

FUENTES DE FÓSFORO EN LA ALIMENTACIÓN DE CERDOS.

1. CRECIMIENTO Y MINERALIZACIÓN ÓSEA

Phosphorus Sources in Swine Feeding. 1. Growth and Bone Mineralization

Daggett Franseuie, Claudio F. Chicco, Susmira Godoy y Julio Garmendia

*Postgrado producción Animal. Facultades de Agronomía y Ciencias Veterinaria. Universidad Central de Venezuela.
Maracay, Venezuela. sgodoy@inia.gov.ve, sgodoy@telcel.net.ve*

RESUMEN

Para evaluar la biodisponibilidad de fuentes inorgánicas de fósforo de diferentes estructuras químicas, dos combinaciones de fosfatos monodivaleculares (MMD, 21% P y MD, 21% P), un trivalente (TRIC, 18% P) y un fosfato sedimentario de las minas de Riecito (RIO, 12% P), se utilizaron 320 lechones, con un peso inicial de 6,9 kg promedio, distribuidos aleatoriamente en cuatro tratamientos con cuatro réplicas de 20 animales cada una. Se utilizaron como criterios de respuesta: peso, consumo y mineralización del tejido óseo. La dieta basal (0,45% de P total) estaba constituida por maíz, sorgo, arroz, soya, galleta molida, sebo, vitaminas y minerales. Esta se suplementó con los fosfatos inorgánicos para cubrir los requerimientos (%) de P en las etapas iniciación (0,20), crecimiento (0,15) y desarrollo (0,10), con una duración total del experimento de 112 días. Se tomaron muestras de la cuarta vértebra coccígea, a cinco cerdos por réplica/tratamiento a las 4, 10, 15 y 20 semanas de edad y, de plasma sanguíneo a cuatro cerdos/tratamiento, al terminar la etapa de desarrollo. El peso final (kg/animal) y la ganancia de peso (g/día) fueron 69,49 y 559,88; 67,59 y 540,92; 64,95 y 519,07 y 64,43 y 511,04 para MMD, TRIC, MD, y RIO respectivamente. El consumo de alimento (kg/animal/día) guardó relación ($r = 0,98$; $P < 0,01$) con el peso de los animales, siendo de 1,296; 1,316; 1,272 y 1,240, para el mismo orden. La conversión alimenticia presentó valores de 2,44; 2,52; 2,46 y 2,48, para MMD, MD, TRIC y RIO, respectivamente. Ninguna de las variables evaluadas presentó diferencias ($P > 0,05$) entre fosfatos. El contenido de ceniza (% hueso seco desgrasado) en las vértebras coccígeas aumentó linealmente con la edad ($P < 0,05$), siendo MMD (52,01), MD (51,06) y TRIC (50,73) similares entre sí y superiores ($P < 0,05$) a RIO (49,08). Los valores de P en plasma (mg/100 ml) fueron de 5,88 para MMD, 5,74, TRIC, 5,48, MD y de 5,17, RIO, sin diferencias ($P > 0,05$) entre tratamientos, guardando relación ($P < 0,05$) con el peso ($r = 0,75$), ganancia de peso ($r = 0,76$) y

el consumo ($r = 0,83$). Mediante la prueba de la proporcionalidad de la pendiente de las variables de respuesta, los valores de biodisponibilidad (%) fueron de 91,24 para MD, 95,16, TRIC y 79,61, RIO con relación al MMD (100%). Se concluye que no hay diferencias entre los fosfatos desfluorinados y que el fosfato sedimentario RIO tiene una biodisponibilidad ligeramente más baja que los fosfatos de grado alimenticio y su incorporación parcial o total en la alimentación depende de la finalidad productora de los animales.

Palabras clave: Biodisponibilidad, fósforo, fosfatos, cerdos, mineralización ósea.

ABSTRACT

In order to evaluate the bio-availability of inorganic phosphorus sources of different chemical structures, two combinations of monocalcium phosphates (MMD, 21% P and MD, 21% P), one tricalcium phosphate (TRIC, 18% P) and one sedimentary phosphate (RIO, 12%), 320 pigs with 6.9 kg of initial body weight were assigned to the phosphate treatments with four replications of 20 animals each. The basal diet (0.45 total P) contained corn, sorghum, soybean, bakery byproducts, fat, minerals and vitamins. The diets were supplemented with inorganic phosphates at levels to satisfy P requirements (%), in initial growth (nursery) (0.20), normal growth (0.15) and development (0.10). The experiment lasted 112 days. Samples of the 4th coxal vertebra at 4, 10, 15 and 20 weeks of age were taken from five pigs and, blood samples at the end of each developmental period from four pigs. Average final body weight (kg/animal) and body weight gains (g/day) were 69.49 and 559.88, 67.59 and 540.92, 64.95 and 519.07, and 64.43 and 511.04, respectively for MMD, TRIC, MD and RIO. Daily feed intake (kg/animal/day) was related ($r = 0.98$; $P < 0.01$) to animal body weights, being 1.296, 1.316, 1.272 and 1.240 for the same phosphorus sources. Feed conversion was 2.44; 2.52; 2.46 and 2.48, respectively for MMD, MD, TRIC and RIO. None of the response criteria were different ($P > 0.05$) among

phosphates. Coxal vertebra ash (% dry defatted bone) increased linearly with age ($P < 0.05$), MMD (52.01), MD (51.06) and TRIC (50.73) and was similar among them but higher than RIO (49.08). Plasma P values (mg/100 ml) were 5.88, 5.74, 5.48 and 5.17 for MMD, TRIC, MD and RIO, respectively, with no significant difference among treatments ($P > 0.05$), but correlated ($P < 0.05$) with body weight ($r = 0.75$), daily gain ($r = 0.76$) and feed intake ($r = 0.83$). Bioavailability for production parameters and bone mineralization was estimated using the slope ratio method, with values (%) of 91.24, 95.16 and 79.61 respectively for MD, TRIC, and RIO in relation to MMD as reference control (100%). The conclusion is that there is no difference between the defluorinated phosphates, and that RIO sedimentary phosphate has a lower bioavailability and can be used totally or partially according to production goals in the animals.

Key words: Bioavailability, phosphorus, phosphates in swine, bone mineralization.

INTRODUCCIÓN

Los granos y subproductos de cereales y leguminosas, utilizados en la formulación de raciones para aves y cerdos, a pesar de tener niveles elevados de fósforo, este elemento es sobremente utilizado, debido a que más del 70% del fósforo total se encuentra como fitatos (sales del ácido mioinositol hexafosfórico). Las sales de ácido fítico son compuestos insolubles unidos a proteínas y más fuertemente a cationes como calcio, magnesio y potasio. La disponibilidad del fósforo fítico para estas especies es prácticamente nula, debido a la escasa actividad de las fitasas digestivas del animal.

Consecuentemente, en la alimentación de los cerdos es indispensable la suplementación con fuentes inorgánicas de fósforo, a fin de satisfacer los requerimientos del animal. Estas fuentes tienen diferentes grados de utilización, por lo que, el nivel de inclusión del fósforo inorgánico en las dietas depende de la biodisponibilidad del elemento de los diferentes fosfatos.

Los valores de biodisponibilidad de las fuentes de fósforo han sido determinados principalmente a través de experimentos con aves. Estos resultados han sido extrapolados a otras especies. Así, en rumiantes y cerdos en general, estas fuentes se clasifican en el mismo orden que indican las pruebas con aves. Sin embargo, aparentemente hay diferencias en la biodisponibilidad entre cerdos y aves [25].

Actualmente en Venezuela, además de los fosfatos de yacimientos de los estados Falcón y Táchira, de los cuales se comercializan unas 15-20 mil Tm/año, se disponen de fosfatos de grado alimenticio para uso animal provenientes de importación directa o de sus ingredientes fundamentales (ácido fosfórico), que son comúnmente utilizados en la alimentación animal. Entre estos, se destacan los fosfatos tricálcicos y diferentes combinaciones de fosfatos mono- y dicálcicos [17].

El presente trabajo tiene como objeto, evaluar, la biodisponibilidad del fósforo de fuentes inorgánicas de diferentes estructuras químicas en la alimentación de cerdos, mediante pruebas de crecimiento y mineralización del tejido óseo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para evaluar cuatro fuentes comerciales de fósforo inorgánico: dos fosfatos con diferentes proporciones de mono y dicálcico (MD: 66,6% monocalcico y 33,3% dicálcico y MMD: 75% y 25% de monocalcico monohidratado y dicálcico hidratado respectivamente), un fosfato tricálcico (TRIC) y un fosfato sedimentario (Riecito-RIO-), se midieron en una granja comercial los índices productivos y la mineralización del tejido óseo de cerdos en crecimiento.

Se utilizaron 320 lechones mestizos (160 hembras y 160 capones) provenientes de una F_1 de los cruces de la línea materna Yorkshire x Landrace y la paterna Duroc x Hampshire, para los estudios de biodisponibilidad del fósforo, en las etapas de iniciación, crecimiento y desarrollo (4-6; 7-13; y 14-20 semanas, respectivamente), con una duración total de 112 días. El peso inicial de los lechones fue de 6,9 kg de peso vivo promedio, destetados a los 21 días y, distribuidos, según un diseño completamente aleatorizado en 16 grupos de 20 animales cada uno (10 hembras y 10 capones), asignando cuatro grupos de 20 animales a cada fuente de fósforo inorgánico.

Para la elaboración de las dietas (TABLA I) se emplearon ingredientes que se utilizan comúnmente en las explotaciones porcinas comerciales del país. La dieta basal tenía 0,45% de P total y se suplementó con el fósforo inorgánico necesario para cubrir los requerimientos de las diversas etapas fisiológicas, según las recomendaciones de la National Research Council [22]: iniciación (0,20% P), crecimiento (0,15% P) y desarrollo (0,10% P). Las fuentes inorgánicas procedieron de tres fosfatos comerciales: MD, MMD, TRIC y el fosfato sedimentario de Riecito (RIO), con 21,18 y 0,28%; 21,18 y 0,21%; 18,31 y 0,024%, y 12, 25 y 1,2%, de P y F, respectivamente. Las dietas experimentales fueron, para iniciación, crecimiento y desarrollo, isoproteicas (20, 18 y 16% PC), isocalcicas (0,90; 0,90 y 0,85% Ca), isofosfóricas (0,65; 0,60 y 0,55% P total) e isoenergéticas (3200 kcal EME/kg).

Se llevaron registros de peso corporal semanalmente en forma individual (fase iniciación) y por grupo para las demás fases. El consumo de alimento se midió cada 7 días por grupo de 20 animales, por diferencia entre el ofrecido y el retirado de los comederos. Se calculó la conversión de alimento semanalmente, relacionando los kilogramos de alimento consumido y los kilogramos de ganancia de peso.

Además, se tomaron muestras de la cuarta vértebra coccígea a cinco cerdos de cada réplica por tratamiento a las 4, 10, 15 y 20 semanas de edad. En el tejido óseo se determinó peso húmedo y seco a 105°C durante 48 horas y peso seco desgrasado

TABLA I
COMPOSICIÓN DE DIETAS PARA LA EVALUACIÓN DE FOSFATOS EN LA ALIMENTACIÓN DE CERDOS

Ingredientes, %	Iniciación	Crecimiento	Desarrollo
Maíz	0,00	23,20 – 24,10	14,90-15,40
Sorgo	0,00	0,00	15,00
Arroz	30,00	0,00	0,00
Soya 48	32,75 – 33,75	27,00 – 27,65	16,90 – 17,25
Galleta Molida	5,25 – 9,95	20,00	20,00
Sebo	2,05 – 3,90	2,40 – 2,70	4,00
Melaza	2,50	2,50	2,50
Lactosa	8,00	0,00	0,00
Suero de Leche	10,00	0,00	0,00
Harina de Arroz	0,00	10,00	10,00
Afrecho de Trigo	0,00	10,00	12,10 – 13,30
Bentonita	1,94	0,00	0,00
Carbonato de Calcio	0,19-1,53	0,89 – 1,59	1,11 – 1,71
Vitaminas y Minerales ¹	1,50	0,50	0,50
Sal	0,40 (0,18)	0,30 (0,12)	0,30 (0,10)
Lisina	0,34-0,35	0,36	0,27
Metionina	0,37-0,38	0,16	0,12
MMD ²	1,05	1,05	0,85
MD ³	1,05	1,05	0,85
TRIC ⁴	1,30	1,25	1,00
RIO ⁵	1,86	1,70	1,40
Proteína cruda ⁶ ,%	20,00	18,00	16,00
Lisina,%	1,50	1,30	0,95
Metionina+Cistina,%	1,00	0,75	0,60
EME ⁷ , kcal/kg	3200	3200	3200
Ca, %	0,90	0,90	0,85
P total, %	0,65	0,60	0,55

¹ Vitaminas y minerales (como% de la dieta): Vitaminas: A:1500 UI; D:150 UI, E:11UI ; K:0,5 mg; colina: 0,30 g; ácido fólico:0,3 mg; niacina: 10 mg; ácido pantoténico: 8 mg; riboflavina: 2,5 mg; tiamina: 1 mg; B₆: 1 mg; B₁₂: 10ug. Minerales: Na: 0,10%; Cl: 0,08%; Mg: 0,04%; K: 0,23%; Cu: 4 mg; I: 0,14mg; Fe:6 mg (iniciación y crecimiento) y 40 mg (desarrollo), Mn: 2 mg; Se: 0,15 mg; Zn: 60 mg. ² Monodicalcico, ³ Monodicalcico, ⁴ Tricalcico, ⁵ Riecito. (fosfatos incorporados uno a la vez, más la basal y según etapas), que aportaran 0,20, 0,15 y 0,10% de Pi respectivamente para Iniciación, Crecimiento y Desarrollo. ⁶ Proteína Cruda (N x 6,25), ⁷ Energía Metabolizable Estimada por cálculo.

por reflujo con éter de petróleo al 100% en caliente (60°) durante 4 horas. Los huesos fueron incinerados a 600°C durante 24 horas. Las cenizas resultantes fueron expresadas como por ciento del peso del hueso seco desgrasado [2].

Adicionalmente, se tomaron muestras de sangre a cuatro animales por tratamiento, en la última semana de la etapa de desarrollo, para determinaciones de contenido de fósforo en plasma sanguíneo, mediante la técnica de la AOAC [2].

Los análisis de las diferentes raciones experimentales, muestras de vértebras coccígeas y fluidos corporales se reali-

zaron de acuerdo a la metodología convencional: proteína (N x 6,25) por el método de Kjeldahl y fósforo por colorimetría [2].

La biodisponibilidad relativa del fósforo de las fuentes se determinó por medio de la prueba de la proporcionalidad de la pendiente [11]. Para cada fosfato, con cada uno de los criterios de respuestas evaluados (peso, consumo y ceniza) se calcularon ecuaciones de regresión lineal, $y = a + bx$, siendo "y" la variable de respuesta y "x" la edad de los animales en semanas. Cada una de las pendientes fueron utilizadas para calcular la biodisponibilidad relativa del fósforo, a través de la relación entre la pendiente de la fuente en estudio y la del fosfato

de referencia (MMD). Se utilizó como testigo referencial el MMD, por ser el fosfato monodivalente el que tiene la mayor proporción de fosfato monodivalente, y al cual se le asignó un valor relativo de 100%. La biodisponibilidad calculada en base al método de proporcionalidad de la pendiente, asume una respuesta lineal y significativa de las variables y un intercepto común para las líneas de regresión.

Los datos fueron sometidos a análisis de varianza, de acuerdo a un modelo estadístico completamente aleatorizado y se aplicó la prueba de F para verificar la significancia de los cuadrados medios de las fuentes de variación. Además se realizaron análisis de regresión y correlación. Se utilizó la prueba de amplitudes múltiples de Tukey [27], para hacer las comparaciones de las medias de los tratamientos.

RESULTADOS

La respuesta productiva de los cerdos alimentados con los fosfatos bajo estudio medida en términos de peso final (kg/animal) promedio fue de: 69,49; 67,59; 64,95 y 64,43, respectivamente para MMD, TRIC, MD y RIO. Así también, las ganancias diarias de peso (g/día) fueron para MMD de 559,88, para TRIC de 540,92, seguido por MD con 519,07 y de 511,04

para RIO. El consumo de alimento (kg/animal/día) guardó relación ($r = 0,93$) con el peso de los animales, siendo de 1,296, 1,316, 1,272 y de 1,240, respectivamente para MMD, TRIC, MD y RIO. Los valores de conversión fueron 2,44, 2,47, 2,52 y 2,45, respectivamente para el mismo orden de los fosfatos (TABLA II). Ninguna de las variables evaluadas presentó diferencias significativas entre fosfatos ($P > 0,05$).

El ajuste del peso inicial por covarianza no modificó significativamente el peso final (kg/animal) de los animales, siendo los valores de 69,60; 67,44; 65,46 y 63,96 respectivamente, para MMD, TRIC, MD y RIO.

Los valores de ganancia diaria de peso (g/animal/día) para cada fase, iniciación, crecimiento y desarrollo, no presentaron diferencias estadísticamente significativas ($P > 0,05$) entre tratamiento (TABLA III).

Los valores de fósforo en el plasma sanguíneo, obtenidos de los animales al final de la etapa de desarrollo fueron de 5,88; 5,74; 5,48 y 5,17 mg/100 ml, para MMD, TRIC, MD y RIO, respectivamente, sin diferencias ($P > 0,05$) entre tratamientos. La concentración de fósforo en plasma guardó relación ($P < 0,05$) con el peso ($r = 0,75$), la ganancia de peso ($r = 0,76$) y el consumo ($r = 0,83$) de los animales.

TABLA II
PESO, GANANCIA DE PESO, CONSUMO Y CONVERSIÓN TOTAL DE CERDOS EN LAS FASES DE INICIACIÓN, CRECIMIENTO Y DESARROLLO (112 DÍAS)¹

Mediciones	MMD ²	MD ³	TRIC ⁴	RIO ⁵
Peso Inicial ⁶ , kg/animal	6,93 ± 0,76	6,81 ± 0,85	7,01 ± 0,80	7,19 ± 1,10
Peso Iniciación (7sem) ⁷ , kg/animal	14,97 ± 0,76	14,85 ± 0,70	14,67 ± 1,83	16,10 ± 1,75
Peso Crecimiento (13 sem), kg/animal	33,88 ± 2,73	32,40 ± 3,44	32,36 ± 4,54	33,20 ± 4,01
Peso Desarrollo (20 sem), kg/animal	69,49 ± 0,88	64,95 ± 8,15	67,59 ± 3,65	64,43 ± 5,39
Ganancia Total, kg/animal	62,56 ± 1,16	58,14 ± 7,61	60,58 ± 3,25	57,24 ± 4,51
G.D.P. Total, g/animal/día	558,6 ± 234,2	519,1 ± 195,4	540,9 ± 211,1	511,1 ± 79,4
Consumo, kg/animal/día	1,363 ± 0,63	1,313 ± 0,58	1,332 ± 0,62	1,265 ± 0,52
Conversión alimenticia ⁸	2,44 ± 1,26	2,52 ± 1,05	2,46 ± 0,90	2,48 ± 0,79

¹ Veinte animales / tratamiento; ² Monodivalente, ³ Monodivalente, ⁴ Trivalente, ⁵ Riecio, ⁶ Animales de 4 semanas de edad; ⁷ Valores en paréntesis indican la edad de los animales al final de la etapa, ⁸ Conversión alimenticia = kg alimento / kg ganancia peso.

TABLA III
GANANCIA DIARIA DE PESO TOTAL DE CERDOS EN LAS FASES DE INICIACIÓN, CRECIMIENTO Y DESARROLLO (112 DÍAS)¹

G.D.P, g/animal/día	MMD ²	MD ³	TRIC ⁴	RIO ⁵
Iniciación (7sem.) ⁶	382,92 ± 27,94	382,62 ± 11,84	364,93 ± 53,84	423,89 ± 31,90
Crecimiento (13 sem.) ⁶	450,17 ± 48,60	417,93 ± 65,92	421,24 ± 70,38	407,30 ± 63,10
Desarrollo (20sem.) ⁶	726,84 ± 54,38	664,29 ± 106,4	718,93 ± 23,60	637,35 ± 74,74
G.D.P total	558,60 ± 234,2	519,09 ± 195,4	540,92 ± 211,1	511,06 ± 179,4

¹ Veinte animales/tratamiento, ² Monodivalente, ³ Monodivalente, ⁴ Trivalente, ⁵ Riecio, ⁶ Edad en semanas.

El contenido de ceniza en las vértebras coccígeas de los lechones a las 4, 10, 15 y 20 semanas de edad, aumentó linealmente con la edad ($P < 0,05$) para todos los fosfatos evaluados. Los fosfatos desfluorinados MMD, MD y TRIC fueron similares entre sí y éstos, superiores ($P < 0,05$) al fosfato sedimentario RIO, presentando este los menores valores de contenido de ceniza (TABLA IV).

En la TABLA V se presentan las ecuaciones de regresión lineal (globales) de las variables de respuesta: consumo, peso corporal y cenizas en el tejido óseo, con relación a la edad de los animales. Las mismas fueron lineales ($P < 0,05$) y con intercepto común para cada variable respuesta ($P > 0,05$), con valores de R^2 elevados.

Las correlaciones entre los diferentes criterios de respuestas que estiman biodisponibilidad, fueron altamente significativas ($P < 0,001$) para consumo, peso corporal de los animales y, contenido de ceniza en las vértebras coccígeas (TABLA VI).

En la TABLA VII, se muestran los valores de biodisponibilidad relativa del fósforo, estimados a través de la relación entre la pendiente de las ecuaciones de regresión lineal de cada fuente en estudio (TABLA V) y la del fosfato de referencia MMD (100%). Además, por ser las correlaciones positivas y altamente significativas ($P < 0,001$), se calculó la biodisponibilidad relativa promedio para cada fuente de fósforo, siendo los valores (%) significativamente superiores

TABLA IV
CONTENIDO DE CENIZA (%) DE LAS VÉRTEBRAS COCCÍGEAS DE LECHONES ALIMENTADOS
CON DIFERENTES FUENTES DE FÓSFORO¹

Edad, semana	MMD ²	MD ³	TRIC ⁴	RIO ⁵
	Ceniza	Ceniza	Ceniza	Ceniza
4	45,12	45,35	45,19	45,28
10	51,63	50,39	50,35	48,72
15	53,91	52,64	52,35	50,09
20	57,10	55,48	55,45	52,79
Promedio	52,01 ^a ± 4,42	51,06 ^a ± 3,92	50,73 ^a ± 3,78	49,08 ^b ± 2,99

¹ Fósforo expresado como% de la ceniza del hueso (5 animales/ replica/ tratamiento). ² Monodicalcico, ³ Monodicalcico, ⁴ Tricalcico, ⁵ Riecito. a,b,c; promedios con distintas letras son significativamente ($P < 0,05$) diferentes.

TABLA V
ECUACIONES QUE RELACIONAN LA EDAD CON CONSUMO, PESO, CENIZAS DEL TEJIDO ÓSEO DE LECHONES
ALIMENTADOS CON DIFERENTES FUENTES DE FÓSFORO

Variables	Fuente	Ecuaciones ⁵	R ²	CV	P
Consumo	MMD ¹	$Y = -0,316 + 0,129X$	0,90	6,65	0,0001
	MD ²	$Y = -0,226 + 0,120X$	0,90	8,71	0,0001
	TRIC ³	$Y = -0,293 + 0,129X$	0,93	9,16	0,0001
	RIO ⁴	$Y = -0,132 + 0,110X$	0,93	7,39	0,0001
Peso	MMD	$Y = -13,005 + 3,827X$	0,97	9,23	0,0001
	MD	$Y = -11,453 + 3,595X$	0,94	8,01	0,0001
	TRIC	$Y = -12,320 + 3,719X$	0,95	9,68	0,0001
	RIO	$Y = -9,124 + 3,430X$	0,96	6,86	0,0001
Cenizas	MMD	$Y = 43,135 + 0,723X$	0,89	3,32	0,0001
	MD	$Y = 43,446 + 0,621X$	0,83	3,15	0,0001
	TRIC	$Y = 43,248 + 0,626X$	0,90	2,35	0,0001
	RIO	$Y = 43,698 + 0,452X$	0,78	2,89	0,0001

¹ Monodicalcico, ² Monodicalcico, ³ Tricalcico, ⁴ Riecito. ⁵ $Y = a + bx$, donde "y" variable de respuesta y "x" edad en semanas; interceptos comunes ($P > 0,05$).

TABLA VI
CORRELACIONES ENTRE VARIABLES DE RESPUESTA
EN LECHONES ALIMENTADOS CON LAS DIFERENTES
FUENTES DE FÓSFORO

Variables	r ¹	
	Peso	Consumo
Consumo	0,9837 **	
Ceniza	0,9263 **	0,9343 **

¹ r = Correlación, ** = (P<0,001).

TABLA VII
BIODISPONIBILIDAD DEL FÓSFORO DE FOSFATOS
DESFLUORINADOS Y SEDIMENTARIO,
UTILIZANDO LAS VARIABLES ZOOTÉCNICAS
Y DE MINERALIZACIÓN

Variables	MMD ¹	MD ²	TRIC ³	RIO ⁴
Peso	100	93,97	97,22	89,73
Consumo	100	94,18	101,14	86,17
Ceniza	100	85,57	87,14	62,94
Promedio ⁵	100 ^a	91,24 ^a	95,16 ^a	79,61 ^b
	± 0,00	± 4,96	± 5,57	± 4,26

¹ Monodicalcico, ² Monodicalcico, ³ Tricalcico, ⁴ Riecito, ⁵ Promedio: (Pendiente Ec. de Regresión Lineal c/fuente) / (idem/testigo referencial - MMD-) x 100. a,b; promedios con distintas letras son significativamente (P<0,05) diferentes.

(P<0,05) para TRIC (95,16) y MD (91,24), y más bajos para el fosfato sedimentario (RIO: 79,61).

DISCUSIÓN

El peso corporal, consumo de alimento, ganancia de peso y conversión alimenticia de los cerdos alimentados con el fosfato sedimentario de RIO, en las etapas de iniciación, crecimiento y desarrollo fueron similares estadísticamente a los registrados para los fosfatos desfluorinados MMD, MD y TRIC. Sin embargo, se observó una tendencia a una menor respuesta en las diferentes variables para RIO. Los resultados obtenidos para RIO fueron similares a los de Bellavert y col. [3, 4] en Brasil y Godoy y Chicco [19] en Venezuela, utilizando fosfatos de rocas en experimentos con cerdos, y semejantes a los obtenidos por Godoy y Chicco [18] y Chicco y Godoy [9], evaluando fosfatos desfluorinados y sedimentarios en la alimentación de cerdos y aves, respectivamente, tomando como fuente de referencia un fosfato dicálcico. Estos estudios señalan respuestas productivas similares en cerdos y en aves alimentadas con la roca de RIO, en cuanto a peso corporal, consumo de alimento, ganancia de peso y eficiencia alimenticia.

La tendencia a valores más bajos de peso corporal, ganancia de peso, conversión alimenticia, mineralización ósea para RIO podría estar relacionada, según algunos autores [3,

4, 5, 16, 19] posiblemente con la biodisponibilidad del fósforo y a un mayor consumo de flúor contenido en este fosfato. Esto debido probablemente, por un lado, a la complejidad de la estructura química del fosfato (fluorapatita) y a la posible formación de fosfatos insolubles de hierro y aluminio, que disminuye la absorción del fósforo, y, por otro, a la presencia del flúor, que afectó ligeramente el consumo, a niveles mayores ± 170 ppm. Altos niveles de flúor están asociados con disturbios en el metabolismo de los carbohidratos, que pueden provocar reducción en la tasa de crecimiento, por disminución de la actividad de la enolasa, de la glucosa 6-fosfato deshidrogenasa y del recambio de glucógeno, cambios observados en animales con fluorosis [6, 28].

Los resultados sobre mineralización del tejido óseo, expresados como contenido de cenizas en vértebras coccígeas, indican que entre los fosfatos desfluorinados el de mayor proporción de la forma monocalcica (MMD) fue ligeramente superior al monocalcico (MD) y éste al tricálcico (TRIC), siendo sin embargo estadísticamente similares entre sí y estos superiores (P<0,05) al fosfato sedimentario (RIO). La concentración de cenizas aumentó linealmente con la edad para todos los fosfatos desfluorinados y el de RIO, lo que concuerda con estudios anteriores que sugieren que, a medida que aumenta la edad, en la fase de crecimiento, se incrementa la mineralización del hueso [12].

Por otro lado, la biodisponibilidad del fósforo depende de una variedad de factores que son inherentes a las fuentes, siendo la más importante la estructura química de la molécula del fosfato [10]. Así, la literatura señala que las formas monocalcicas son más disponibles que las dí- y tricálcicas y, que el fosfato en la forma orto es más biodisponible que en las formas meta y piro, como ha sido indicado por Ammerman y col. [1], Chicco y col. [8] en rumiantes y Gillis y col. [13, 14] en no rumiantes. Además se señala que las formas hidratadas son más disponibles que las fuentes anhidras [14, 26].

Adicionalmente, la presencia de flúor tiende a disminuir el contenido de ceniza en el hueso. Nahorniak y col. [21], utilizando aves en crecimiento alimentadas con una dieta con concentraciones de flúor superiores a 200 ppm, provocó una disminución de las cenizas en el tejido óseo. Por otro lado, Godoy y Chicco [15] obtuvieron resultados similares en cerdos en la etapa de crecimiento. Un posible mecanismo que ha sido sugerido en este proceso es que la presencia de flúor disminuye la absorción del calcio, lo que a su vez induce un proceso de reabsorción ósea por un estímulo secundario de la paratiroides [24].

La aparente discrepancia entre las variables de respuestas zootécnicas (peso corporal y consumo), que indican que no hay diferencias entre fuentes y las variaciones encontradas entre fosfatos en la mineralización del hueso (ceniza y fósforo), indican que, probablemente, hay una diferencia en la intensidad metabólica entre los tejidos blandos y el tejido óseo, de tal forma que los animales alimentados con fosfatos de me-

nor biodisponibilidad de fósforo en la dieta, siguen creciendo a una velocidad similar a los alimentados con fosfatos de mayor biodisponibilidad, a expensas de una menor mineralización del tejido óseo [9].

Los valores de fósforo en plasma presentaron tendencias similares a las variables de peso, consumo y mineralización ósea. Si bien existen mecanismos de homeostasis que tienden a mantener relativamente constante el nivel de P hemático, cuando la restricción del elemento es relativamente prolongada, se pueden observar cambios significativos en el contenido de fósforo en sangre [7, 11, 20, 23]. En el caso del presente estudio esos cambios, sin embargo, no llegaron a ser significativos. Simplemente fueron tendencias que en cierta forma, sugieren una respuesta a la biodisponibilidad de los fosfatos.

CONCLUSIONES

Se concluye que los fosfatos comerciales estudiados tienen una biodisponibilidad similar en la alimentación de cerdos, independientemente del proceso industrial utilizado para su producción. El fosfato sedimentario de Riecito es de más baja biodisponibilidad, evidenciada principalmente a través de los estudios sobre mineralización ósea. Su uso dependerá de la finalidad productiva de los animales. La presencia de altos niveles de flúor constituye una restricción adicional para su uso en altos niveles en la formulación de dietas balanceadas.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen a las empresas SHERING DE VENEZUELA, MONOMEROS COLOMBO-VENEZOLANOS, e INTERNATIONAL MINERAL and CHEMICAL Co., por los aportes de los fosfatos; a MONOMEROS-COLOMBO-VENEZOLANOS también por el financiamiento parcial de esta investigación; a la Empresa AGUARREM C.A. por el apoyo logístico para la investigación de campo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AMMERMAN, C.B.; FORBES, R.M.; GARRIGUS, U.S.; NEWMAN, A.I.; NORTON, H.W.; HATFIELD, E.F. Ruminant utilization of inorganic phosphates. **J. Anim. Sci.** 16(4): 796-810. 1957.
- [2] ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). **Official methods analysis**. 15th Ed. Washington, D.C. 1018 pp. 1984.
- [3] BELLAVER, C.; GOMES, P.C.; DOS SANTOS, D.L. Absorcao e disponibilidade de fósforo para suínos baseada na diluicao (³²P). **Pesq. Agropec. Bras.** 18:1053-1057. 1983.
- [4] BELLAVER, C.; GOMES, P.C.; FÍALO, E.T.; DOS SANTOS, D.L. Absorcao e Disponibilidade do fósforo de fosfatos naturais em racoes para suínos. **Pesq. Agropec. Bras.** 19: 1513- 1518. 1984.
- [5] BURNELL, E.R.; PEO, J.R.; LEWIS, A.J.; CRENSHOW, J.D. Effect of dietary fluorine on growth, blood and bone characteristics of growing-finishing pigs. **J. Anim. Sci.** 63(6): 2053-2067. 1986.
- [6] CARLSON, J.R.; SUTTLE, J.W. Pentose phosphate pathway enzymes and glucose oxidation in fluoride-fed rats. **Amer. J. Physiol.** 210(1):79-83. 1966.
- [7] CHICCO, C.F. Estudio de la nutrición mineral del ganado de la región centro occidental de Panamá. David, Chiriquí, Panamá. Programa FAO de pastos y forrajes. **Proyecto UND/ SF Nº 323**. 27 pp. 1972.
- [8] CHICCO, C.F.; AMMERMAN, B.C.; MORE, J.E.; VAN WALLEGUEM, P.A.; ARRINGTON, L.R.; SHIRLEY, R.L. Utilization of inorganic ortho-meta and pyrophosphates by lamb and by cellulolytic rumen microorganisms "in vitro". **J. Anim. Sci.** 24(2):355-363. 1965.
- [9] CHICCO, C.F.; GODOY, S. Calidad de los fosfatos en la alimentación de las aves. Symposium: Los fosfatos en el balance mineral de la ración para animales. **XV Reunión Latinoamericana de Producción animal**. IX Congreso Venezolano de Zootécnia. Maracaibo, 25 noviembre. Venezuela. 49-69pp. 1997.
- [10] DeGROOTE, G. Biological availability of phosphorus in feed phosphates for broilers. In: Proceedings **4th European Symposium of Poultry Nutrition**. Tours, 17-20 October. Francia. 91-99pp. 1983.
- [11] FINNEY, D. J. **Statistical Method in Biological Assay**. 3^d Ed. Hafner, New York, 320pp. 1978.
- [12] GEORGIEVSKII, V. The physiological role of macro elements. In: **Mineral Nutrition of Animals**. V.I. Georgievskii, B.N. Annenkov, V.I Samokhin (ed). London, Butterworths. 91-170pp. 1982.
- [13] GILLIS, M.B.; EDWARDS, JR., H.M.; YOUNG, R.J. Studies on the availability of calcium ortho-phosphates to chickens and turkeys. **J. Nutr.** 78: 155-161. 1962.
- [14] GILLIS, M.B.; NORRIS, L.C.; HEUSER, G.F. The utilization by the chicks of phosphorus from different sources. **J. Nutr.** 35: 195-207. 1948.
- [15] GODOY, S.; CHICCO, C.F. Características químicas y físicas del tejido óseo de marranas alimentadas con fosfatos sedimentarios. **Proc. Reunión de la Red Latinoamericana de Roca Fosfórica. ExpoCuba**. La Habana, 3-5 julio. Cuba. 9pp. 1996.
- [16] GODOY, S.; CHICCO, C.F. Evaluación de fosfatos sedimentarios nacionales en la alimentación animal. **VII Jornadas Científicas Técnicas de la Facultad de**

- Agronomía.** LUZ. II Charlas sobre alimentación animal. Maracaibo, 2-7 noviembre. Venezuela. 42pp. 1997.
- [17] GODOY, S.; CHICCO, C.F. Biodisponibilidad del fósforo de fosfatos comerciales en la alimentación de aves. **Zootec. Trop.** 16: 5-18. 1998.
- [18] GODOY, S.; CHICCO, C.F. Relative bioavailability of phosphorus from Venezuelan raw rock phosphates for poultry. **Anim. Feed Scien. and Techn.** 94:103-113. 2001.
- [19] GODOY, S.; CHICCO, C.F. Bioavailability of Venezuelan sedimentary phosphates in swine feeding. **Proceedings Western Section, A.S.A.S.** Colorado, 19-21 June. USA. Vol. 53, 287-289pp. 2002.
- [20] LANE, A.G.; CABELL, J.R.; KRAUSE, G. K. Blood mineral composition in ruminants. **J. Anim. Sci.** 27: 766-770. 1968.
- [21] NAHORNIK, N.A.; WAIBEL, P.E.; OLSON, W.G.; WALSER, M.M.; DZIUK, H.E. Effect of dietary sodium fluoride on growth and bone development in growing turkeys. **Poult. Sci.** 62:2048-2055. 1983.
- [22] NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). **Nutrient Requirements of Swine.** 10th revised ed. National Research Council, National Academy Press, Washington. 189 pp. 1998.
- [23] PAYNE, J.M.; LEECH, F.B. Factors affecting plasma calcium and inorganic phosphorus concentration in the cow with particular reference to pregnancy, lactation and age. **Brit. Vet. J.** 120: 385-388. 1964.
- [24] RAMBERG, C.F.; CHANG, J.M.; MAYER, G.P.; NORBERG, A.I.; BERMAN, M. Inhibition of calcium absorption and elevation of calcium removal rate from bone in fluoride treated calves. **J. Nutr.** 100:981-989. 1970.
- [25] REBOLLAR, P.G.; MATEOS, G.G. El fósforo en la Nutrición Animal. Necesidades, Valoración de Materias Primas y Mejora de la Disponibilidad. En: **Fundación Española para el desarrollo de la nutrición animal.** Eds. P.G. Rebollar, C. de Blas y G.G. Mateos. Madrid, España. 19-64pp. 1999.
- [26] RUCKER, R.B.; PORKER, R.B.; ROGLER, J.C. Utilización of calcium and phosphorus from hydrous and anhydrous dicalcium phosphates. **J. Nutr.** 96:513-518. 1968.
- [27] STEEL, R.G.D.; TORRIE, J.H. Principles and procedures of statistics. **A Biometrics Approach.** 2nd. Ed. New York. Mc Graw-Hill. 622 pp. 1988.
- [28] ZEMBROWSKI, E.J.; SUTTIE, J.W.; PHILLIPS, P.H. Metabolic studies in fluoride fed rats. **Fed. Proc.** 23: 184-193. 1964.