

PREDICCIÓN DE LA BIODISPONIBILIDAD DE LAS FUENTES FOSFORADAS MEDIANTE LA TÉCNICA DE SOLUBILIDAD CÍTRICA DEL FOSFORO a

Arturo F. Castellanos Ruelas b
Yolanda Moguel Ordoñez b
Javier G. Cantón Castillo b

RESUMEN

La medición de la solubilidad cítrica del fósforo (S.C.F.) permite conocer de una manera cualitativa la disponibilidad del fósforo (P) de un insumo mineral; es económica y rápida de realizar. El objetivo de este trabajo fue, estimar el valor de la técnica para predecir la biodisponibilidad de las fuentes fosforadas. Se realizaron dos experimentos con 24 y 32 ovinos de raza Pelibuey respectivamente, los cuales fueron distribuidos en 4 tratamientos dependiendo de la fuente de P suplementaria. Los experimentos tuvieron una duración de 84 y 83 días respectivamente. En el primer experimento los tratamientos fueron: ortofosfato de calcio (OC) 100%; OC:roca fosfórica (RF) 66:33%; OC:RF 33:66%; RF 100%. La SCF de los suplementos fue de 96, 74, 54 y 34% respectivamente. El contenido de P total de la dieta basal fue de 0.15% y se incrementó a 0.25% con el suplemento fosforado. En el segundo experimento los tratamientos fueron: ácido fosfórico (H_3PO_4) 100%; H_3PO_4 :RF 66:33%; H_3PO_4 :RF 33:66%; y RF 100%. La S.C.F. de los suplementos fue de 100, 78, 57 y 37% respectivamente. El contenido de P total de la dieta basal fue de 0.11% y se incrementó a 0.25% con el suplemento. Los resultados se analizaron por medio de regresión y correlación. En ambos casos la ganancia de peso no guardó correlación con la S.C.F. de los tratamientos. En cambio, el contenido de P y el de minerales totales en la duodécima costilla se correlacionó ($p < .01$) con la S.C.F.. Se concluye que la técnica de S.C.F. permite medir cualitativamente la disponibilidad del P.

PALABRAS CLAVE: Fósforo, Solubilidad cítrica, Disponibilidad del fósforo, Minerales.

Téc. Pecu. Méx. Vol 35. No. 1 (1997)

Para llevar a cabo la medición de la disponibilidad del fósforo (P) de una fuente fosforada, se utilizan técnicas costosas, tanto en tiempo, como en recursos financieros. La disponibilidad biológica se mide cuantificando la deposición de P y minerales totales en los huesos, utilizando pollos, ratas u otras especies animales alimentadas con la fuente mineral a estudiar. Una alternativa rápida y económica, para predecir la disponibilidad del P, es mediante el análisis de la solubilidad *in vitro*, para la que se han propuesto diversos solventes: agua, citrato de amonio, ácido clorhídrico y ácido cítrico (1, 2, 3, 4). Esta técnica se ha utilizado desde hace algún tiempo en la agricultura para evaluar la capacidad de solubilización del P en el suelo, para así estimar la absorción por las plantas del P contenido en fertilizantes fosforados (5, 6, 7).

Una de las técnicas disponibles, consiste en realizar una doble solubilización, primeramente extraer el P soluble en agua y posteriormente el P soluble en ácido cítrico al 2% (8). Mediante éste método, se extraen en el agua los ortofosfatos monocálcicos, y en el ácido se extraen los ortofosfatos di y tricálcicos (9). La suma de las dos fracciones de P soluble se expresa como porcentaje del P total, llamándose entonces Porcentaje de Solubilidad Cítrica del Fósforo (S.C.F.). La técnica de determinación de la S.C.F. es cualitativa y no cuantitativa. Los resultados obtenidos con ella permiten clasificar a las fuentes de P en tres categorías: muy buenas, aquellas que tienen un porcentaje de S.C.F. igual o mayor de 90%; buenas, son las que alcanzan una S.C.F. igual o mayor a 75% pero menor de 90%; malas, son las que tienen una S.C.F. menor de 75%. Por ser esta técnica cualitativa, se acepta que diferencias de 5% entre dos muestras no sean importantes.

a Recibido para su publicación el 7 de septiembre de 1996.

b Campo Experimental Mocochoá. INIFAP-SAGAR.
Apartado postal 100-D. Mérida, Yuc.

No existe uniformidad de criterios en la literatura respecto a eficiencia de la estimación de la solubilidad como estimador de la disponibilidad. Algunos autores han demostrado que existe una correlación significativa entre los resultados de solubilidad ruminal del P (10) y la deposición de P en hueso (11), con los encontrados mediante la medición de la S.C.F. Sin embargo, otros autores (12) no obstante haber encontrado correlación significativa entre ambas, descartan el uso de la estimación de la solubilidad debido a la alta variación residual de los resultados.

El empleo de esta técnica se documentó por primera vez en México en 1987 (13). Su empleo en nuestro país y en Latinoamérica puede ser importante, ya que la roca fosfórica es un mineral ampliamente utilizado en la elaboración de suplementos minerales comerciales y alimentos balanceados para animales. Se ha demostrado que el contenido de P de la roca fosfórica es muy variable (14), lo mismo que su disponibilidad (15).

El objetivo del presente trabajo fue, estimar el valor de la técnica de la solubilidad cítrica del P, para predecir la biodisponibilidad de las fuentes fosforadas.

Se realizaron dos experimentos con ovinos de raza Pelibuey, que se llevaron a cabo en el Campo Experimental Mocochá, dependiente del INIFAP-SAGAR, en el estado de Yucatán.

Experimento 1. Se utilizaron 24 animales, con peso inicial de 20.22 ± 1.01 kg. (media \pm EE), los cuales fueron tratados contra parásitos gastrointestinales y vacunados contra Septicemia hemorrágica y Derriengue. Previo al inicio del experimento, durante 21 días los animales fueron alojados en un solo corral, provisto de comedero y bebedero, donde recibieron una dieta baja en P (0.11%), con el fin de reducir su reserva mineral (Cuadro 1).

Se ha documentado que con una dieta conteniendo 0.08% de P, suministrada a

CUADRO 1. COMPOSICION DE LA DIETA CONTROL BAJA EN FOSFORO (% BASE SECA). EXPERIMENTOS 1 Y 2.

	%
Almidón de maíz	30.73
Rastrojo de maíz	30.60
Cascarilla de soya	16.50
Harina de pollo	11.24
Melaza	7.00
Urea	1.30
Sulfato de sodio	0.68
Carbonato de Ca	0.62
Aceite de soya	0.53
Sal	0.50
Vitaminas*	0.25
Microminerales**	0.05
<hr/>	
Análisis calculado (% en base seca)	
Energía metabolizable	2.67 Mcal
Proteína cruda	15.60%
Calcio	0.62%
Fósforo	0.11%

Mezcla con 4'000,000 UI de Vit A; 200,000 UI de Vit E3; 1,200 UI de Vit E y 2 g de niacina /kg.
Mezcla con 0.2 g de Se; 0.1 g de Co; 0.3 g de Y; 10 g de Cu; 50 g de Zn; 100 g de Fe y 100 g de Mn / kg.

toretos en crecimiento durante dos semanas, el contenido de P inorgánico sanguíneo se redujo 41.5% y se observaron síntomas clínicos de una deficiencia fosforada (16).

Posteriormente, los animales fueron distribuidos totalmente al azar en 4 tratamientos, que consistieron en dietas con 0.25% de P total, del cual el 0.10% fue aportado por los siguientes suplementos fosforados: ortofosfato de calcio (mezcla química de fosfato monocálcico y fosfato bicálcico), roca fosfórica y la combinación de ambos (66:33, 33:66) (Cuadro 2).

Se midió la S.C.F. del P de los suplementos fosforados utilizando la siguiente técnica (17): las muestras se molieron y se hicieron pasar por una malla #140. Posteriormente,

**CUADRO 2.COMPOSICION DE LAS DIETAS EXPERIMENTALES.(% BASE SECA).
EXPERIMENTO 1.**

Solubilidad Cítrica del P (%)*	T R A T A M I E N T O			
	96	74	54	34
Olote de maíz	31.97	32.77	30.59	31.23
Sorgo	27.00	31.90	32.80	25.70
Almidón de maíz	23.20	18.40	19.50	25.00
Pasta de soya	5.90	5.00	5.10	6.20
Melaza	5.00	6.00	5.00	5.00
Urea	1.20	1.20	1.20	1.20
Aceite de soya	2.00	2.00	2.00	1.70
Roca fosfórica	—	0.45	0.88	1.37
Ortofosfato calcio	0.84	0.55	0.28	—
Carbonato de Ca	0.46	0.38	0.35	0.27
Sal	0.30	0.30	0.30	0.30
Microminerales**	0.05	0.05	0.05	0.05
Ac. Fosfórico	0.05	—	—	—
Bicarbonato de Na	2.03	1.00	1.95	1.98

Análisis calculado para todas las dietas	(% en base seca).
Energía metabolizable	2.61 Mcal
Proteína cruda	10.60%
Calcio	0.50%
Fósforo	0.25%
Azufre	0.25%

La relación entre ortofosfato de Ca y roca fosfórica en cada tratamiento fue: 100:0; 66:33; 33:66 y 0:100, respectivamente.

Mismas que las usadas en la dieta control baja en P.

el P se solubilizó únicamente en ácido cítrico al 2% durante 2 h, utilizando un baño maría con agitación, a una temperatura de 40 C. Las determinaciones de P se hicieron utilizando el método del molibdo vanadato (18).

Se encontró una S.C.F. de 96% y 34% para el ortofosfato de calcio y la roca fosfórica respectivamente. A partir de los datos anteriores, a los tratamientos 66:33, 33:66 se les calculó S.C.F. de 74% y 54% respectivamente.

Cada tratamiento contó con 3 repeticiones

y cada repetición consistió de un corral con dos animales, provisto de comedero, bebedero y una área de sombra.

El experimento tuvo una duración de 84 días; al final del experimento, los animales se sacrificaron, midiéndose el rendimiento en canal y tomándose la duodécima costilla de la media canal izquierda. Las costillas se desengrasaron con éter y posteriormente se secaron a 60 C. Finalmente se les determinó el contenido de minerales totales y de P.

Los resultados de la ganancia de peso, el consumo de alimento, la conversión

**CUADRO 3. COMPOSICION DE LAS DIETAS EXPERIMENTALES
(% BASE SECA). EXPERIMENTO 2.**

Solubilidad Cítrica del P (%)	T R A T A M I E N T O			
	100	78	57	37
Cascarilla de soya	36.19	36.20	36.30	36.33
Almidón de maíz	25.70	25.90	25.40	26.10
Cascarilla de arroz	11.60	11.60	11.70	11.70
Melaza	8.60	8.50	8.10	6.30
Maíz	6.10	5.10	5.10	5.10
Harina de pollo	4.50	5.10	5.50	5.60
Aceite	2.67	2.80	2.90	3.22
Urea	2.24	2.14	2.00	2.03
Roca fosfórica	—	0.73	1.43	2.17
Sulfato de Sodio	0.68	0.69	0.70	0.74
Carbonato de Ca	0.53	0.21	—	—
Ac. Fosfórico	0.48	0.32	0.16	—
Sal	0.45	0.45	0.45	0.45
Vitaminas**	0.22	0.22	0.22	0.22
Microminerales**	0.04	0.04	0.04	0.04

Análisis calculado para todas las dietas	(% en base seca).
Energía metabolizable	2.48 Mcal
Proteína cruda	15.60%
Calcio	0.78%
Fósforo	0.25%
Azúfre	0.25%
Excepto la dieta con 100% de roca fosfórica que tuvo 0.7% de Ca.	

La relación entre ácido fosfórico y roca fosfórica en cada tratamiento fue: 100:0; 66:33; 33:66 y 0:100, respectivamente.

Mismas que las usadas en la dieta control baja en P.

alimenticia, el rendimiento en canal y los minerales en hueso, fueron analizados mediante el método de mínimos cuadrados, utilizando un modelo lineal de efectos fijos que incluyó la media general, el efecto del tipo de fuente fosforada y el error aleatorio (NID (0, σ^2)) asociado a cada observación (19). También se calculó la correlación entre la S.C.F. de las dietas y el contenido de minerales totales y de P en hueso.

Experimento 2. Se utilizaron 35 ovinos Pelibuey de tres tipos: 25 hembras, 5

machos enteros y 5 machos criptorquídeos inducidos, con peso inicial de 19.42 ± 0.93 kg. (media \pm EE). Los animales fueron sometidos al mismo programa de medicina preventiva del experimento 1.

Los animales fueron alimentados con una dieta baja en P, igual a la usada en el experimento 1 y utilizando el mismo esquema de alimentación. Después de este período, tres animales (uno de cada tipo) fueron sacrificados y se les determinó P y minerales totales en la duodécima costilla

**CUADRO 4. INFLUENCIA DE LA RELACION ORTOFOSFATO:ROCA FOSFORICA
SOBRE DEL CRECIMIENTO Y LA COMPOSICION OSEA DEL BORREGO PELIBUEY.
EXPERIMENTO 1.**

	T R A T A M I E N T O				
Solubilidad Cítrica del P.(%)*	96	74	54	34	EEM
Ganancia diaria (kg/d)	0.132 ^b	0.154 ^{ab}	0.179 ^a	0.156 ^{ab}	0.01
Cons. de alimento (kg MS/anim/d)	1.080	1.160	1.220	1.180	0.05
Conversión alimenticia	8.20	7.30	7.02	7.64	0.01
Rendimiento en canal (%)	45.10	44.00	45.40	43.90	0.57
Fósforo en duodécima costilla (%)	10.25 ^a	10.09 ^a	10.05 ^a	9.61 ^b	0.07
Minerales en duodécima costilla (%)	54.43 ^a	54.67 ^a	54.68 ^a	53.00 ^b	0.23

* La relación entre ortofosfato de Ca y roca fosfórica en cada tratamiento fue: 100:0; 66:33; 33:66 y 0:100, respectivamente.

* Literales diferentes en el mismo renglón indican $p < .05$

desengrasada y seca. Estos animales tenían un peso promedio de 19.5 kg.

El resto de los animales fueron instalados en 12 corraletas y asignados dependiendo de su tipo, a 4 tratamientos consistentes en la distribución de dietas con 0.25% de P, del cual el 0.14% fue aportado por ácido fosfórico, roca fosfórica y la combinación de ambos (66:33, 33:66) (Cuadro 3). Cada tratamiento contó con 3 repeticiones.

Se encontró una S.C.F. de 100% para el ácido fosfórico y 37% para la roca fosfórica. Esta última tenía un 6.3% de P total, considerándose de mala calidad por su bajo contenido fosforado. Los tratamientos 66:33, 33:66 se les calculó S.C.F. de 78% y 57% respectivamente.

Los animales se sacrificaron entre los 83 y 86 días después de iniciado el experimento, realizando las mismas mediciones que en el experimento 1. Además se procedió a pesar el total de la grasa perirrenal.

Los resultados se analizaron de forma similar a la del experimento 1.

Los resultados del experimento 1 se observan en el Cuadro 4. No se encontró efecto del tipo de fuente fosforada sobre el consumo de materia seca, la conversión

alimenticia, ni sobre el rendimiento en canal. En cambio, los tratamientos afectaron la ganancia de peso, el porcentaje de minerales totales y el de P en la duodécima costilla ($p < .01$).

La S.C.F. de las dietas se correlacionó significativamente con el % de minerales totales ($p < .05$ $r = .46$) y el % de P en la duodécima costilla ($p < .01$; $r = .72$).

Experimento 2. Antes de finalizar el experimento, se eliminó la información de 6 hembras que se diagnosticaron gestantes. El análisis de las costillas de los animales sacrificados al inicio del experimento, indicó que el % de minerales totales y de P en la duodécima costilla, fue de 61.4% y 11.2% respectivamente.

Los resultados de los 26 ovinos restantes se observan en el Cuadro 5. La ganancia de peso, el consumo de alimento, la conversión alimenticia, el rendimiento en canal y la grasa perirrenal, no se vieron afectados por los tratamientos ($p > .05$).

Al igual que en el experimento 1, la S.C.F. se correlacionó con el porcentaje de minerales de la duodécima costilla ($p < .01$; $r = .68$) y el de P ($p < .01$; $r = .75$). Mientras mejor fue la S.C.F. del tratamiento,

CUADRO 5. INFLUENCIA DE LA RELACION ACIDO FOSFORICO:ROCA FOSFORICA SOBRE EL CRECIMIENTO Y LA COMPOSICION OSEA DEL BORREGO PELIBUEY. EXPERIMENTO 2.

Solubilidad Cítrica del P (%)*	T R A T A M I E N T O				
	100	78	57	37	EEM
Ganancia diaria (kg/d)	0.120	0.137	0.106	0.129	0.01
Cons. de alimento (kg MS/anim/d)	1.272	1.246	1.122	1.156	0.07
Conversión alimenticia	10.60	8.90	10.20	8.90	0.02
Rendimiento en canal (%)	44.60	44.20	43.90	45.40	0.47
Grasa perirrenal (kg/anim)	0.72	0.79	0.78	0.85	0.06
Fósforo en duodécima costilla(%)	12.10 ^a	11.70 ^C	11.60 ^C	11.60 ^C	0.06
Minerales en duodécima costilla(%)	64.10 ^a	63.7 ^a	62.3 ^C	62.4 ^C	0.24

* La relación entre ácido fosfórico y roca fosfórica en cada tratamiento fue: 100:0; 66:33; 33:66 y 0:100, respectivamente.

* Literales diferentes en el mismo renglón indican p<.01

mayor fue el porcentaje de minerales totales y de P que se depositaron en la costilla.

En ambos experimentos se encontró una falta de correlación entre la S.C.F. y la ganancia de peso de los ovinos. Cuando se utiliza esta variable por sí sola, se considera poco sensible para detectar la calidad de una fuente fosforada. Es por ello que, algunos autores la utilizan dentro de un índice que calculan con ella y otras variables como, el grado de osificación y la conversión alimenticia (20). La ganancia de peso es poco utilizada debido a que puede estar afectada por factores ambientales ajenos a la disponibilidad de los minerales.

El hecho de que los valores de correlación entre la S.C.F. y los minerales totales y P en hueso hayan sido mayores en el experimento 2, en comparación con lo obtenido en el experimento 1, fue probablemente debido a que en el experimento 2 el porcentaje de P aportado por las fuentes a estudiar fue mayor (0.14 vs. 0.10% respectivamente), habiéndose incrementado la sensibilidad de la respuesta animal. El resto del P aportado por ambas dietas estaba en forma de P fítico, el cual se

considera disponible para los rumiantes.

Comparando el grado de mineralización de los huesos de los animales sacrificados al inicio del experimento 2, con los resultados obtenidos al terminar el período de mediciones, se observó que todos los tratamiento propiciaron la deposición mineral. Ello indica que el período de disminución mineral llevado a cabo al inicio del experimento, redujo eficientemente las reservas minerales de los animales, permitiéndoles expresar el valor de los tratamientos estudiados.

Siendo la técnica de S.C.F. una técnica cualitativa, es difícil a partir de estos resultados poder hacer una diferenciación exacta entre la calidad de las fuentes fosforadas analizadas. En el experimento 1 aparentemente una S.C.F. inferior de 54% propició una mala mineralización de los huesos en comparación con solubilidades mayores. En cambio en el experimento 2, cuando la S.C.F. fue menor de 78%, el porcentaje de P en la duodécima costilla disminuyó. Es decir que, fuentes fosforadas con S.C.F. inferior a estos valores pueden considerarse inapropiadas para la

alimentación de ovinos.

Al igual que las recomendaciones de otros autores que han encontrado correlación entre los valores de solubilidad en ácido cítrico (20) y en citrato de amonio (20, 21) con resultados *in vivo*, nuestros resultados indican que la técnica que mide la S.C.F. puede ser un filtro rápido para calificar la calidad de las fuentes fosforadas, pero el empleo de esta técnica no puede descartar el uso de otras más precisas que se realizan *in vivo*.

De la información anterior se concluye que, la medición de la solubilidad cítrica del P de suplementos fosforados está correlacionada con la deposición de minerales totales y P en la duodécima costilla; por lo tanto, es una técnica cualitativa que permite predecir la biodisponibilidad del P. Se considera necesario que estos resultados sean confirmados con los obtenidos con pruebas *in vivo*.

PREDICTION OF THE BIOAVAILABILITY OF THE PHOSPHORUS SOURCES THROUGH THE PHOSPHORUS CITRIC ACID SOLUBILITY METHOD.

SUMMARY

The method that measures the citric acid solubility (CAS) of phosphorus (P), estimates in a qualitative way the P availability of a mineral source. This method is fast and inexpensive. The objective of this experiments was to evaluate the CAS test potential to predict the bioavailability of phosphorous sources. Two experiments were carried out using 24 and 32 Pelibuey ovinos. Animals were assigned to 4 treatments depending on the supplementary P source. Experiments lasted for 84 and 83 days respectively. In experiment 1, treatments were: calcium orthophosphate (CO) 100%; CO: phosphoric rock (PR) 66:33%; CO:PR 33:66%; PR 100%. CAS of supplements were 96, 74, 54 y 34% respectively. Total P content in basal diet was 0.15% which was increased to 0.25% with the P supplement. In experiment 2 treatments were: phosphoric acid (H_3PO_4) 100%; H_3PO_4 :PR 66:33%; H_3PO_4 :PR 33:66% and PR 100%. CAS of supplements was 100, 78, 57 y 37% respectively. P content in basal diet was 0.11% which was increased to 0.25% with the P supplement. Results were analyzed by means of correlation and regression analysis. Average daily weight gain did not correlate with CAS of treatments. The P content and the % of minerals in the twelfth rib did correlated ($p < .01$) with CAS. It is concluded that the CAS method is a good estimate to predict the availability of P.

KEY WORDS: Phosphorus, Citric acid solubility, Phosphorus availability, Minerals.

REFERENCIAS

1. Gueguen L. Les critères de qualité nutritionnelle des compléments minéraux en alimentation animale. Bulletin de la Association Française de Zootechnie. 1970. 58(7-8-9):116
2. Day E J, McNaughton J, Dilworth B C. Chemical versus chick bioassays for phosphorus availability of feed grade sources. Poultry Sci. 1973; 52:393.
3. Caswell L F. Feed phosphates: relating lab solubility to turkey nutrition. Feed Management. 1987; 9:8.
4. Juárez L C, Tejada de Hernández I. Pruebas químicas para determinar el fósforo disponible en rocas fosfóricas. Reunión de Investigación Pecuaria en México. (Memorias). Cd. Victoria, Tamps. 1991:51.
5. Hoffman W M, Breen H J. Phosphate rock solubilization by repeated extractions with citrate solutions. J. Agric. Food Chem. 1964. 12:344.
6. Tisdale S L, Nelson W L. Fertilidad de suelos y Fertilizantes. UTHEA. 1966. México.
7. Guzman E C, Nuñez E R, Martínez G A. Solubilización de dos rocas fosfóricas nacionales mediante mezclado con azufre, fertilizante nitrogenado y estiercol de bovino, bajo fermentación aeróbica y anaeróbica. Agrociencia. 1980; 41:145
8. Gueguen L. A propos du contrôle de la qualité du phosphore des compléments minéraux. L'Élevage Bovin. 1977. 64:49.
9. Bernhart D N, Chess W B. Determination of phosphate composition of stock food calcium phosphate. J. A. O. A. C. 1963.46(2):312.
10. Chicco C F, Ammerman C B, Moore J E, Van Walleghem P A, Arrington L R, Shirley R L. Utilization of inorganic ortho, meta and pyrophosphates by lambs and cellulolytic rumen microorganisms *in vitro*. J. Anim. Sci. 1965. 24:355.
11. Osorio J G, Jensen L S. Biological availability of phosphorus from a venezuelan rock phosphate for broiler chicks. Nutr. Reports Int. 1986. 33(3):545.
12. Huyghebaert G, Keppens L, De Groot G. The effect of Ca content of the diet and of a thermal treatment of the P source on the P utilization by broiler chicks. Archiv. Für Geflügelk. 1981. 45:240
13. Moguel O Y, Castellanos R A. Medición de la calidad de algunas fuentes fosforadas. III Congreso Nacional de la Asoc. Mex. de Especialistas en Nutrición Animal. Cocoyoc, Mor. 1987:245
14. Lopez L R J, Rosiles M R. Determinación de 23 elementos minerales en rocas fosfóricas utilizadas como suplemento para alimentación animal. Vet. Mex. 1988; 19:237.
15. Tejada de Hernández I, Merino Z H. Disponibilidad para el pollo del fósforo de rocas fosfóricas producidas en México. Tec. Pecu. Mex. 1973. 25(2):27.
16. Miller W J, Neathery M W, Gentry R P, Blackmoon D M, Crowe C T, Ware G O, Fielding A S. Bioavailability of phosphorus from defluorinated and dicalcium phosphates and phosphorus requirement of calves. J. Dairy Sci. 1987. 70:1885.
17. Moguel O Y, Castellanos R A, Rosiles M R. Caracteriza-

- ción de la solubilidad del fósforo en rocas fosfóricas. Memoria de la Reunión Nacional de Investigación Pecuaria en México INIFAP-SARH. Chihuahua, Chih. 1992:175.
18. Tejada de Hernández I. Manual de laboratorio para análisis de ingredientes usados en alimentación animal. Ed. Patronato de Apoyo a la Investigación y Experimentación Pecuaria en México. 1983. México, D.F.
 19. Snedecor G W, Cochran W G. Statistical Methods. Seventh Edition. The Iowa State Univ. Press. 1980. Ames, Iowa U.S.A.
 20. Sullivan T W, Douglas J H, González N J, Bond P L. Correlation of biological value of feed phosphates and their solubility in water, dilute hydrogen chloride, dilute citric acid and neutral ammonium citrate. Poultry Sci. 1992; 71(12):2065.
 21. Coffey R D, Mooney K W, Cromwell G L, Aaron D K. Biological availability of phosphorus in defluorinated phosphates with different phosphorus solubilities in neutral ammonium citrate for chicks and pigs. J. Anim. Sci. 1994; 72:2653.