE AVES

Susmira Godoy

Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA)

sgodoy@inia.gob.ve

sgodoy@cantv.net



IMPORTANCIA DEL FÓSFORO PARA LA ALIMENTACIÓN DE AVES

- El P está involucrado en cada una de las reacciones metabólicas de los organismos.
- Los ingredientes de origen vegetal que se incluyen en las dietas para aves no cubren los requerimientos de P
- Se requiere de la incorporación de fosfatos inorgánicos
- La alta demanda de fosfatos ha ocasionado disminución en la producción mundial a partir de 1990
- Es necesario evaluar fuentes alternas de fósforo para la alimentación de aves



FUENTES DE FÓSFORO PARA LA ALIMENTACIÓN DE AVES

FUENTES ORGANICAS:

VEGETAL

ANIMAL



FUENTES INORGANICAS:

MINERAL

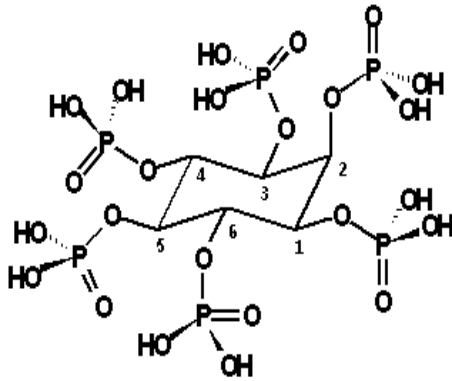
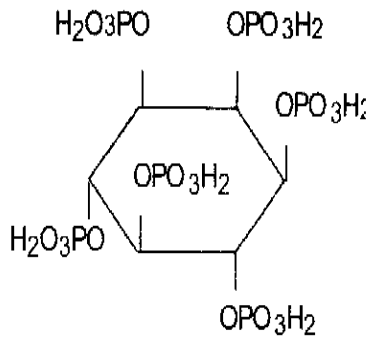


Fuentes orgánicas.....

DE ORIGEN VEGETAL

Granos de cereales y oleaginosas

Subproductos de cereales y oleaginosas



COMPOSICIÓN MINERAL DE INGREDIENTES ALIMENTICIOS

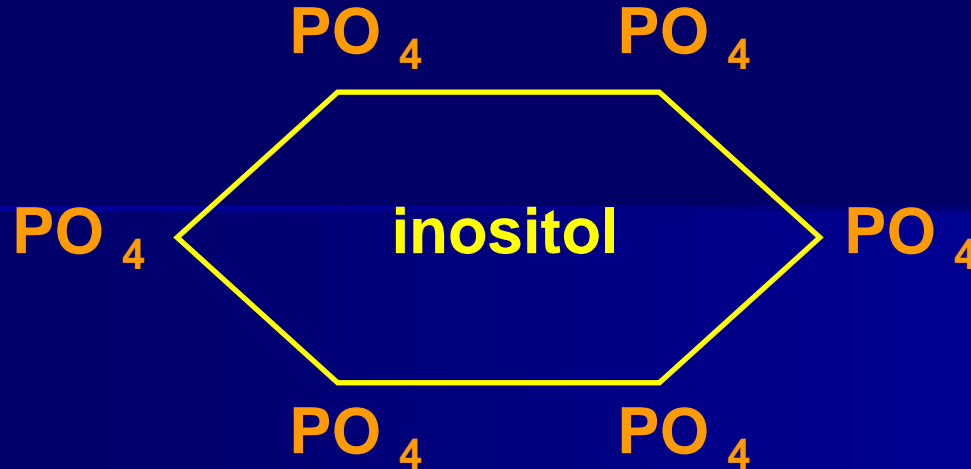
Ingredientes	Ca %	P %	Fe ppm	Cu ppm	Mn ppm	Zn ppm	Se ppm
Maíz, Grano	0.02	0.28	35	4	5	10	0.04
Sorgo, Grano	0.03	0.28	50	12	12	14	-
Arroz, Pulidura	0.05	1.31	160	3	12	26	-
Trigo, Afrecho	0.14	1.15	170	10	100	95	0.50
Soya, Solvente	0.27	0.61	140	18	30	60	0.10
Algodón, Solvente	0.15	0.97	110	18	20	-	-
Carne, Harina	8.25	4.10	440	1.5	12.5	103	0.25
Pescado, Harina	5.10	2.90	440	10.8	33	147	2.10
Dieta Maíz-soya	0.03	0.41	52.5	8	95	19	0.045
Requerimientos Aves	0.80	0.60	80	8	40	40	0.02

NRC, 1988, 1994

FOSFORO EN LOS VEGETALES, Grano de semillas

- **50-80%** SALES DE ACIDO FÍTICO
- **20-30%** FOSFOLÍPIDOS, FOSFOPROTEÍNAS Y ACIDOS NUCLEICOS
- **8-12 %** FOSFATOS INORGÁNICOS

Fósforo fítico



Forma de reserva en los granos (60-80 % de P)

Fitasa vegetal: actividad muy variable

pH 5,5

Termosensible (70-80 °C)

CONTENIDO DE FITATOS EN ALGUNOS INGREDIENTES

Ingredientes	P total g/kg	P fítico g/kg	P Fítico %
Trigo	3.30	2.21	67
Cebada	3.70	2.22	60
Centeno	3.80	2.58	68
Maíz	3.00	1.29	43
Sorgo	2.70	1.89	70
Soya	7.10	3.83	54
Avena	3.60	2.12	59

Contenido de fósforo total y fítico de ingredientes alimenticios comercializados en el país

Ingrediente	P total,%	P fitico, %	P inor, %	Pfitico,%Ptotal
Cereales y subproductos				
Trigo	0.33	0.18	0.15	55
Maíz	0.35	0.17	0.13	58
Arroz	0.25	0.20	0.05	80
Sorgo	0.24	0.17	0.07	71
Afrecho trigo	1.27	0.95	0.32	75
Torta germen y afrecho maíz	0.35	0.20	0.15	57
Mazina	1.76	0.78	0.98	45
Tercerilla arroz	0.30	0.19	0.11	63
Pulitura arroz	1.33	0.93	0.40	70
Oleaginosas y subproductos				
Semilla algodón	0.17	0.12	0.05	71
Torta Soya	0.85	0.68	0.17	80
Torta Algodón	1.34	0.64	0.70	48
Torta Palmiste	0.30	0.19	0.11	63
Torta de coco	0.34	0.24	0.10	70

HIDRÓLISIS DE LOS FITATOS

- **FITASAS INTRINSECAS
(VEGETALES)**
- **FITASAS MICROBIANAS
(ENDOGENAS DIGESTIVAS Y
EXOGENAS)**

FITASAS VEGETALES

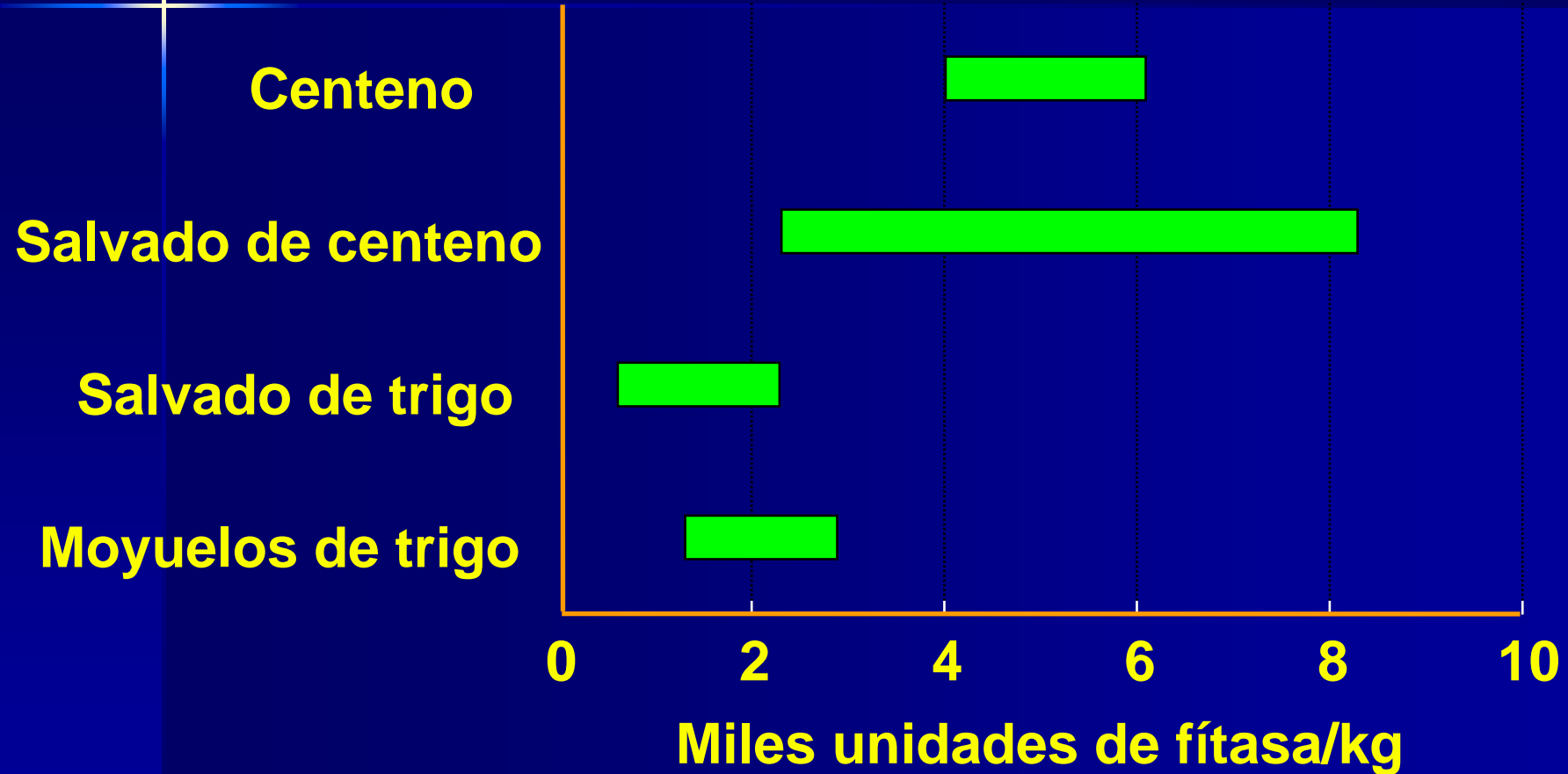
Intrínsecas

**MYOINOSITOL HEXAFOSFATO HIDROLASA
FOSFOMONOESTERASA
6-FITASA (EC 3.1.3.26)**

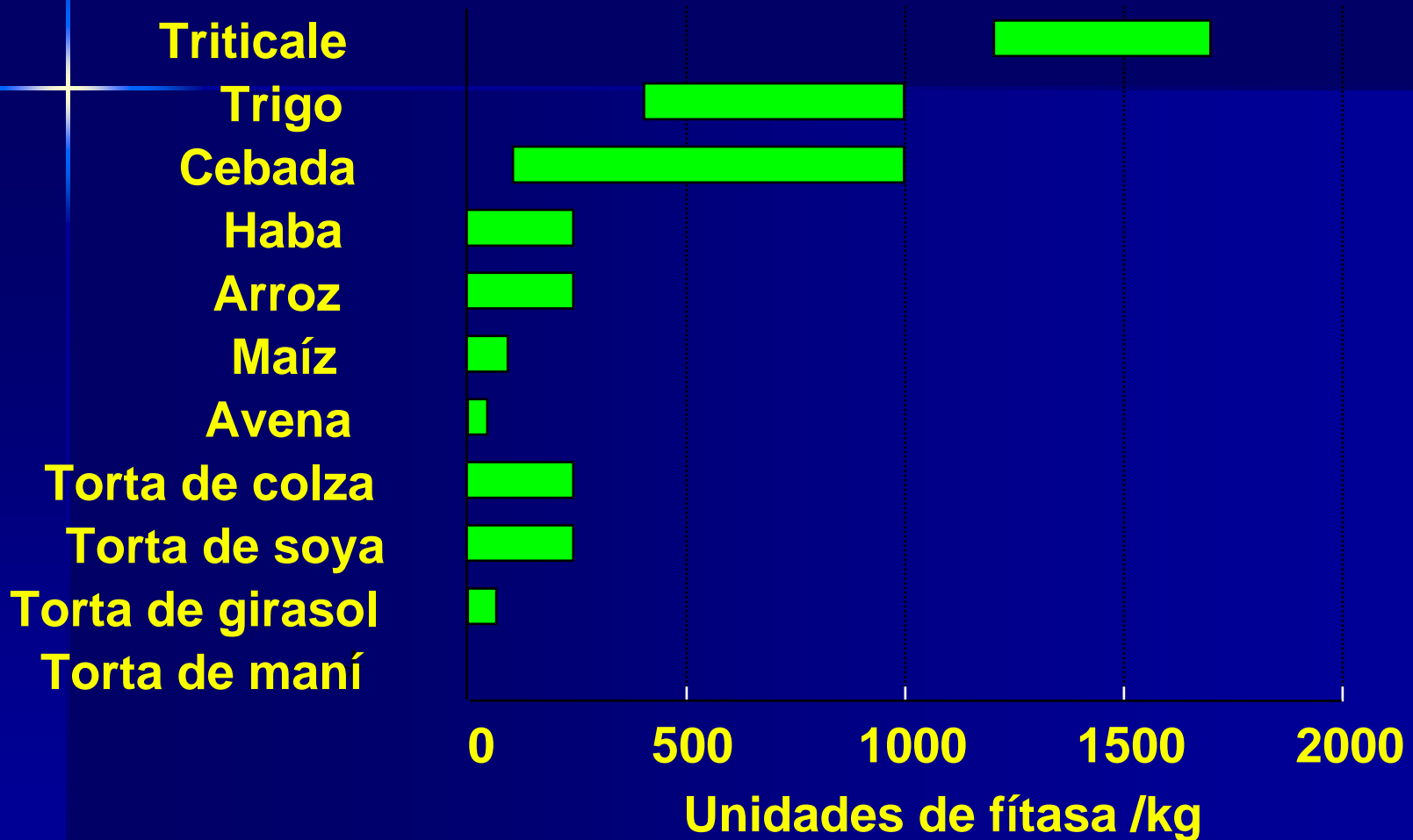
Actividad fitásica (U/kg) de ingredientes alimenticios utilizados en dietas para animales

Ingrediente	Actividad fitásica, U/kg
Cereal	
Trigo	508-668-700-1193
Sorgo	24
Arroz	125
Maíz	30
Sub productos cereales	
Afrecho trigo	1100-1500-2857
Afrecho arroz	630
Gluten maíz	48
Gluten trigo	25
Torta oleaginosas	
Girasol	62
Maní	3
Coco	24
Soya 44	40

Ingredientes de alta actividad fitásica



Ingredientes baja actividad fitásica



Actividad fitásica de ingredientes alimenticios comercializados en el país

Ingrediente **Actividad fitásica, U/kg**

Cereales y subproductos

Trigo 1565

Maíz 24

Arroz 112

Sorgo 99

Afrecho de trigo 928

Germen y afrecho maíz 41

Mazina 56

Tercerilla arroz 93

Pulitura arroz 134

Oleaginosas y subproductos

Soya 51

Semilla algodón 62

Torta algodón 36

Torta Palmiste 34

Torta coco 37

U/kg: unidad de fitasa es la cantidad de Pi liberado por min de 5 mM de una solución de fitato de sodio a $1\mu\text{mol min}^{-1}$ a un pH de 5.5 a 37°C.

FITASAS MICROBIANAS

**MYOINOSITOL HEXAFOSFATO HIDROLASA
FOSFOMONOESTERASA**

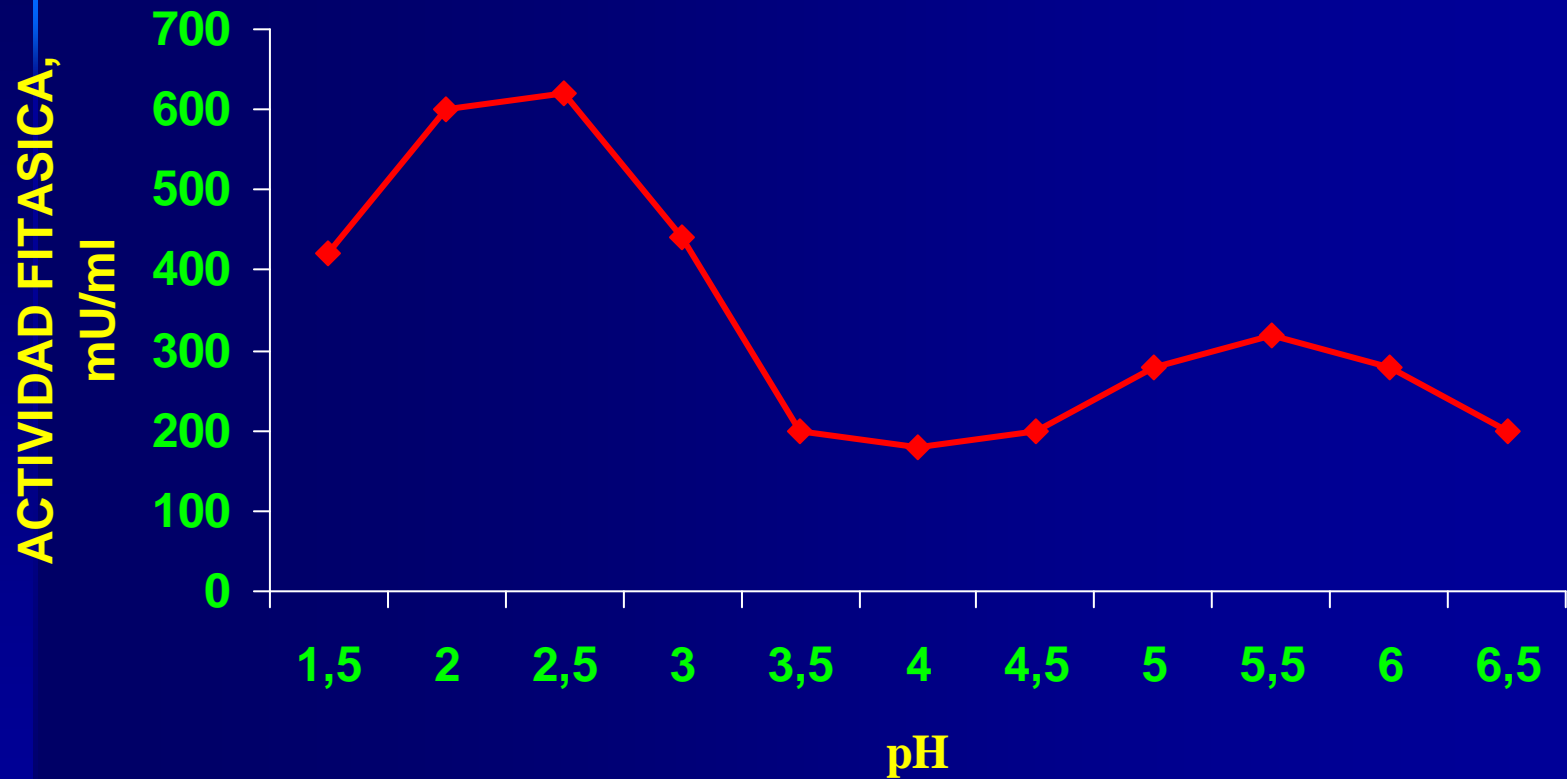
3-FITASA (EC 3.1.3.8)

CARACTERISTICAS BIOQUIMICAS DE FITASAS MICROBIANAS

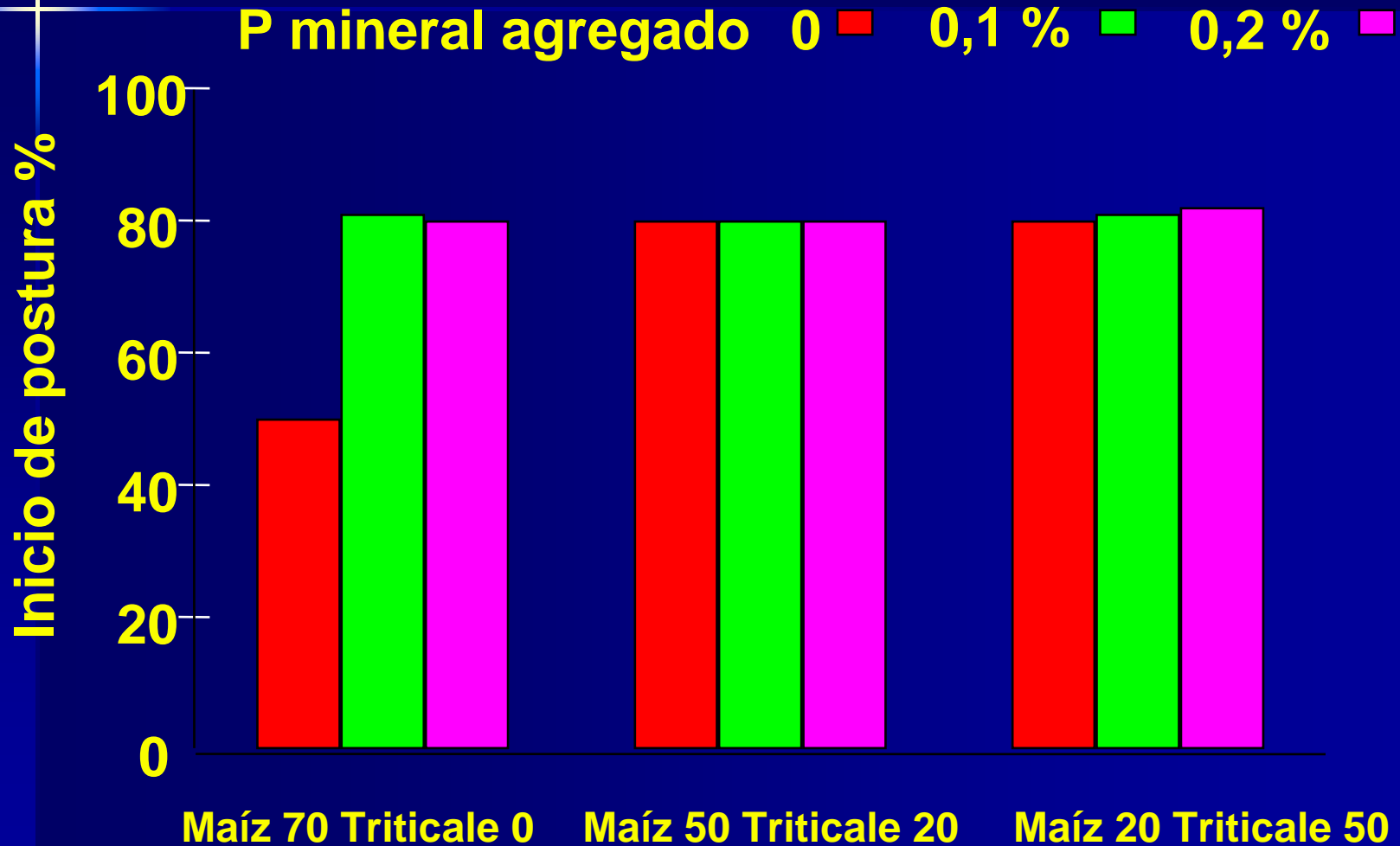
HONGO	pH	°C OPTIMO	PM kDa	Km Mx10 ⁻⁴
Aspergillus niger (ficuum) ^{1,2}	2.5			0.25
	5.3			
	2.2	58	85	0.4
	5.5			0.13
Aspergillus terreus ³	4.5	70	220	
Aspergillus Flavipes ⁴	4-5	38		6.3

1: Irving y Cosgrove, 1974; 2: Ullah y Gibson, 1987; 3: Yamada et al., 1968; 4: Youssef et al., 1987

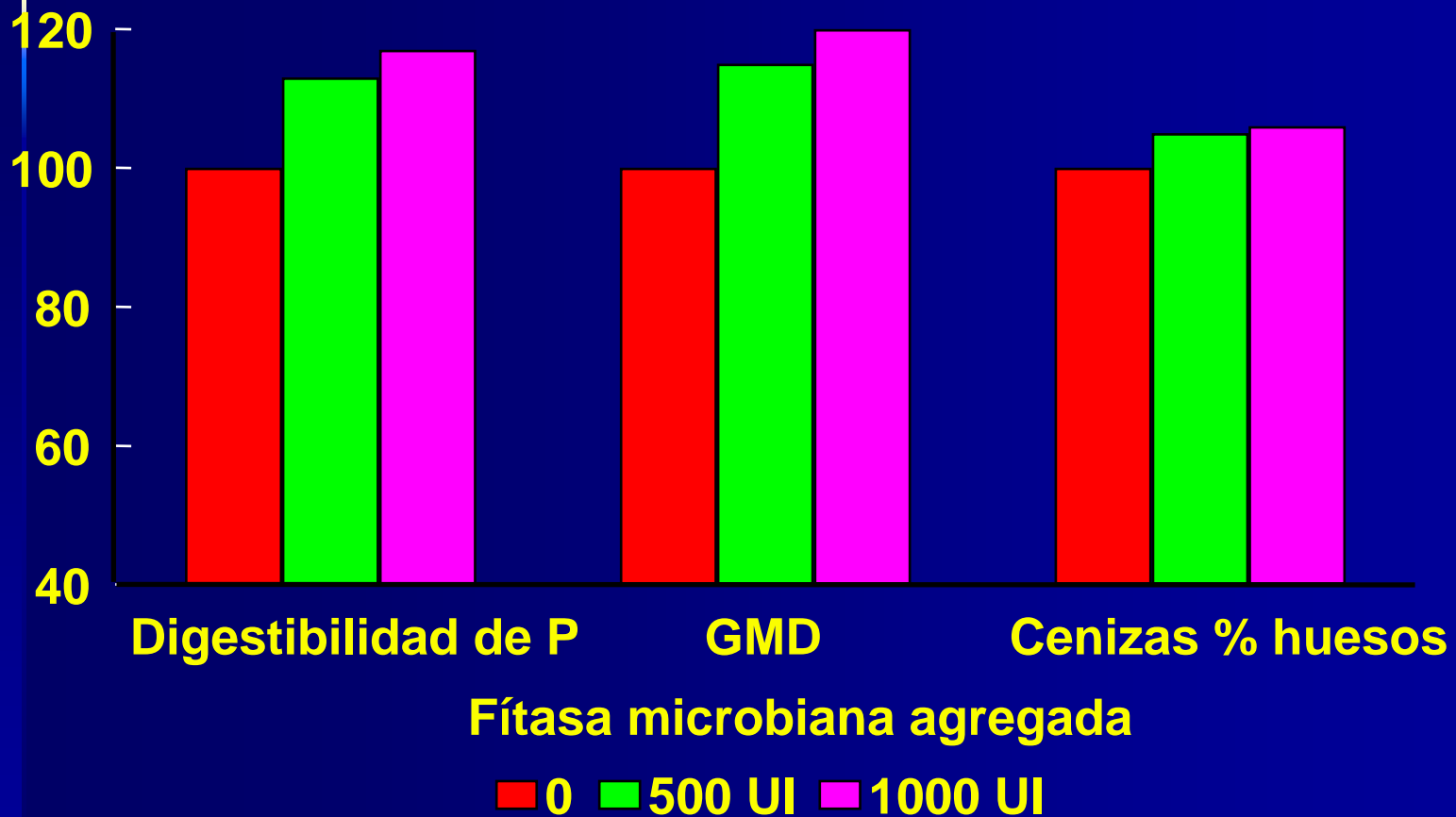
ACTIVIDAD FITASICA MICROBIANA A DIFERENTES pH



Combinación de cereales con diferente actividad fitásica en gallinas ponedoras



Adición de fítasa microbiana a la dieta de cerdos en crecimiento



Peso, consumo y conversión alimenticia en aves suplementadas con fitasas en la dieta

Fósforo total (%)	Fitasas (U/kg)	Peso (g/ave)	Consumo (g/ave)	Conversión alimenticia
	0	1104^b	1370^a	1.24^a
0.45	300	1137^b	1520^a	1.34^a
	400	1232^a	1611^a	1.31^a
	500	1222^a	1556^a	1.28^a
Promedio		1174^A	1514^C	1.29^B
	0	1289^a	1766^a	1.34^a
0.55	300	1329^a	1749^a	1.36^a
	400	1335^a	1744^a	1.32^a
	500	1346^a	1812^a	1.35^a
Promedio		1325^B	1768^B	1.34^{AB}

Cenizas en hueso y retención neta (RNA) de P en aves suplementadas con fitasas en la dieta

Fósforo total (%)	Fitasas (U/kg)	Cenizas %	RNA¹ %
	0	37.2^c	58^b
0.45	300	38.8^b	57^b
	400	38.5^{cb}	63^a
	500	40.1^a	65^a
Promedio		38.6^C	61^C
	0	41.8^b	57^b
0.55	300	41.2^c	61^b
	400	42.0^{ab}	70^a
	500	42.3^a	72^a
Promedio		41.8^B	65^B

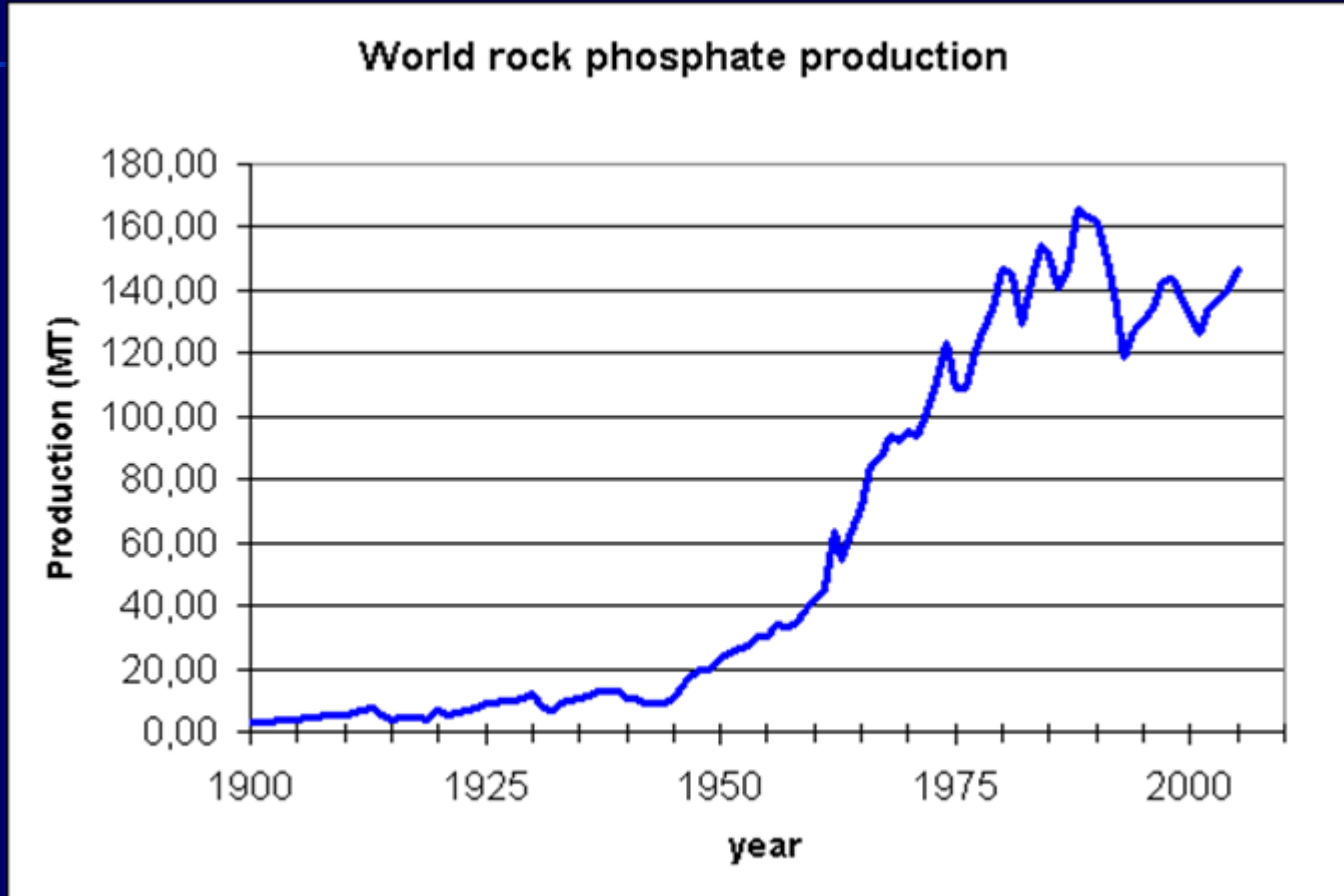
RESERVAS NATURALES DE FOSFATOS

**>75% rocas fosfóricas de origen marino
(sedimentario)**

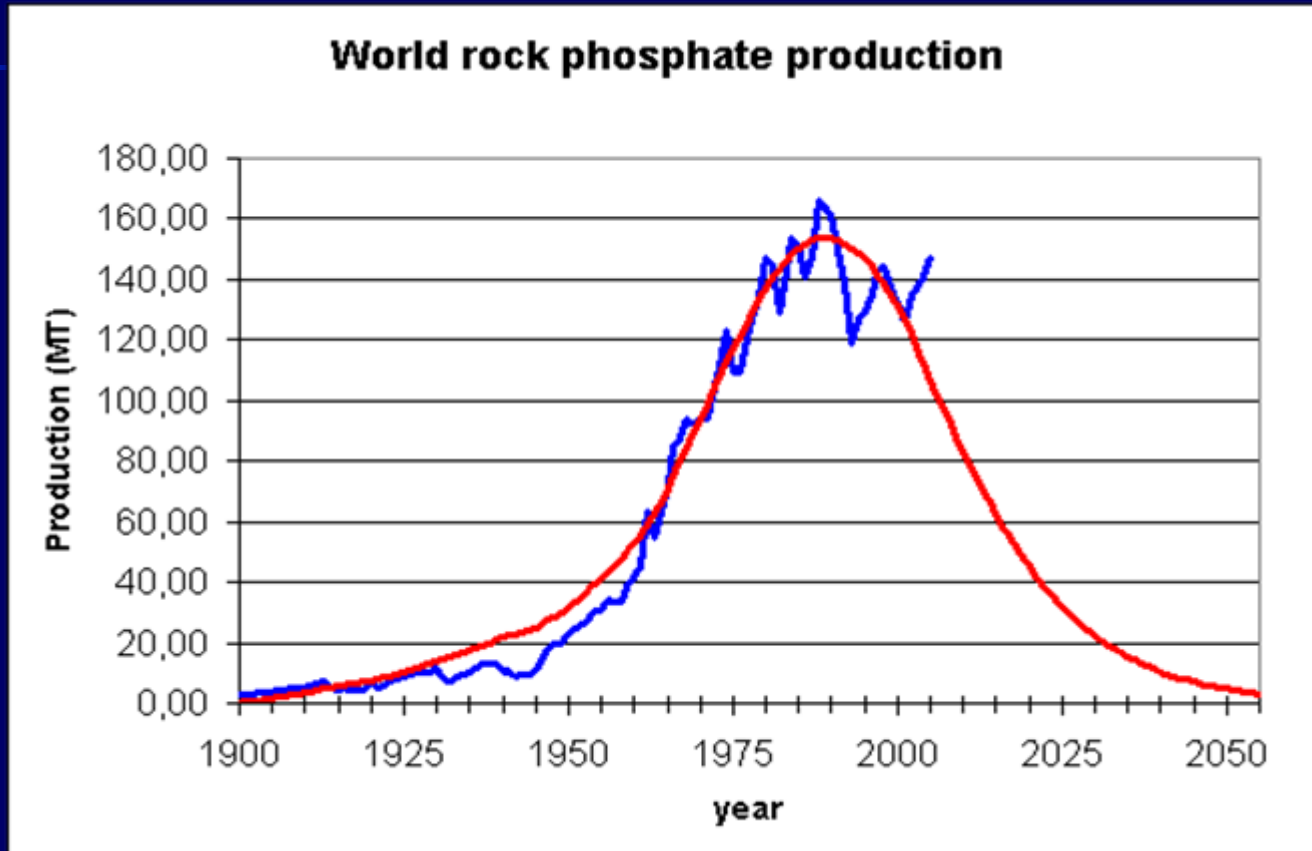
10-15% de procedencia ígnea

<10% depósitos de guano

Producción mundial de fosfatos años 1900 a 2000



Proyección de la producción mundial de roca fosfática al año 2050



Gumbo et al., 2002

Producción minera y reservas probadas de roca fosfórica en el mundo

País	Producción Mundial TM	%	Reservas probadas TM	%
África				
Marruecos y Sahara Occ.	22.000.000	13.8	21.440.000.000	63.5
Senegal	2.200.000	1.4	160.000.000	0.5
Sur África	3.200.000	2.0	2.530.000.000	7.5
Togo	2.300.000	1.4	60.000.000	0.2
Tunisia	6.600.000	4.1	270.000.000	0.8
Norte y Sur América				
EUA	47.000.000	29.4	4.440.000.000	3.1
Venezuela			2.600.000.000	2.0
Asia				
China	18.000.000	11.3	210.000.000	0.7
Israel	3.500.000	2.2	10.000.000	0.1
Jordania	6.000.000	3.8	480.000.000	1.4
Otros	49.000.000	30.7	4.190.000	12.4
Total	160.000.000	100		

Producción mundial de roca fosfórica (Año 2004)

País	Producción Mundial TM	%
Estados Unidos	35.900.000	26
China	24.840.000	18
Marruecos y Sahara Occidental	23.500.000	17
Rusia	11.040.000	8
Tunez	8.280.000	6
Jordania	6.900.000	5
Brasil	5.520.000	4
Israel	2.760.000	2
Otros	19.320.000	14
Total	138.000.000	100

FOSFATOS INORGANICOS

- **>80% Industria de Fertilizantes**
- **10% Alimento para animales**
- **< 10% Detergentes y otros fines**

Procesamiento de las rocas fosfáticas crudas (RFC) para la producción de fosfatos para consumo animal

Incineración

RFC + Silica Pebble + Incineración --> Elemental P

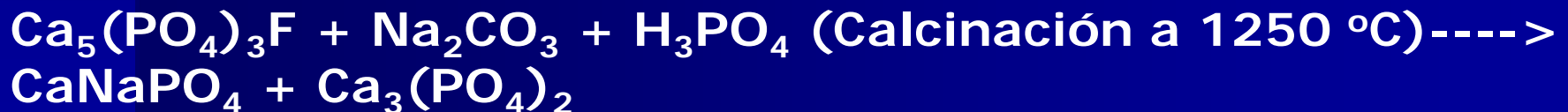


Proceso húmedo

RFC + H₂SO₄ -----> H₃PO₄ + Gypsum

H₃PO₄ + CaCO₃ ---> Fosfato Dicálcico + Monocálcico

Producción de fosfato defluorinado



Fórmula molecular de los fosfatos más comúnmente producidos

Fosfatos	Fórmula
Ácido fosfórico o ácido ortofosfórico	H_3PO_4
Fosfato monocálcico	$Ca(H_2PO_4)_2$
Fosfato dicálcico anhidro	$CaHPO_2$
Fosfato dicálcico dihidratado	$CaHPO_4 \cdot 2H_2O$
Fosfato mono-dicálcico grado alimenticio	Combinación
Fosfato magnesio Dibásico trihidratado	$MgHPO_4 \cdot 3H_2O$
Fosfato de monosódico	NaH_2PO_4
Fosfato disódico	Na_2HPO_4
Polifosfatos de sodio	
-Pirofosfato de sodio	$Na_4P_2O_7$
-Tripolifosfato de sodio	$Na_5P_3O_{10}$
-Hexametáfosfato de sodio	$(NaPO_3)_n$ n=10-15

Fuentes de fosfatos alimenticios inorgánicos más comunes

Producto	P %	Ca %
Fosfato Monosódico	25	0
Fosfatos de calcio		
MCP-monohidratado	22	16
MCP-anhidro	25	17
MDCP-hidratado	21	18
DCP-dihidratado	18	20
DCP-anhidro	20	28
TCP-(anhidro)	18	32
DFP Roca defluorinada	18.5	34

Contenido (%) de calcio, fósforo y flúor de fosfatos para aves comercializados en el país

Fuente	Calcio	Fósforo	Flúor
DICAL	29.0	22.7	0
MONODI A	21.0	18.5	0.11
MONODI B	17.0	21.0	0.12
MONODI C	22.0	20.5	0.12
TRICAL	31.5	18.3	0.02

Análisis en laboratorio (n = 10 muestras de cada una)

Godoy y Chicco, 1998

**EVALUACIONES DE
BIODISPONIBILIDAD DE FUENTES
DE FÓSFORO**

Biodisponibilidad del fósforo

La proporción en que un nutriente absorbido es utilizado en los procesos metabólicos o almacenado en los tejidos del animal.

Valores relativos a una fuente de referencia (100%).

Digestibilidad del fósforo

La proporción que un nutriente ingerido es absorbido o retenido en el organismo.

Métodos de balance: digestibilidad, absorción aparente y verdadera, retención aparente y verdadera, eficiencia de utilización.

Valores absolutos 0-100% o relativos a una fuente de referencia (100%).

BIODISPONIBILIDAD RELATIVA DEL P¹ (%)

FUENTES INORGANICAS

Fosfato Monosódico	100 ²
Fosfato Monocalcico	93 – 98
Fosfato Bicálcico Hidratado	92 – 101
Fosfato Tricálcico Anhidro	86
Fosfato Tricálcico Desfluorinado	95 – 96
Fofato Triple Na – Ca – Mg	96
Harina Hueso	90
Fosfatos de Yacimientos	20 – 50
Fosfatos Aluminio – Ferro – Cálcico	15

¹ Aves (Criterio: Cenizas (%) hueso)

² Fosfato de Referencia

Gillis *et al.*, 1954;
Gueguen, 1961

Biodisponibilidad en Suplementos de Fosfatos Inorgánicos

Compuesto	Valor biológico % (Sullivan y Douglas, 1990)
Fosfato β- tricálcico (Estandar)	100
Químicos grado reactivo	
Fosfato monocálcico	125 – 130
Fosfato Mono-disódico	115 - 125
Ácido fosfórico	115 - 125
Fosfato dicálcico	95 - 100
Fósforo Fitico	2 – 10
Fosfatos Grado Alimenticio	
Ácido fosfórico	115 – 125
Fosfato Mono-diamónico	115 - 125
Fosfatos dicálcico–monocálcicos	105 - 115
Fosfatos de Roca Defluorinada	95 - 100
Tripolifosfato de sodio	95 - 102
Harina de huesos	90 - 100
Fosfato roca bajo en flúor	55 - 75
Fosfato de roca blanda	25 - 35

Biodisponibilidad relativa (BR, %) de fosfatos comercializados en el país

Fuente	Peso g	Cenizas %	Cenizas mg cm ⁻³	Promedio	BR
DICAL	100	100	100	100	100
MONODI A	103.5	99.3	95.6	100	94.9
MONODI B	99.3	105	102.7	101	100
MONODI C	98.6	99.6	93.4	98.2	111
TRICAL	96.5	96.4	94.5	96.6	89.3

Pollos de engorde (4ta semana)

BR: Prueba de proporción de la pendiente

Godoy y Chicco, 1998

Comparación de Biodisponibilidad en Suplementos de Fósforos Inorgánicos

Compuesto	Digestibilidad
Fosfato Monosódico dihidrogenado	88.8 ²
Fosfato Monosódico	91 ³
Fosfato monocálcico monohidratado	69.4-80-85 ³
Fosfato mono-dicálcico	72.1- 74.5-79 ³ -91.7 ²
Fosfatos dicálcico -monocálcicos	76.0 ²
Fosfatos de Roca Defluorinada	68.1-83.5 ²
Fosfato dicálcico (dihidratado)	78-79.3 ^{2,3}
Fosfato dicálcico (anhidro)	55 ³
Fosfato de Calcio sodio	60 ³ -72.9 - 73.3
Harina de huesos	64.3-70 ³

¹Beers *et al* (1993); ²van Niekerk & v.d.Klis (1996); ³van der Klis y Blok (1997)

En Venezuela las reservas de fosfatos sedimentarios se estiman en 2.600 millones de tm.

Evaluaciones químicas y biológicas de los fosfatos sedimentarios nacionales en la alimentación animal.



Composición química de rocas fosfáticas venezolanas

Fuente	Ca	P	F	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn	Co
	%					ppm			
DICAL	29.0	22.7	-	-	-	-	-	-	-
LIZA	25.9	12.3	1.2	0.14	2.86	20	310	671	14
RIO	24.6	11.1	1.2	0.08	0.92	22	100	797	10
CHIGUA	29.4	10.7	2.8	0.86	0.04	15	102	113	19
JAJI	20.0	10.5	2.4	2.38	2.73	8	393	96	11
MONTE	34.4	11.0	2.5	0.12	0.37	19	39	449	15
NAVAY	24.3	10.5	2.5	0.06	0.53	7	60	90	9

Análisis en laboratorio (n = 10 muestras de cada una)

RELACION P:F DE FOSFATOS NACIONALES

FUENTE	P	F	P:F
MCP	22.8	0.1	>100
RIO	11.1	1.2	9.3
LIZA	12.3	1.2	10.3
CHIGUA	10.7	2.8	3.8
JAJI	10.5	1.3	8.1
MONTE	11.0	2.5	4.4
NAVAY	10.5	2.5	4.2

Disponibilidad biológica (%) del P de fosfatos nacionales en pollos de engorde

Variable	RIO	LIZA	CHIGUA	JAJI	MONTE	NAVAY
Peso, g	66.7	74.3	69.3	56.8	54.6	57.2
Cenizas, %	78.8	70.7	54.5	32.2	73.6	62.8
Retención Neta, %	80.7	78.6	80.2	57.8	81.2	67.2
Eficiencia (EU), %	66.6	76.4	54.8	59.9	56.2	62.1
Promedio	73.2	75.0	64.7	51.7	66.6	62.3

1 Los valores se expresan como % de la disponibilidad del DICAL (100)

FOSFATOS SEDIMENTARIOS EN AVES DE POSTURA

Peso y consumo de aves de postura alimentadas con fosfatos sedimentarios

Edad, Semana	DICAL	D/R	D/M	D/N	RIO	MONTE	NAVAY
	Peso, g/ave						
20	1902 ^a	1779 ^b	1752 ^b	1789 ^b	1768 ^b	1776 ^b	1612 ^c
42	2444 ^a	2025 ^b	1781 ^c	1898 ^{bc}	1951 ^b	1810 ^c	1785 ^c
	Consumo, g/ave/día						
20	119	112	116	111	110	109	105
42	117	106	96	99	110	93	95

D/R: DICAL Prepostura/RIO Postura; D/M: DICAL Prepostura/MONTE Postura; D/N: DICAL Prepostura/NAVAY Postura. Sesenta aves/tratamiento (peso, consumo); Cuatro aves/tratamiento (hueso) a, b, c.. Promedios con letras distintas en la misma fila difieren entre sí (P<0.05)

Mineralización ósea de aves de postura alimentadas con fosfatos sedimentarios

Edad, Semana	DICAL	D/R	D/M	D/N	RIO	MONTE	NAVAY
	Cenizas, mg/cc						
30	332	331	327	324	347	343	344
42	347 ^{ab}	322 ^b	323 ^b	319 ^b	322 ^{ab}	345 ^a	353 ^a
	Flúor, ppm						
30	1100 ^a	3000 ^b	4575 ^d	1975 ^a	3650 ^c	9500 ^e	9175 ^e
42	1320 ^a	4380 ^b	6800 ^c	6300 ^c	7380 ^c	11040 ^d	10080 ^d

D/R: DICAL Prepostura/RIO Postura; D/M: DICAL Prepostura/MONTE Postura; D/N: DICAL Prepostura/NAVAY Postura. Sesenta aves/tratamiento (peso, consumo); Cuatro aves/tratamiento (hueso) a, b, c.. Promedios con letras distintas en la misma fila difieren entre sí (P<0.05)

Comportamiento productivo de ponedoras (20 a 42 semanas de edad) alimentadas con fosfatos de yacimientos

Medida ¹	DICAL	D/R	D/M	D/N	RIO	MONTE	NAVAY
Intensidad,% ¹	72.7 ^a	68.3 ^b	62.2 ^c	67.9 ^b	66.6 ^b	58.4 ^d	53.0 ^d
Edad 50%	22.5 ^a	23.3 ^b	24.0 ^c	23.0 ^b	24.0 ^c	25.0 ^d	25.0 ^d
Conversión ²	1.84 ^a	2.53 ^b	2.45 ^b	2.42 ^b	2.57 ^b	2.71 ^b	2.97 ^b

D/R: DICAL Prepostura/RIO Postura; D/M: DICAL Prepostura/MONTE Postura; D/N: DICAL Prepostura/NAVAY Postura. Sesenta aves/tratamiento

¹Intensidad,%=(postura por semana/7 días x 10 aves) x 100

²Conversión: kg alimento/docena de huevos

a, b, c... Promedios con letras distintas en la misma fila son diferentes entre sí (P<0.05)

FOSFATOS SEDIMENTARIOS VENEZOLANOS EN DIETAS PARA AVES AJUSTADOS SEGÚN SU BIODISPONIBILIDAD (%)

RIO	MONTE	NAVAY
73.2	66.6	62.3

Peso, consumo y conversión alimenticia de aves (4ta semana y 6ta semana) alimentadas con fosfatos sedimentarios ajustados por su biodisponibilidad

Edad, 4ta S	DICAL	RIO	MONTE	NAVAY
Peso, g	1084 ^a	1119 ^a	1085 ^a	926 ^b
Consumo, g	1701 ^a	1732 ^a	1729 ^a	1568 ^b
Conversión	1.76	1.64	1.59	1.81
Edad, 6ta S				
Peso, g	2052 ^a	2063 ^a	1944 ^b	1701 ^c
Consumo, g	3543 ^b	3630 ^a	3530 ^b	3302 ^c
Conversión	1.73	1.76	1.82	1.94

1 Cuarenta aves/tratamiento

a, b Promedios con letras distintas en la misma fila son diferentes entre sí (P<0,05)

Características del tejido óseo de aves alimentadas con fosfatos sedimentarios ajustados a la biodisponibilidad del fósforo

Medidas	DICAL	RIO	MONTE	NAVAY
Cenizas, %	44.6 ^a	44.2 ^a	43.0 ^b	42.9 ^b
Cenizas, mg/cc	217.2 ^a	215.2 ^a	199.1 ^b	197.6 ^b
Fósforo, %	18.93	18.61	18.05	19.64
Fósforo, mg/cc	42.19 ^a	40.22 ^b	35.87 ^c	38.64 ^c
Flúor, ppm	1145 ^a	6000 ^b	8333 ^c	14925 ^d

Cuatro aves/tratamiento (6ta semana de edad).

a, b, c, d Promedios con letras distintas en la misma fila son diferentes significativamente (P<0,05)

FOSFATOS NITROGENADOS

Urea Fosfato (UP)

Fosfato Diamónico (FDA)

Potencial de la UP para la alimentación animal

Existencia en el mercado nacional



Acido
Fosfórico

Urea

Urea-Fosfato

Empresa:  TRIPOLIVEN filial de PEQUIVEN

Capacidad operativa: 20.000 TM/año

Producción estimada 2006: 9.689 TM UP

Composición de la UP

COMPOSICIÓN	¹ /%	² /%	³ /%
Nitrógeno (N)	17-18	17	17,5
Fósforo (P)	18-19	19	
Fluor (F)	<200 ppm	Max 0,02	0,05
Relación P/F	>100		
P ₂ O ₅	42		44,5
NH ₃ -N			0,03
Biuret			0,15
SO ₄			0,15
Al			0,015
Ca			0,003
As			0,0009
H ₂ O		Max 1	0,1

Fuente: ¹/PEQUIVEN, 1998; ²/Fertilizers and chemicals Ltd, 1978; ³/Sarkkine, 1977

UP en el alimento en dietas para aves

1/Pollos 6ta S	Testigo comercial	UP 1,3%	2/Pollos 4ta S	DCP	UP
Consumo (g/ave/día)	85,2	84,4	Consumo, g/ave	1379	1427
GDP (g/ave/día)	42,5	42,3	Peso, g/ave	924	916
Conversión Aliménica	2,00	2,00	Conversión Alimenticia	1,49	1,57
Cenizas, %	55	54	Cenizas, %	43,4 ^a	42 ^b
			Retención P, %	68,1	66

1/Sarkkinen, 1977; 2/Godoy *et al.*, 1995

Composición química (%) de los fosfatos nitrogenados evaluados

Fosfato	P	Ca	N	F
DICAL	22.7	29	-	-
UF	20.0	-	17	0.19
FDA	22.0	-	17	1.67

DICAL: fosfato dicálcico; UF: urea fosfato; FDA: fosfato diamónico

Biodisponibilidad relativa (%) según peso, cenizas y retención neta de P

Fuentes	Peso g	Cenizas %	Retención neta, %	Promedio BR, %
DICAL	100	100	100	100
DICAL-U	94.5	96.6	94.6	95.2
UF	94.6	96.9	91.7	94.4
FDA	85.3	98.5	73.6	85.8

DICAL: fosfato dicálcico; DICAL-U: fosfato dicálcico+urea; UF: urea fosfato; FDA: fosfato diamónico

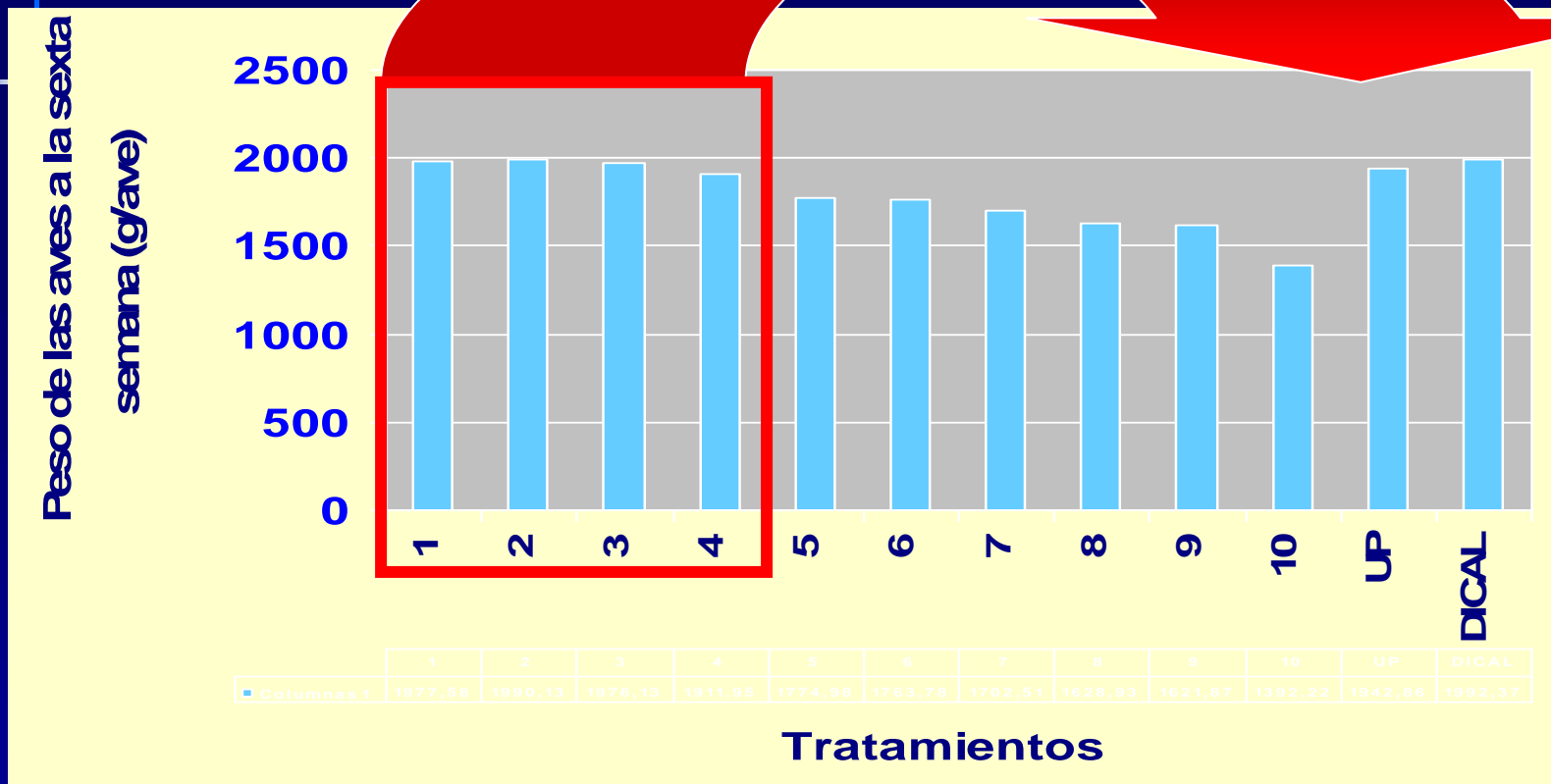
Cenizas y flúor en tibias de pollos (4ta S) alimentados con diferentes fuentes de fósforo

Parámetro	Fuentes de fósforo				
	Nivel	DICAL	DICAL-U	UF	FDA
Cenizas, %	0,1	33,89	36,66	34,54	39,31
	0,2	38,36	41,66	40,54	41,75
	0,3	43,35 ^a	42,03 ^b	42,01 ^b	42,69 ^b
Promedio		38,53	40,12	39,03	41,25
Cenizas, mg cm ⁻³	0,1	0,133	0,152	0,166	0,184
	0,2	0,159	0,212	0,182	0,198
	0,3	0,207	0,204	0,217	0,207
Promedio		0,166	0,190	0,188	0,196
Flúor, ppm	0,1	74,5	46,3	172,5	3600
	0,2	37,3	52,0	207,5	5800
	0,3	41,3	15,3	270,0	5850
Promedio		51,0 ^c	37,7 ^c	216,7 ^b	5083 ^a

a,b letras distintas dentro de una misma fila difiere estadísticamente (P<0,05)

UREA FOSFATO EN AGUA

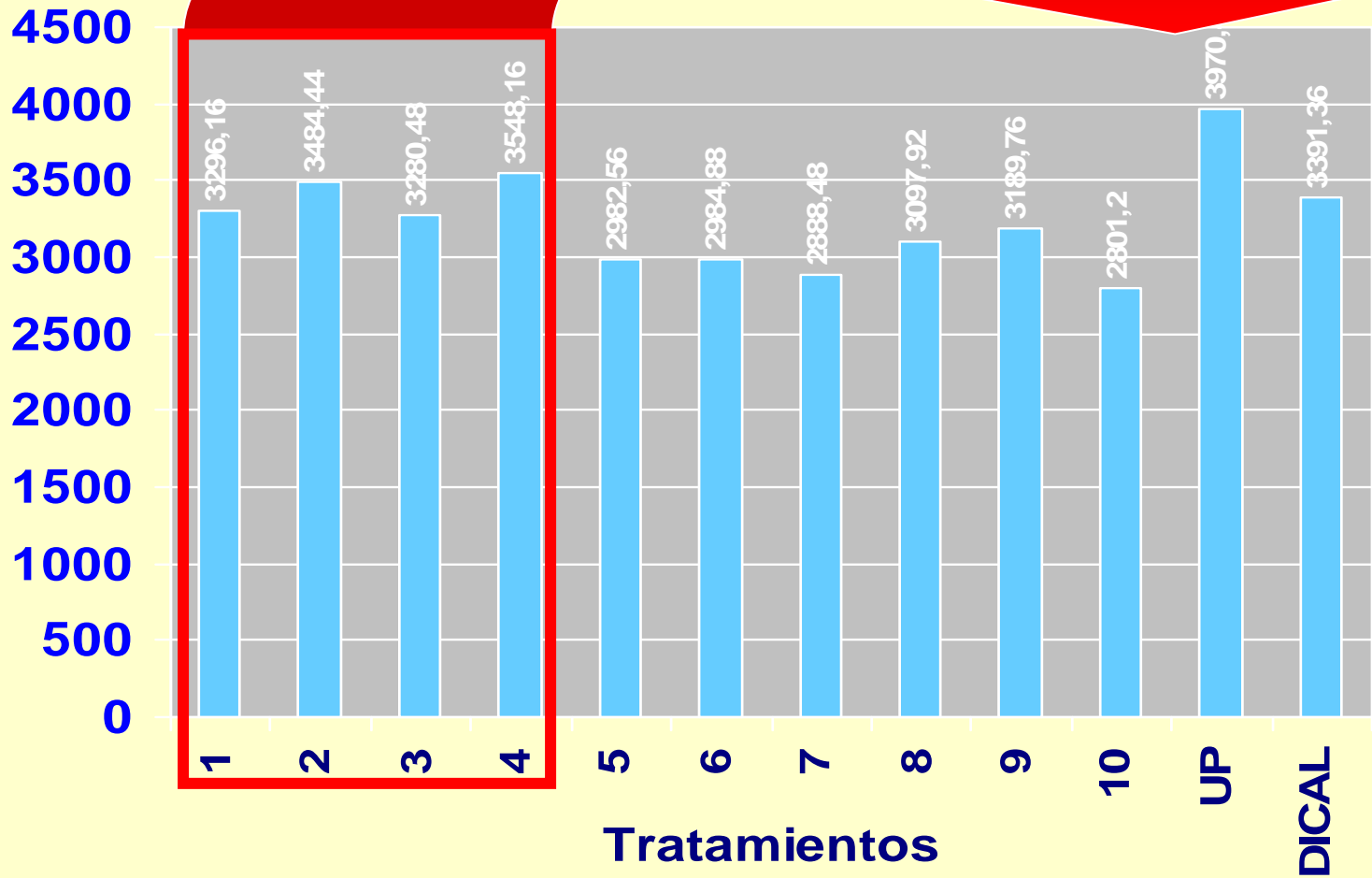
Peso de pollos suplementados con UP en el agua



DICAL	UP	1g	2g	3g	4g
1992,4	1942,9	1977,6	1990,1	1976,1	1912,0

Consumo de alimento de pollos suplementados con UP en el agua

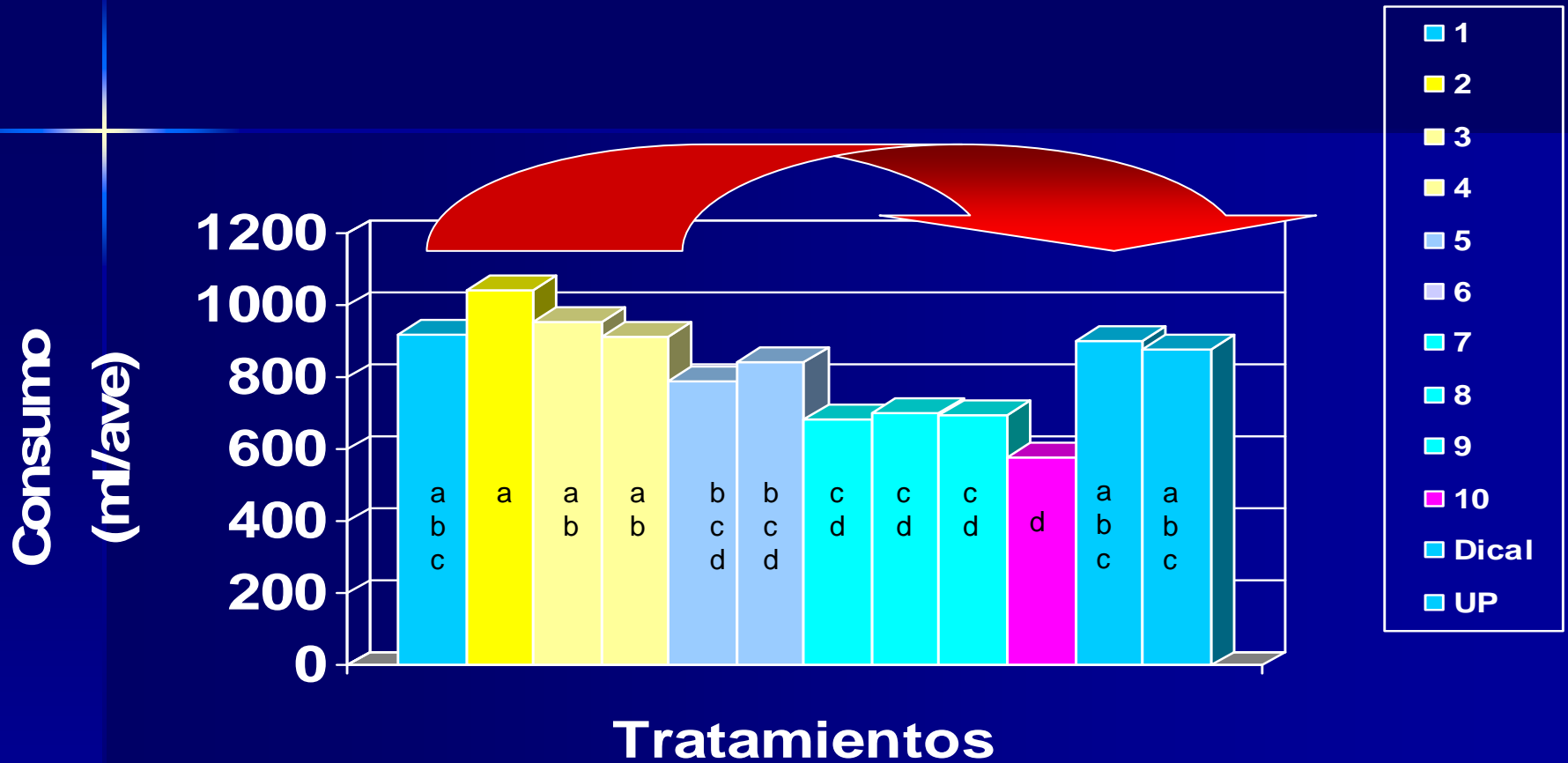
consumo alimento acumulado
(g/ave)



Conversión alimenticia de aves alimentadas con UP en el agua



Consumo de agua acumulado de aves alimentadas con UP



MINERALIZACIÓN ÓSEA EN POLLOS DE ENGORDE ALIMENTADOS CON UP

Tratamiento	Cenizas %	P %	P mg cm ⁻³
DICAL	43,1 ^{ab}	15,9	32,9 ^{ab}
UP	42,4 ^{ab}	17,0	36,1 ^a
1	42,3 ^{ab}	15,8	29,8 ^{ab}
2	43,3 ^{ab}	16,9	31,4 ^{ab}
3	44,1 ^a	16,3	30,4 ^{ab}
4	42,9 ^{ab}	15,9	29,6 ^{ab}

Retención Aparente de Fósforo y Nitrógeno (%) en aves alimentadas con UP

	Fósforo	Nitrógeno
Dical	50,30	70,43
UP	52,79	57,55
1	51,88	61,33
2	62,05	59,95
3	73,02	57,63
4	55,53	65,80

OTROS FOSFATOS ALTERNATIVOS POTENCIALES

- **Harina de carne y hueso calcinado (HCHC)**
 - **Harina de hueso calcinado (HHC)**
 - **Fosfato mono-disódico (FMDS)**
 - **Superfosfato triple (SFT)**

Contenido de calcio y fósforo de la harina de hueso calcinada (HHC), evaporada (HHE) y carne y hueso (HCHC).

Mineral	HHC	HHE	HCHC
Calcio, %	28,00	22,00	10,5
Fósforo, %	14,00	11,50	5,10

Basson, 2000

Digestibilidad del fósforo en subproductos animales

Fuentes	Aves¹
Fosfato monocálcico (Std)	80.0
Harina de hueso (7.2% P)	64.0
Harina de hueso (15.2% P)	70.0
Harina de Carne y Hueso	61.0
Harina de carne	62.0
Harina de Pescado (Chile)	75.0

¹vd Klis & Blok, 1997.

Biodisponibilidad del P de harina de carne y hueso (HCHC) y harina de hueso calcinado (HHC) en gallinas ponedoras

	DICAL	HCHC	HHC
Ca, %	21.5	15.5	33.1
P, %	18.3	6.0	17.2
RN, %	80.2	70.7	80.7
BR, %	85.1	90.2	92.7

Composición química de los fosfatos evaluados

Fuentes	Ca	P	F	Na
HHC	33.1	15.5	-	-
HCHC	16.1	10.9	-	-
SFT	15.8	19.3	2.8	-
FMDS	-	23.0	0.2	22.0
DICAL	27.1	19.2	-	-

HHC: harina de hueso calcinado; HCHC: harina de carne y hueso calcinado; SFT: superfosfato triple; FMDS: fosfato monodisódico; DICAL: fosfato dicálcico

Biodisponibilidad relativa (%) del fósforo en pollos de engorde alimentados con diferentes fuentes de fósforo¹.

Variable	HHC	HCHC	SFT	FMDS
Peso	97	66	108	93
Cenizas	97	-	107	-
Promedio	97	66	108	93

HHC: harina de hueso calcinado; HCHC: harina de carne y hueso calcinado; SFT: superfosfato triple; FMDS: fosfato monodisódico. ¹DICAL como testigo referencial (100%).

CONCLUSIONES

Existen varias opciones de fuentes de fósforo para la alimentación de aves:

- ❖ **Los fosfatos comerciales grado alimenticio independientemente de su procesamiento industrial son fuentes adecuadas de fósforo.**
- ❖ **Los fosfatos sedimentarios no procesados tienen restricciones por biodisponibilidad de P y contenido de F.**
- ❖ **Algunos de los anteriores (RIO, MONTE y NAVAY) pueden ser utilizados previo ajuste a su valor de biodisponibilidad y dependiendo del ciclo productivo del animal.**

CONCLUSIONES

- ❖ Los fosfatos nitrogenados no tienen restricciones en la alimentación de aves a excepción del fosfato diamónico (FDA) por su alto contenido de F (solo para ciclos productivos cortos).
- ❖ Otras fuentes de P potencialmente utilizables como los fosfatos calcinados de origen animal son opciones válidas de uso.
- ❖ Además de los fosfatos inorgánicos mayor atención requiere la optimización de las fitasas intrínsecas vegetales donde la biotecnología puede ser un valioso instrumento para mejorar la utilización de los fitatos.

CONCLUSIONES

❖ Los cuantiosos fosfatos sedimentarios que tiene el país pueden ser transformados en fuentes de P grado alimenticio, por lo que, su procesamiento industrial debe ser una prioridad para el estado venezolano.