

FOSFATOS SEDIMENTARIOS VENEZOLANOS EN LA NUTRICIÓN DE POLLOS DE ENGORDE. I. CRECIMIENTO Y MINERALIZACIÓN DEL TEJIDO ÓSEO

Venezuelan Raw Rock Phosphates in the Chicken Broiler Nutrition. I. Growth and Bone Mineralization

Susmira Godoy y Claudio F. Chicco

Instituto de Investigaciones Zootécnicas. CENIAP-FONAIAP. Maracay, Edo. Aragua, Venezuela

RESUMEN

A fin de evaluar el uso de fosfatos de yacimiento (crudos) sobre el crecimiento y la mineralización del tejido óseo en pollos de engorde, 1260 pollos machos de un día de nacidos, uniformes en peso, de la línea comercial Cobb x Cobb y alimentados con una dieta basal conteniendo 0,41% de P total, fueron distribuidos en un arreglo factorial (7x3) para ser asignados a las fuentes de fósforo: Río, Liza, Chigua, Jají, Monte, Navay y el fosfato dicálcico (Dical), a tres niveles de incorporación del elemento en la ración (0,1, 0,2 y 0,3%) con 60 aves/tratamiento, en seis repeticiones de 10 animales cada una. Las diferentes raciones fueron calculadas para ser insocalóricas (3,100 Kcal EM/kg), isoproteicas (24% PC) e isocalcicas (1%). Se registraron los pesos de los pollos y el consumo de alimento, semanalmente. A la cuarta semana se sacrificaron seis aves/tratamiento, extrayéndose las tibias, determinándose la densidad (g/cc), peso seco desgrasado y los contenidos de cenizas, fósforo y flúor (% y mg/cc). La biodisponibilidad relativa del fósforo de las fuentes se estimó por comparación de las variables estudiadas en las fuentes, usando como referencia al Dical, a la cual se le asignó el 100% de disponibilidad. El peso promedio de las aves (g) fue superior ($P < 0,05$) para Dical (1149,1), seguido por Liza (973,6) y Río (966,0), éstos a su vez, fueron superiores a Chigua (896,3), Navay (862,3), Monte (853,0) y Jají (829,9). El peso de las aves guardó relación ($r = 0,97$; $P < 0,01$) con el consumo de alimento (g/ave), con valores promedios estadísticamente iguales para Dical (1805,9), Río (1533,5) y Liza (1471,2), los cuales superaron ($P < 0,05$) los de Chigua (1325,9), Monte (1323,5), Navay (1255,1) y Jají (1250,5). Similar comportamiento se observó para la densidad de las tibias (g/cc) con los valores más altos para Dical (1,21),

Liza (1,19) y Río (1,18), los cuales superaron ($P < 0,05$) a Chigua (1,16), Monte (1,12), Navay (1,10) y Jají (1,10). Un patrón similar fue observado en el contenido de cenizas (%), es decir: los valores más altos para Dical (43,01), Liza (38,95) y Río (38,90), los cuales fueron superiores ($P < 0,05$) a los de Chigua (37,45), Navay (37,55), Monte (37,40), y Jají (36,86). El contenido de fósforo, expresado como porcentaje de la MS en el tejido óseo, no mostró diferencias significativas entre niveles, ni entre fuentes, pero si ($P,05$) cuando éste se expresó en mg/cc. Se obtuvieron correlaciones positivas y significativas entre peso y consumo ($r = 0,97$) y las medidas de acreción ósea, como densidad ($r = 0,64$), cenizas (%: $r = 0,63$; mg/cc: $r = 0,73$), fósforo (mg/cc: $r = 0,81$). Los valores de biodisponibilidad relativa promedio del fósforo (%) en relación al fosfato dicálcico (100%) fueron en orden decreciente: 81,0; 79,6; 71,1; 68,1; 68,0 y 62,5 para Río, Liza, Chigua, Navay, Monte, Jají, respectivamente.

Palabras clave: Fosfatos sedimentarios, aves, mineralización, fósforo.

ABSTRACT

In order to evaluate the use of raw rock phosphates on growth and bone mineralization in broilers, 1260 one day old male chickens of the commercial cross Cobb x Cobb, uniform in weight and fed a basal diet containing 0.41% of total P, were distributed in a factorial arrangement (7x3) to be assigned to the phosphorous sources: Rio, Liza, Chigua, Jaji, Monte, Navay and dicalcium phosphate (Dical), at the levels of P (0.1, 0.2 and 0.3), with 60 birds/treatment, in six replications with 10 animals each. The rations were calculated to be isocaloric (3.100 kcal EM/kg), isoproteic (24%) PC and isocalcic (1%). Weights and intake of the chicks were registered weekly. At the fourth week, six chickens/treatment were sacrificed and their tibia

were removed to determine density (g/cc), fat free dry matter, ash, phosphorous and fluorine contents (% and mg/cc). The relative bioavailability of P from the sources was estimated using Dical, as a control with a value of 100% availability. The weight of the birds (g) was superior ($P < 0.05$) for Dical (1149.1), Liza (973.6) and Rio (966.0), these in turn were higher ($P < 0.05$) than Chigua (896.3), Navay (862.3), Monte (853.0) and Jaji (829.9). The weight of the birds was correlated ($r = 0.97$; $P < 0.01$) to feed intake (g/ave), with similar values for Dical (1805.9) Rio (1533.3) and Liza (1471.2), that were greater ($P < 0.05$) than those of Chigua (1325.9), Monte (1323.5), Navay (1255.1) and Jaji (1250.5). Similar behavior was observed for the density (g/cc) of the tibia. The highest values for Dical (1.21), Liza (1.19) and Rio (1.18), were greater ($P < 0.05$) than Chigua (1.16), Monte (1.12), Navay (1.10) and Jaji (1.10). A similar pattern was observed for the ash content (%), being the highest values for Dical (43.01), Liza (38.95) and Rio (38.90), that were superior ($P < 0.05$) to those of Navay (37.55), Chigua (37.45), Monte (37.40) and Jaji (36.86). Phosphorus content, expressed as percentage of the DM in the bone tissue, did not show significant differences among levels, neither among sources, but there were differences when this values were expressed as mg/cc. Positive and significant correlations were observed between weight and intake ($r = 0.97$) and mineralization measured as density ($r = 0.64$), ash (%: $r = 0.63$; mg/cc: $r = 0.73$), and P (mg/cc: $r = 0.81$). The relative bioavailability average of the P (%) in the different sources in relation to d/calcium phosphate (100%) was calculated to be in the following order: 81.0, 79.6, 71.1, 68.1, 68.0 and 62.5 for Rio, Liza, Chigua, Navay, Monte y Jaji, respectively.

Key words: Raw rock phosphates, poultry, bone mineralization, phosphorus.

INTRODUCCIÓN

Los alimentos concentrados para aves incluyen principalmente granos de cereales y leguminosas, y aproximadamente el 70% del fósforo total contenido en estas fuentes se encuentra en forma de fitatos, (ácido mioinositol hexafosfórico), que forma compuestos insolubles unidos a proteínas y fuertemente a cationes, como calcio, magnesio y potasio, y, en menores proporciones, con manganeso, hierro y zinc [10, 18].

Los fitatos son degradados por fitasas para producir ácido fosfórico y/o sales de ortofosfatos, formas disponibles con facilidad para su absorción a nivel intestinal. Sin embargo, las aves no pueden hidrolizar estos compuestos, por no tener fitasas, particularmente en la etapa de crecimiento. En consecuencia, es necesario la incorporación de fuentes de fósforo inorgánico en la formulación de dietas para esta especie.

Venezuela posee cuantiosos recursos de fosfatos de yacimientos estimados en 2500 millones de toneladas de reservas probables. Sin embargo, en el país no se ha establecido

una industria productora de fuentes de fósforo de grado alimenticio a través del procesamiento de estos depósitos sedimentarios, por lo que, la mayoría de los fosfatos que se utilizan en la alimentación de aves son de importación.

Los fosfatos de yacimientos podrían ser utilizados parcial o totalmente como fuentes de fósforo en dietas para aves. La bibliografía internacional indica que los resultados experimentales con estas fuentes de fósforo han sido variables [19], encontrándose valores de disponibilidad biológica entre 25 y 85% [8]. Además, estas fuentes contienen de mediana a alta concentraciones de elementos tóxicos, entre ellos el flúor.

El propósito de esta investigación fue el de evaluar la biodisponibilidad del fósforo de los principales fosfatos de yacimientos venezolanos, a través de pruebas de crecimiento y mineralización del tejido óseo.

MATERIALES Y METODOS

Se evaluaron los yacimientos de fosfatos venezolanos de Riecito (Río) y Lizardo (Liza) del estado Falcón, Monte Fresco (Monte) y Navay (Navay) de Táchira, y, Chiguará (Chigua) y Jají (Jají) de Mérida, utilizándose como fuente referencial un fosfato dicálcico (Dical: CaHPO_4) de alta pureza (RG).

De cada fosfato se tomaron varias alícuotas para conformar una muestra compuesta, representativa de los diferentes yacimientos, para la determinación de los cationes, calcio, magnesio, hierro, cobre, manganeso, zinc y cobalto, por espectrofotometría de absorción atómica, con llama oxidante [3], fósforo por colorimetría [11], flúor por electrometría y la solubilidad del fósforo en ácido cítrico al 2% por el método descrito por la Association of Official Analytical Chemists (AOAC) [3].

El experimento se realizó en la Unidad Avícola, ubicada en la Escuela Práctica de Agricultura (INAGRO), vía Maracay-Turmero, Instituto de Investigaciones Zootécnicas (CENIAP-FONAIAP).

La biodisponibilidad del fósforo de las diferentes fuentes se determinó utilizando 1260 pollos, del híbrido comercial Cobb x Cobb, uniformes en peso, sexados machos, de un día de nacidos, alimentados hasta la cuarta semana de edad, con niveles crecientes de fósforo inorgánico (0,1; 0,2 y 0,3%), adicionados a una dieta basal (0,41% P total), en un arreglo factorial 7×3 (7 fuentes de fósforo, 3 niveles de adición de fósforo), con seis replicaciones de 10 aves cada una. Las aves fueron identificadas con bandas alares y mantenidas en baterías metálicas de cuatro pisos, con dimensiones de $1,40 \times 0,72 \times 0,42$ m cada uno, con una densidad de 10 aves/m², provistas de una fuente de calor artificial (60 vatios), hasta los 14 días de edad de las aves.

Las raciones contenían aislado de soya (90% de proteína), harina de soya, maíz pilado, aceite vegetal, vitaminas, minerales y las fuentes de fósforo en las proporciones indicadas

en la TABLA I, siendo isocalóricas (3.100 Kcal EM/kg), isoprotéicas (24% PC), manteniéndose constante el nivel de calcio (1%), mediante la adición de carbonato de calcio, según cada caso. Las aves recibieron agua y alimento a voluntad.

Se llevaron registros de pesos por separado, al inicio del experimento y a los 14 y 28 días de edad, y de consumo de alimento para cada réplica, a los mismos intervalos, por diferencia entre la cantidad ofrecida y rechazada.

A la cuarta semana se sacrificaron, por dislocación cervical, según peso promedio por grupo, seis aves/tratamiento, para extracción de ambas tibias. En las tibias se determinó la densidad, calculada mediante la relación entre el peso del hueso fresco (g) y el volumen de agua (cc) desplazada al sumergir el hueso en un cilindro de vidrio graduado, peso húmedo y seco a 105°C, durante 48 horas, y peso seco desgrasado por reflujo con éter de petróleo al 100% en caliente, durante 4 horas. Los huesos se incineraron a 600°C durante 24 horas. Las cenizas resultantes fueron ex-

presadas como por ciento del peso seco libre de grasa y en mg/cc de hueso, determinándose además el contenido de fósforo (% y mg/cc).

Los análisis de las diferentes raciones experimentales y, muestras de tejidos y fluidos corporales, se realizaron de acuerdo a las metodologías: proteína (N x 6,25) por el método de Kjeldahl, calcio por espectrofotometría de absorción atómica, fósforo por colorimetría [11] y flúor por electrometría [3].

La biodisponibilidad relativa del fósforo de las fuentes se llevó a cabo por medio de la prueba de la proporción de la pendiente. Para cada uno de los criterios de respuestas evaluados, se calcularon ecuaciones de regresión lineal, en cada una de las fuentes y los valores de las pendientes se utilizaron para obtener la biodisponibilidad relativa del fósforo, a través de la relación entre la pendiente para la fuente en estudio y la del fosfato de referencia (DICAL). La prueba de proporción de la pendiente asume una respuesta lineal de las variables y un intercepto común para las líneas de regresión.

TABLA I
COMPOSICIÓN DE LAS DIETAS EXPERIMENTALES PARA LA EVALUACIÓN DE FOSFATOS EN AVES

Ingredientes	Amplitudes	Fósforo ¹ , %		
		0,1	0,2	0,3
Soya 50	22,3 - 23,5	-	-	-
Soya, aislado	7,5	-	-	-
Maíz, pilado	62,1 - 64,6	-	-	-
Maíz, aceite	2,1 - 2,8	-	-	-
Carbonato de calcio	0,0 - 2,5	-	-	-
DICAL	-	0,448	0,896	1,344
RIO	-	0,917	1,850	2,770
LIZA	-	0,862	1,725	2,600
CHIGUA	-	0,960	1,960	2,880
JAJÍ	-	0,890	1,950	2,930
MONTE	-	0,930	1,860	2,780
NAVAY	-	0,970	1,950	2,930
Metionina	0,198	-	-	-
Sal	0,250	-	-	-
Vitaminas ²	0,200	-	-	-
Micromineral ³	0,100	-	-	-
Proteína Cruda ⁴ , %		24	24	24
EM, Kcal/kg ⁵ .		3.100	3.100	3.100
Fósforo total, %		0,51	0,61	0,71
Calcio, %		1	1	1

¹ Niveles de fósforo adicionados a la dieta.

² Vitaminas (por kg de alimento): vitamina A, 4000 UI; vitamina D, 200 UI; riboflavina, 3 mg; ácido pantoténico, 5 mg; niacina, 20 mg; colina, 450 mg; vitamina B12, 10 ug; vitamina E, 2 mg.

³ Micromineral (por kg de alimento): Mn, 65 mg; 1,1 mg; Cu, 8 mg; Zn, 50 mg; Fe, 25 mg; Mg, 500 mg.

⁴ PC: proteína cruda estimada (N x 6,25).

⁵ EM: energía metabolizable estimada.

Los criterios utilizados para medir la biodisponibilidad relativa del fósforo fueron el peso corporal de las aves, el consumo de alimento, y medidas de acreción ósea como concentraciones de cenizas (% , mg/cc hueso) y fósforo (mg/cc hueso).

Los datos se sometieron al análisis de varianza y se aplicó la prueba de F para verificar la significancia de los cuadrados medios de las fuentes de variación, utilizándose el programa estadístico SAS. Se utilizó la prueba de amplitudes múltiples de Duncan para las comparaciones de las medias de las diversas determinaciones en las diferentes fuentes. Se establecieron correlaciones y regresiones entre las variables evaluadas.

RESULTADOS

Composición química y solubilidad

La composición química de los fosfatos de yacimientos evaluados se presenta en la TABLA II. El contenido de calcio

tiene amplitudes de 20,0 a 34,4% y el de fósforo de 10,5 a 12,3%. Destaca el alto nivel de magnesio (2,38%) y de hierro (2,37%) correspondientes al yacimiento de Jají. El contenido de flúor presenta valores más bajos en las minas de Falcón (1,2%), elevados en las de Táchira (2,5%) y Mérida (Chigua, 2,8%; Jají, 2,4%).

Los valores de solubilidad del fósforo en ácido cítrico al 2%, presentaron tendencias de similitud dentro de regiones, de 16,9 a 20,5% en Falcón, de 9,9 a 10,6% en Táchira y de 7,4 a 7,5% en Mérida, siendo todos notablemente inferiores al testigo, fosfato dicálcico (96,7%).

Peso, consumo y conversión

La respuesta de las aves en crecimiento alimentadas con fosfatos de yacimientos, medida en términos de peso corporal y consumo de alimento, a la cuarta semana de edad, TABLA III, presentó incrementos asociados con el aumento de los niveles de fósforo en la dieta, no habiendo interacción sig-

TABLA II
COMPOSICIÓN QUÍMICA DE ROCAS FOSFÁTICAS DE VENEZUELA

Fosfato	%				ppm				
	Ca	P	F	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn	
Dical	29,0	22,7							
Liza	25,9	12,3	1,2	0,14	2,86	20	310	671	
Rio	24,6	11,1	1,2	0,08	0,92	22	100	797	
Chigua	29,4	10,7	2,8	0,86	0,04	15	102	113	
Jají	20,0	10,6	2,4	2,38	2,73	8	393	96	
Monte	34,4	11,0	2,5	0,12	0,37	19	39	449	
Navay	24,3	10,5	2,5	0,06	0,53	7	60	90	

TABLA III
PESO, CONSUMO Y CONVERSIÓN ALIMENTICIA, DE POLLOS ALIMENTADOS CON FOSFATOS DE YACIMIENTOS¹

Medidas	Nivel ²	Dical	Rio	Liza	Chigua	Jají	Monte	Navay
Peso, g/ave	0,1	888,4	711,1	715,8	680,9	655,5	661,9	640,2
	0,2	1189,1	986,1	1007,5	911,8	822,9	824,2	841,4
	0,3	1369,8	1200,9	1197,4	1096,1	1011,3	1072,9	1105,3
Promedio		1149,1^a	966,0^b	973,6^{bc}	896,3^{bc}	829,9^c	853,0^c	862,3^c
Consumo, g/ave	0,1	1422,5	1130,9	1111,8	953,9	879,5	1000,1	859,1
	0,2	1860,8	1565,6	1481,4	1344,7	1249,6	1271,1	1203,0
	0,3	2134,4	1903,4	1820,4	1679,3	1622,4	1699,4	1703,3
Promedio		1805,9^a	1533,3^{ab}	1471,2^{ab}	1325,9^b	1250,5^b	1323,5^b	1255,1^b
Conversión Alimenticia ³	0,1	1,71	1,73	1,71	1,55	1,67	1,64	1,37
	0,2	1,65	1,69	1,53	1,54	1,60	1,57	1,52
	0,3	1,63	1,65	1,59	1,61	1,73	1,67	1,62
Promedio		1,66^b	1,69^a	1,61^c	1,57^d	1,67^{ab}	1,62^c	1,50^e

¹ Sesenta aves/tratamiento (4 semanas de edad). ² Nivel de fósforo (%) adicionado a la dieta basal. ³kg alimento/kg ganancia de peso.
^{a,b} Promedios con letras distintas dentro de una misma fila difieren estadísticamente (P < 0,01).

nificativa entre fuente y nivel de fósforo. El peso de las aves (g), como promedio de los niveles de fósforo, fue superior ($P < 0,05$) para Dical (1149,1), seguido por los fosfatos de Liza (973,6) y Río (966,0), siendo éstos superiores a Chigua (896,3), Navay (862,3), Monte (853,0) y Jají (829,9).

El peso de las aves guardó relación ($r = 0,97$; $P < 0,01$) con el consumo de alimento (g/ave), siendo la interacción fuente x nivel de fósforo no significativa, con valores, como promedio de los niveles de fósforo en la dieta, superiores para Dical (1805,9), sin diferencias significativas a los alcanzados por Río (1533,3) y Liza (1471,2), pero sí ($P < 0,05$) con los fosfatos de Navay (1255,1), Chigua (1325,9), Monte (1323,5) y Jají (1250,5), TABLA III.

Las comparaciones entre fuentes de origen sedimentario, a los diferentes niveles de suplementación con fósforo, señalan que las aves que consumieron los fosfatos de Río y Liza tuvieron los mejores pesos corporales y consumos de alimento, ligeramente inferiores al fosfato de referencia (Dical).

La conversión alimenticia (kg alimento/kg ganancia de peso) mejoró con el incremento en el contenido de fósforo de

las raciones para Dical, Río y Liza, con promedios, para el mismo orden de las fuentes, de 1,66; 1,69 y 1,61. Las aves alimentadas con los fosfatos de Chigua, Jají, Monte y Navay tuvieron mejores conversiones, probablemente como resultado de los menores consumos de alimento,

Características del tejido óseo

Las características del tejido óseo de las aves, asociadas al proceso de mineralización y expresadas en términos de densidad, contenido de cenizas y fósforo, TABLA IV, indican que la densidad (g/cc) de las tibias fue mayor en Dical (1,21), sin diferencias con los fosfatos de Liza (1,19) y Río (1,18), pero sí ($P < 0,05$) con las rocas de Chigua (1,16), Monte (1,12), Navay (1,10) y Jají (1,10).

El contenido de cenizas (%), se incrementó con el aumento en la concentración de fósforo en la ración, TABLA IV, siendo los valores promedios por fuente significativamente mayores ($P < 0,05$) para el fosfato Dical (43,01), seguidos por los yacimientos de Liza (38,95) y Río (38,90), que a su vez presentaron concentraciones superiores ($P < 0,05$) a los de Navay (37,55), Chigua (37,45), Monte (37,40) y Jají (36,86).

TABLA IV
CARACTERÍSTICAS DEL TEJIDO ÓSEO DE POLLOS ALIMENTADOS CON FOSFATOS DE YACIMIENTOS¹

Medidas ²	Nivel ³	Dical	Río	Liza	Chigua	Jají	Monte	Navay
Densidad, g/cc	0,1	1,16	1,10	1,18	1,10	1,07	1,06	0,99
	0,2	1,23	1,18	1,17	1,17	1,10	1,14	1,14
	0,3	1,24	1,25	1,22	1,19	1,12	1,18	1,18
Promedio		1,21^a	1,18^{ab}	1,19^{ab}	1,16^{bc}	1,10^d	1,12^{cd}	1,10^{cd}
Cenizas, %	0,1	38,76	34,72	34,16	33,30	33,65	33,35	33,72
	0,2	44,28	38,84	39,58	37,75	35,93	38,01	37,40
	0,3	45,99	43,14	43,11	41,28	41,01	40,83	41,51
Promedio		43,01^a	38,90^b	38,95^c	37,45^c	36,86^c	37,40^c	37,55^c
Cenizas ⁴ , mg/cc	0,1	150,3 ^a	141,1 ^b	138,4 ^c	132,7 ^d	122,6 ^e	120,7 ^f	124,3 ^e
	0,2	191,8 ^a	167,7 ^b	165,3 ^{bc}	160,0 ^d	147,6 ^e	161,7 ^d	169,6 ^b
	0,3	212,4 ^a	203,7 ^b	194,1 ^c	190,9 ^d	174,2 ^g	183,1 ^e	177,4 ^f
Promedio		184,8	165,9	170,8	161,2	148,1	155,2	157,1
Fósforo, %	0,1	19,65	19,35	19,33	18,30	19,20	20,03	19,67
	0,2	20,95	19,50	19,67	20,15	19,00	20,94	19,66
	0,3	21,19	20,00	21,00	20,22	20,33	19,52	20,23
Promedio		20,59	19,62	20,00	19,56	19,51	20,16	19,85
Fósforo ⁴ mg/cc	0,1	29,52 ^a	27,19 ^b	26,75 ^b	24,27 ^c	23,46 ^d	24,06 ^c	24,45 ^c
	0,2	40,22 ^a	32,70 ^b	32,47 ^b	32,19 ^b	28,01 ^c	33,81 ^b	33,31 ^b
	0,3	45,04 ^a	40,71 ^b	40,71 ^b	38,59 ^c	35,42 ^d	35,75 ^d	35,88 ^d
Promedio		38,26	33,53	33,31	31,68	28,97	31,21	31,21

¹ Seis aves/tratamiento (4 semanas de edad al sacrificio: tibia izquierda). ² La interacción en nivel x fuente no fue significativa para las variables estudiadas. ³ Nivel de fósforo (%) adicionado a la dieta basal. ⁴ a, b: Números con letras distintas dentro de una misma fila indican interacción significativa ($P < 0,05$). a, b: Promedios con letras distintas dentro de una misma fila difieren estadísticamente ($P < 0,05$).

Cuando se analizan los resultados del contenido de fósforo (%) en el tejido óseo, no se observaron diferencias significativas entre niveles, ni entre fuentes del elemento, incluyendo al fosfato dicálcico, testigo referencial de alta biodisponibilidad, indicando que la expresión porcentual del elemento en las cenizas del hueso, no refleja realmente la mineralización del tejido, TABLA IV.

Si se relaciona el contenido de cenizas y fósforo (mg) con el volumen del hueso (cc), a medida que incrementa el nivel de fósforo en la dieta aumentan significativamente ($P < 0,05$) sus concentraciones en el hueso, TABLA IV. Los valores por fuente para cada nivel de fósforo mostraron diferencias significativas ($P < 0,05$) entre el fosfato Dical y los fosfatos de yacimientos, y entre éstos últimos, Río y Liza fueron superiores ($P < 0,05$) a Chigua, Jají, Monte y Navay, que tuvieron respuestas variables. Los bajos incrementos en el contenido de cenizas y fósforo (mg/cc) entre los niveles 0,2 y 0,3% de adición del elemento de los fosfatos de Monte y Navay generaron interacciones significativas ($P < 0,05$) entre tratamiento y niveles de fósforo.

Los diferentes criterios evaluados en el tejido óseo indican que, entre los fosfatos de yacimientos, Río y Liza promueven una mejor acreción ósea, que en el caso de la densidad (g/cc) fue similar al Dical, siendo las diferencias significativas ($P < 0,05$) con los demás fosfatos de yacimientos, con excepción del contenido de fósforo (mg/cc), lo que concuerda con los resultados obtenidos para los índices productivos.

El análisis de la matriz de correlación entre las variables de evaluación biológica indicó correlaciones positivas y altamente significativas entre peso y consumo ($r = 0,97$) y las medidas de acreción ósea del tejido óseo, como densidad ($r = 0,64$), cenizas (%: $r = 0,63$; mg/cc: $r = 0,73$), fósforo (mg/cc: $r = 0,81$). Similarmente, el consumo de alimento presentó correlaciones positivas ($P < 0,01$) con las variables anteriores, TABLA V.

Las mediciones en tejido óseo se correlacionaron entre sí, siendo positivas entre densidad y cenizas ($r = 0,51$; $P < 0,05$), fósforo (mg/cc; $r = 0,53$; $P < 0,05$) y cenizas (mg/cc;

$r = 0,55$; $P < 0,01$), y entre cenizas (mg/cc) y fósforo (mg/cc) en hueso ($r = 0,94$; $P < 0,01$).

Biodisponibilidad relativa

Como se indica en la metodología, la biodisponibilidad relativa del fósforo de las diferentes fuentes se determinó a través de la comparación de las pendientes de las regresiones lineales entre la ingestión total de fósforo (g) en el período, como variable independiente, y las respuestas de las aves, como variable dependiente, con un intercepto común, obtenido del promedio de cada una de las líneas de regresión, sin ser la desviación significativa ($P > 0,05$).

Las pendientes de las regresiones de la ingestión de fósforo vs peso, consumo, cenizas y fósforo, con intercepto común para cada variable estudiada, indican que peso, consumo, cenizas (%), mg/cc) y fósforo (mg/cc) fueron superiores para Dical ($P < 0,01$) en relación a Río y Liza, y éstos a su vez mayores ($P < 0,05$) que Chigua, Monte, Navay y Jají, TABLA VI.

La comparación de las pendientes de los diferentes fosfatos con el fosfato de referencia (Dical), con un valor asignado de 100% de biodisponibilidad del fósforo, cuando se utilizó peso corporal como criterio de respuesta, registró valores superiores para Río (74,5) y Liza (76,1), seguidos por Chigua (62,5) y Navay (58,2) y más bajos para Monte (55,7) y Jají (51,9). Con el consumo de alimento como variable de respuesta, se obtuvo la misma tendencia que para el peso, con biodisponibilidades de 84,3; 80,1; 70,1; 65,3; 70,0 y 66,5, para Río, Liza, Chigua, Jají, Monte y Navay, respectivamente, TABLA VI, FIGS. 1 y 2.

Cuando se utilizaron las pendientes de las ecuaciones de regresión lineal, entre consumo de fósforo y concentración (%), mg/cc) de cenizas y fósforo (mg/cc) en el tejido óseo, la biodisponibilidad relativa del fósforo de 76,6; 87,9 y 81,7; 77,5; 83,1 y 81,4; 68,3; 79,0 y 75,5; 63,9; 66,8 y 64,4; 67,6; 74,1 y 72,5; y 68,2; 74,9 y 72,5; respectivamente, para Río, Liza, Chigua, Jají, Monte y Navay, en el mismo orden de mediciones, TABLA VI, FIGS. 3, 4 y 5.

TABLA V
CORRELACIONES ENTRE LAS VARIABLES DE EVALUACIÓN BIOLÓGICA DE FOSFATOS YACIMIENTOS EN AVES¹

Y	X					
	Peso	Consumo	Densidad	Cenizas	Cenizas	Fósforo
Peso, g	1					
Consumo, g	0,97**	1				
Densidad, g/cc	0,64**	0,62**	1			
Cenizas, %	0,67**	0,72**	0,51*	1		
Cenizas, mg/cc	0,73**	0,78**	0,55**	0,89**	1	
P, mg/cc	0,81**	0,86**	0,53*	0,91**	0,94**	1

Nivel de Significancia: ** = $P < 0,01$; * $P < 0,05$.

TABLA VI

COEFICIENTES DE LAS ECUACIONES DE REGRESIÓN ENTRE INGESTIÓN DE FÓSFORO Y PESO, CONSUMO, CENIZAS (% , mg/cc) Y FÓSFORO (mg/cc) EN HUESO

Medidas	Pendientes							Intercepto
	Dical	Rio	Liza	Chigua	Jají	Monte	Navay	
Peso, g	53,00	39,50	40,33	33,12	27,53	29,53	30,83	553,22 ± 71,67
Consumo, g	122,93	103,60	98,44	86,13	80,24	86,05	81,75	375,15 ± 52,58
Cenizas, %	1,386	1,062	1,074	9,947	0,886	0,937	0,945	26,7 ± 0,97
Cenizas, mg/cc	9,18	8,07	7,63	7,25	6,13	6,80	6,88	78,1 ± 6,17
Fósforo, mg/cc	2,20	1,80	1,79	1,66	1,42	1,59	1,59	12,73 ± 1,49

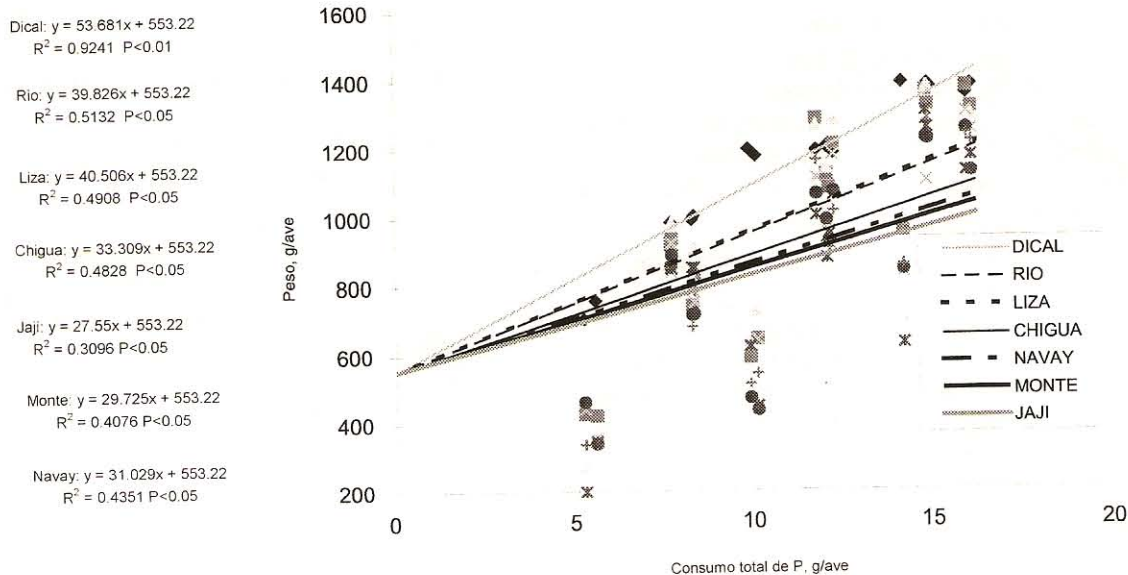


FIGURA 1. RELACIÓN ENTRE INGESTIÓN DE FÓSFORO Y PESO DE AVES ALIMENTADAS CON FOSFATOS DE YACIMIENTOS HASTA LA CUARTA SEMANA DE EDAD.

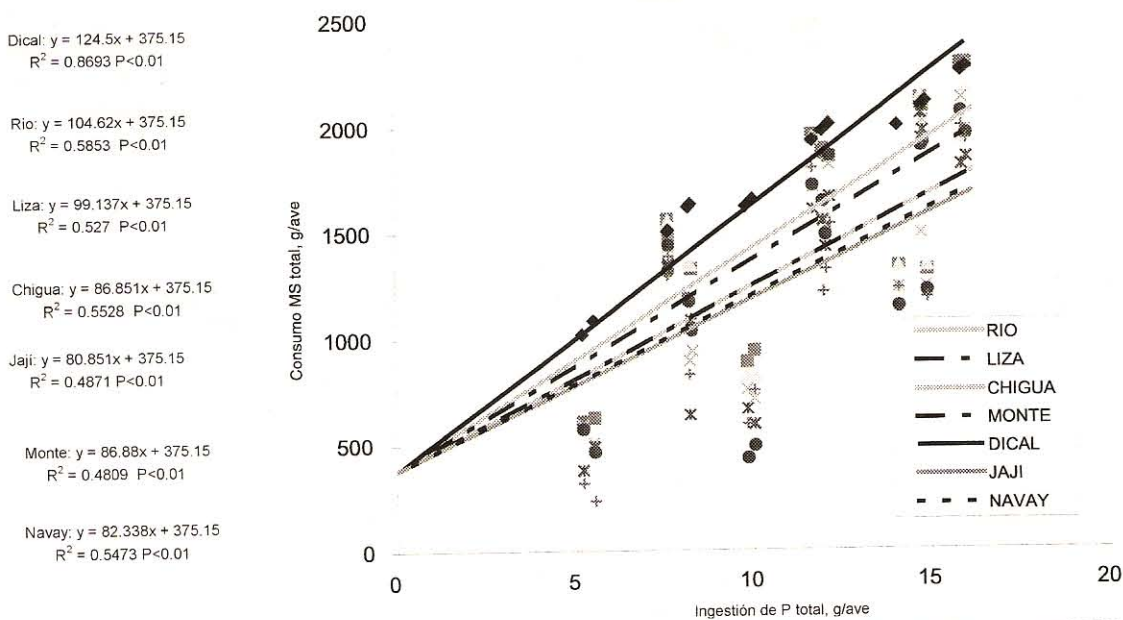


FIGURA 2. RELACIÓN ENTRE INGESTIÓN DE FÓSFORO Y CONSUMO DE ALIMENTO DE AVES ALIMENTADAS CON FOSFATOS DE YACIMIENTO HASTA LA CUARTA SEMANA DE EDAD.

Dical: $y = 1,4044x + 26,7$
 $R^2 = 0,4823$ $P < 0,01$

Rio: $y = 1,0787x + 26,7$
 $R^2 = 0,8764$ $P < 0,01$

Liza: $y = 1,0909x + 26,7$
 $R^2 = 0,892$ $P < 0,01$

Chigua: $y = 0,952x + 26,7$
 $R^2 = 0,8976$ $P < 0,01$

Jaji: $y = 0,9622x + 26,7$
 $R^2 = 0,846$ $P < 0,01$

Monte: $y = 0,9622x + 26,7$
 $R^2 = 0,8716$ $P < 0,01$

Navay: $y = 0,9044x + 26,7$
 $R^2 = 0,7375$ $P < 0,01$

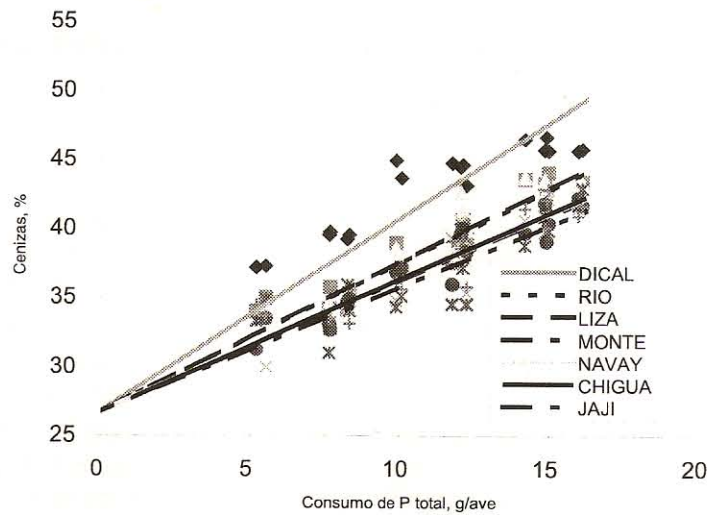


FIGURA 3. REALACIÓN ENTRE INGESTIÓN DE FÓSFORO Y CONTENIDO DE CENIZAS (%) EN TIBIA DE AVES ALIMENTADAS CON FOSFATOS DE YACIMIENTO HASTA LA CUARTA SEMANA DE EDAD.

Dical: $y = 9,3089x + 78,1$
 $R^2 = 0,6709$ $P < 0,01$

Rio: $y = 8,2038x + 78,1$
 $R^2 = 0,8836$ $P < 0,01$

Liza: $y = 7,7403x + 78,1$
 $R^2 = 0,9084$ $P < 0,01$

Chigua: $y = 7,3727x + 78,1$
 $R^2 = 0,922$ $P < 0,01$

Jaji: $y = 6,2367x + 78,1$
 $R^2 = 0,9062$ $P < 0,01$

Monte: $y = 6,9152x + 78,1$
 $R^2 = 0,8406$ $P < 0,01$

Navay: $y = 6,981x + 78,1$
 $R^2 = 0,7875$ $P < 0,01$

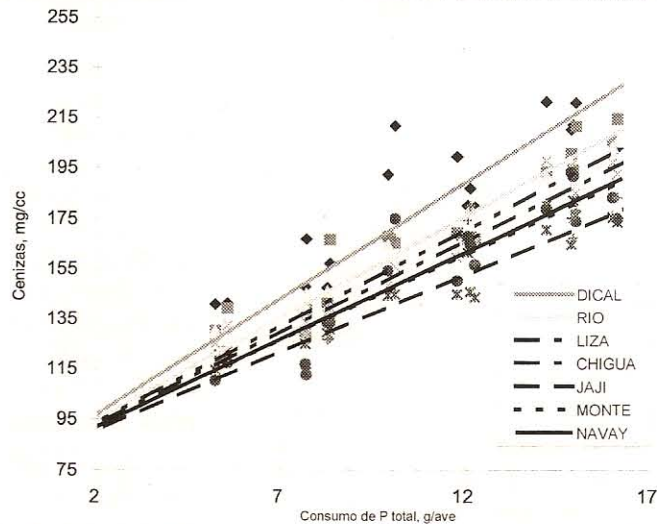


FIGURA 4. RELACIÓN ENTRE CONSUMO DE FÓSFORO Y CONTENIDO DE CENIZAS (mg/cc) EN TIBIA DE AVES ALIMENTADAS CON FOSFATOS DE YACIMIENTOS HASTA LA CUARTA SEMANA DE EDAD.

Dical: $y = 2,2293x + 12,73$
 $R^2 = 0,6385$ $P < 0,01$

Rio: $y = 1,8293x + 12,73$
 $R^2 = 0,8418$ $P < 0,01$

Liza: $y = 1,8175x + 12,73$
 $R^2 = 0,8961$ $P < 0,01$

Chigua: $y = 1,6867x + 12,73$
 $R^2 = 0,8707$ $P < 0,01$

Jaji: $y = 1,4387x + 12,73$
 $R^2 = 0,8007$ $P < 0,01$

Monte: $y = 1,6175x + 12,73$
 $R^2 = 0,6066$ $P < 0,01$

Navay: $y = 1,6176x + 12,73$
 $R^2 = 0,7012$ $P < 0,01$

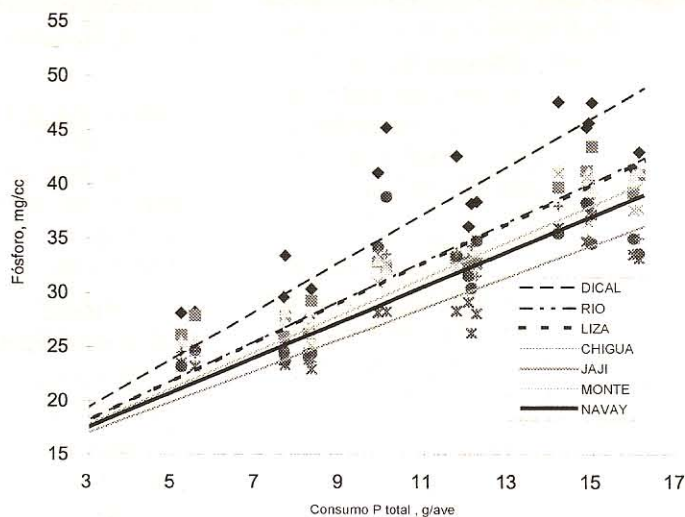


FIGURA 5. RELACIÓN ENTRE INGESTIÓN FÓSFORO Y CONTENIDO DE FÓSFORO (mg/cc) EN TIBIA DE AVES ALIMENTADAS CON FOSFATOS DE YACIMIENTOS HASTA LA CUARTA SEMANA DE EDAD.

TABLA VII
BIODISPONIBILIDAD RELATIVA (%) DE LOS FOSFATOS DE YACIMIENTOS SEGÚN CRITERIOS DE RESPUESTA¹

Medidas	Dical	Río	Liza	Chigua	Jají	Monte	Navay
Peso, g	100	74,5	76,1	62,5	51,9	55,7	58,2
Consumo, g	100	84,3	80,1	70,1	65,3	70,0	66,5
Cenizas, %	100	76,6	77,5	68,3	63,9	67,6	68,2
Cenizas, mg/cc	100	87,9	83,1	79,0	66,8	74,1	74,9
Fósforo, mg/cc	100	81,7	81,4	75,5	64,4	72,5	72,5
Promedio	100	81,0±4,91	79,6±2,55	71,1±5,74	62,5±5,37	68,0±6,53	68,1±5,76

¹ DICAL= 100% biodisponibilidad del fósforo.

Resumiendo, los valores de biodisponibilidad, según los criterios de respuesta utilizados, crecimiento y acreción ósea, TABLA VII, en promedio, los fosfatos de yacimientos con biodisponibilidad relativa (%) del fósforo más alto, en relación al testigo referencial (Dical: 100%), fueron los depósitos de Río (81,0) y Liza (79,6), seguido por Chigua (71,1), Navay (68,1) y Monte (68,0), y por último el de Jají (62,5).

DISCUSIÓN

La composición química de los fosfatos estudiados de los estados Falcón, Táchira y Mérida, presenta valores similares a los reseñados por diferentes autores [6, 17, 25]. Las variaciones registradas dentro de cada yacimiento se deben probablemente a diferencias de muestreos y de estratos evaluados. Los datos de flúor son concordantes con los señalados con anterioridad [25].

Para los yacimientos de Río, Monte y Navay, según Casanova [5], el contenido (ppm) de cobalto, cadmio y cromo es de 47, 46 y 36; 17, 15 y 32; 42, 116 y 120, respectivamente para el mismo orden de las fuentes, y la concentración de níquel y plomo menor de 50 ppm.

Los valores de solubilidad del fósforo en ácido cítrico al 2%, presentaron tendencias de similitud dentro de regiones, siendo todos notablemente inferiores al testigo, fosfato dicálcico. Los datos de solubilidad en ácido cítrico guardan tendencias similares, pero a niveles inferiores, a los reseñados por Soto y col. [25] y están comprendidos dentro de la amplitud de los valores señalados por Chien y Hamond [7], para diferentes rocas de Colombia y Perú.

Las menores tasas de crecimiento de las aves alimentadas con los fosfatos de roca se deben principalmente al menor consumo de alimento registrado en estos tratamientos, que fue más evidente en las dietas suplementadas con los fosfatos de Chigua, Jají, Monte y Navay. Esto pudiera deberse se debe, por un lado, a una menor biodisponibilidad del fósforo presente en los fosfatos de yacimientos [1, 14, 16, 23, 26], y por otro, a que, la incorporación de niveles crecientes de fósforo en las dietas provenientes de estas fuentes, determinó incrementos en la adición de otros elementos, principalmente de flúor, que reduce el consumo voluntario, a niveles superiores de 400 ppm

en la dieta [24, 27]. La literatura indica que las aves pueden tolerar hasta 400 ppm de flúor cuando el mismo proviene de fuentes de baja disponibilidad como los fosfatos de roca [20].

En términos generales, a medida que aumentó el nivel de fósforo en las dietas, independientemente de la fuente, hubo un incremento en la acreción ósea del tejido óseo [2, 15, 22].

Cuando la biodisponibilidad del fósforo se expresó tomando peso corporal y cenizas en hueso como criterios de respuesta, los valores para Río fueron similares (76-85%) a los reportados por Monroy [17] y ligeramente más bajo a los valores obtenidos por Osorio y Jensen, [21]. Para la roca de Liza, Monroy [17] registró valores más bajos (54-64%) que los de este estudio. Otros autores han señalado, para fosfatos de roca bajos en flúor, valores entre 54 y 70% de biodisponibilidad del fósforo [9, 23]. Para los fosfatos de Chigua, Jají, Monte y Navay, la biodisponibilidad del fósforo fue más baja en relación ha Río y Liza, siendo los valores similares al fosfato coloidal de Curacao (55%) [12, 22] y otros fosfatos de rocas [1, 4, 14].

Considerando las demás medidas, la biodisponibilidad del fósforo de los fosfatos de yacimientos, en términos generales, fue más elevada cuando se calculó a partir del consumo de alimento y del contenido (mg/cc) de cenizas y fósforo en el hueso. Valores similares para fosfatos de roca han sido señalados por otros autores [13].

CONCLUSIONES

La biodisponibilidad del fósforo de los yacimientos de Falcón es superior a la de los de Táchira y éstos a los de Mérida, siendo el orden de los fosfatos Dical > Río = Liza > Chigua > Monte = Navay > Jají.

El tejido óseo es muy sensible en reflejar la cantidad y calidad del fósforo suministrado en la dieta, siendo influenciado entre otros por la edad del animal y la presencia de flúor en el sistema.

Por último, los valores de biodisponibilidad del fósforo de los fosfatos sedimentarios del país indican que los yacimientos de Falcón presentan un gran potencial para la alimentación animal, y pueden ser incluidos en la dieta a un nivel significativo de participación como fuentes inorgánicas de fósforo. Para

los de Táchira y Mérida su uso en la alimentación animal es más restringido y deben ser sometidos a procesos industriales para la eliminación de los altos contenidos de flúor.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ABREU, R.D.; ROSTAGNO, H.S.; FONSECA, J.B.; SILVA, D.J.; PEREIRA, J.A. Disponibilidad de fósforo de algunos fosfatos para pintos. En: **21a Reuniao Anual Da Sociedade Brasileira de Zootecnia**. Anais. Belo Horizonte. Sociedade Brasileira de Zootecnia. 274pp. 1984.
- [2] AMMERMAN, C.B.; DOUGLAS, C.R.; DAVISAND, G.R.; HARMS, R.H. Comparison of phosphorus availability assay techniques for chicks. **Poult. Sci.** 40: 548-553.1961.
- [3] ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**. 15^{Ed}. Washington, D.C. 1018pp. 1984.
- [4] BELLAVER, C.; GUIDONI, A.L.; ALBINO, L.T.; PIENIZ, L.C. Fontes e niveis de fosfatos de rocha sobre o desempenho de pangos de corte. **Pesq. Agropec. Bras.** 22: 1085-1091.1987.
- [5] CASANOVA, E. Las rocas fosfóricas y su uso agroindustrial en Venezuela. **Apuntes técnicos PALMAVEN**. 3: 124 pp. 1993.
- [6] CASANOVA, E.; VALDERRAMA, U. Potencial de las rocas fosfóricas venezolanas en la agricultura nacional. En: Seminario Nacional "Los Fertilizantes y la Productividad Agrícola". **Memorias Sociedad Venezolana de la Ciencia del Suelo**. Caracas, Venezuela, 1-13. 1986.
- [7] CHIEN, S.H.; HAMMOND, L.L. A comparison of various laboratory methods for predicting the agronomic potential of phosphate rocks for direct application. **Soil Sci. Soc. Amer. J.** 42: 935-939. 1978.
- [8] DE GROOTE, G. Biological availability of phosphorus in feed phosphates for broilers. In: **4th Proceedings European Symposium on Poultry Nutr. Tours**, France :91-99.1983.
- [9] DILWORTH, B.C.; DAY, E.J.; HILL, J.E. Availability of calcium in feed grade phosphates to the chick. **Poult. Sci.** 43: 1132-1134. 1964.
- [10] ERDMAN JR., J.W. Oilseed phytates: Nutritional implications. **J. Amer. Oil Chem. Soc.** 56: 736-741. 1979.
- [11] FISKE, C.H.; SUBBARRON, E. The colorimetric determination of phosphorus. **J. Biological Chem.** 66: 375-387. 1925.
- [12] FRITZ, J.C.; ROBERTS, T.; BOCHNE, J.W.; HOVE, E.L. Factors affecting the chick' s requirement for phosphorus. **Poult. Sci.** 48: 307-320. 1969.
- [13] GILLIS, M.B.; NORRIS, L.C.; HEUSER, G.F. Studies on the biological value of inorganic phosphates. **J. Nutrition.** 52: 115-125. 1954.
- [14] GONZÁLEZ, C.I.L. Biodisponibilidade de fósforo de seis fontes de fósforo usadas na alimentacao animal. Universidade Federal Minas Gerais. Escola de Veterinario, Belo Horizonte (Tese Maestrado). 44pp. 1987.
- [15] HURWITZ, S. Estimation of net phosphorus utilization by the slope method. **J. Nutr.** 84: 83-92. 1964.
- [16] LÓPES, Z.M.A. Utilizacao de fosfato bruto de rochas em racoes para frangos de corte. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Veterinario, Belo Horizonte (Tese de Maestrado). 145 pp. 1983.
- [17] MONROY, J.M.A. Biodisponibilidad de cuatro rocas fosfatadas venezolanas. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. (Tesis de grado). 69 pp. 1986.
- [18] MORRIS, E.R.; ELLIS, R. Isolation of monoferric phytate from wheat bran and its biological value as an iron source to the rot. **J. Nutr.** 106: 753-760. 1976.
- [19] MOTZOK, Y.; ARTHUR, D.; BRANION, H.D. Utilization of phosphorus from various phosphate supplements by chicks. **Poult. Sci.** 35: 627-648. 1956.
- [20] NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of Poultry**. 9th. ed. Washington, D.C. National Academy Press. 155 pp. 1994.
- [21] OSORIO, J.G.; JENSEN, L.S. Biological availability of phosphorus from a Venezuelan rock phosphate for broiler chicks. **Nutr. Repor. Inter.** 33: 545-552. 1986.
- [22] POTTER, L.M. Bioavailabilty of phosphorus from various phosphates based on body weights and toe ash measurements. **Poult. Sci.** 67: 96-102. 1988.
- [23] ROJAS, R.E.; RANGEL, R.J.L.; BEZARES, A.S.; AVILA, E.G. Determinación de fósforos disponible en una roca fosfórica y su empleo en dietas para aves. **Vet. Méx.** 11: 1-5. 1980.
- [24] SÁNCHEZ, R.; CUCA, M.; AVILA, E.G.; ANTILLÓN, A. Niveles de flúor en dietas para pollos de engorde. Asociación Latinoamericana de Producción Animal (ALPA). **Mem.** 17: 29-34. 1982.
- [25] SOTO, E.; OBISPO, N.; CHICCO, C.F.; GODOY, S.; LEÓN, A.; VALLE, A. Características químicas y físicas de rocas fosfáticas nacionales y otras fuentes de fósforo. **Zootécnia Tropical.** 11: 241-254. 1993.
- [26] TRINDADE, D.S.; CAVALHEIRO, A.C.L.; OLIVEIRA, S.C.; OLIVEIRA, M.F.G. Availacao de fontes de fósforo na alimentacao de frangos de corte. En: **Congreso Latinoamericano de Avicultura & Congreso Brasileiro de Avicultura**. Camboriú, Bra. Anais. Camboriú, Associacao Catarinense de Avicultura. 1: 211-220. 1983.
- [27] WEBER, C.W.; DOBERENZ, A.R.; REID, B.L. Fluoride toxicity in the chick. **Poult. Sci.** 48: 230-235. 1969.