

Rev. Fac. Agron. (Maracay) 17:97-110. 1991.

Eficiencia agronómica de la roca fosfórica en suelos de Bolivia

Juan Bellott Montalvo¹

¹ *Universidad Mayor de San Simón, Agruco, Agroecología Cochabamba, Bolivia*

ABSTRACT

Bolivia due to its physiography, climatic and edaphic properties presents a variety of soils where nutritional limitation in the crops of each ecological zone (high plateau, plains and eastern plains) can be observed. The low fertility of these soils due to the low availability of phosphorus (P) is one of the most important limitation in order to achieve satisfactory yields.

Scarce fertilizer consumption places Bolivia as the country with the lowest consumption of fertilizer in Latinamerica which is due to the high prices of P fertilizers used conventionally. One alternative is to use phosphate rocks as P source of lower cost to increase production and productivity of the agriculture.

The phosphate rocks of Bolivia has limitations to be used as source of P in the production of triple superphosphate because the low reactivity, however, it is a suitable fertilizer for acid soils as a low price fertilizer for the farmers.

The Capinota deposit is the most important phosphate rocks of Bolivia with 12 to 25% P₂O₅ and reserves close to 3 million t. This rock has been used for direct application in potatoes and cereals without response. It has also been acidulated at 50 and 25% with good responses in wheat and potatoes. The capinota rock also has been mixed with manure and sulphur showing mainly response to S and not to P in clover.

Corn and rice have received direct application of capinota rocks with good response at 100 kg P ha⁻¹.

Key words: Bolivia, phosphate rocks, capinota.

COMPENDIO

Bolivia, por sus especiales características fisiográficas, climáticas y edafológicas presenta una variación de suelos en todo el territorio observándose limitaciones nutricionales en los cultivos propios de cada piso ecológico. La baja fertilidad de esos suelos debido a la disponibilidad deficiente de P es una de los factores que inciden sobre los rendimientos. La roca fosfórica boliviana tiene limitaciones para usarse como materia prima en la síntesis de superfosfato por su baja reactividad, sin embargo resulta un material apropiado para la aplicación en suelo ácido, es menos costosa y contribuye al ahorro de divisas. El depósito de capinota es el más importante yacimiento de roca fosfórica en Bolivia con 12 a 15% de P₂O₅ y reservas cercanas a 3 millones de toneladas. Esta roca ha sido usada para aplicación directa en papas y cereales sin respuesta. También ha sido acidulada al 50 y 25% con buenas respuestas en trigo y papas. Igualmente ha sido mezclada con estiércol y azufre mostrando el trébol respuestas al S pero no al P.

El maíz y el arroz han recibido aplicación directa de la roca de Capinota con buenas respuestas a la dosis de 100 kg P ha⁻¹.

Palabras clave: Bolivia, roca fosfórica, capinota,

INTRODUCCION

Bolivia, por sus especiales características fisiográficas, climáticas y edáficas, presenta una variación de suelos en todo el territorio observándose limitaciones nutricionales en los cultivos propios de cada piso ecológico sea este alto (Altiplano), medio (Valles) ó bajo (Llanos orientales). La baja fertilidad de los suelos debido a la disponibilidad deficiente de fósforo es uno de los factores que incide sobre los rendimientos (Figura 1).

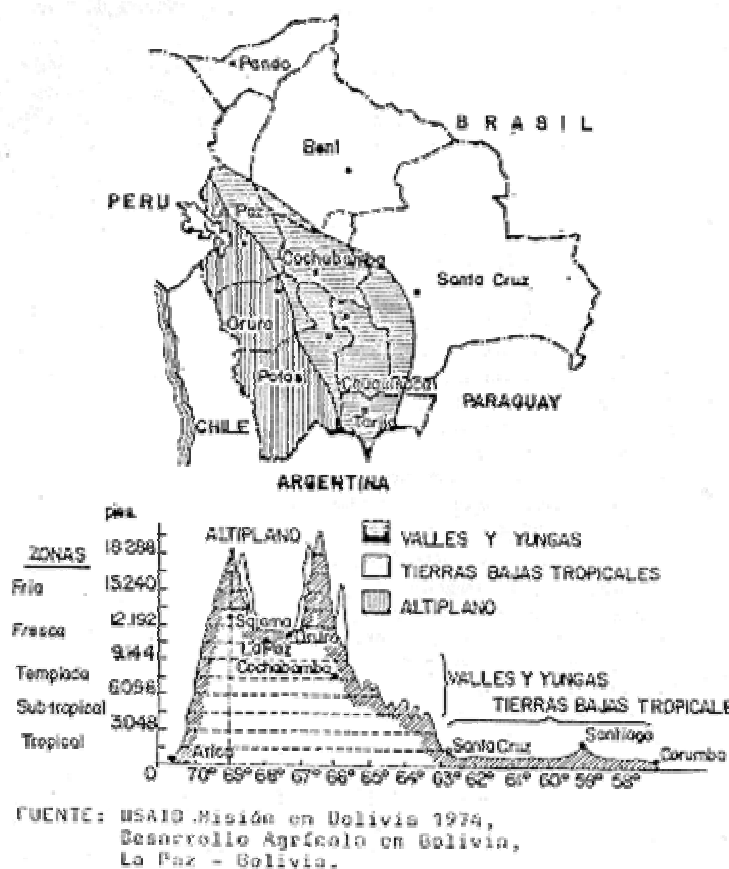


Figura 1. Perfil geográfico de Bolivia

El bajo consumo coloca a Bolivia como el país que utiliza menos fertilizantes en América Latina. Este bajo consumo se debe, fundamentalmente, al elevado costo que alcanzan los fosfatados de uso convencional, situación frente a la cual se presenta la alternativa barata de la utilización de roca local como fuente de fósforo, para aumentar tanto la producción agrícola como la productividad agropecuaria.

La roca fosfórica boliviana tiene limitaciones para usarse como materia prima en la síntesis de superfosfatos por su baja reactividad, sin embargo resulta ser un material apropiado para la aplicación en suelos ácidos, más bajo costo y contribuyen al ahorro de divisas.

1. Naturaleza de los yacimientos de roca fosfórica en Bolivia

Los estudios de prospección y exploración geológica llevados a cabo en el territorio nacional por GEOBOL (Servicio Geológico de Bolivia) han determinado la existencia de material fosfórico en rocas de la edad precámbrica, ordovícica en emplazamientos recientes o cuaternarios. La mayoría de los depósitos fosfáticos reconocidos son de origen sedimentario marino, desarrollados en rocas de edad ordovícica superior; en menor porcentaje se ha determinado la presencia de material fosfático en rocas ígneas de edad precámbrica en proporción muy reducida.

Los depósitos fosfáticos identificados hasta el presente en Bolivia corresponden a 15 zonas, (Figura 2), de las cuales 11 se encuentran desarrolladas en rocas ordovícicas que afloran a lo largo de la cordillera oriental, una en la zona subandina, dos en la parte oriental del país, rocas precámbricas del escudo brasileño, y un depósito reciente ubicado entre las localidades de Huari y Soledad, en el departamento de Oruro, región altiplánica de Bolivia.

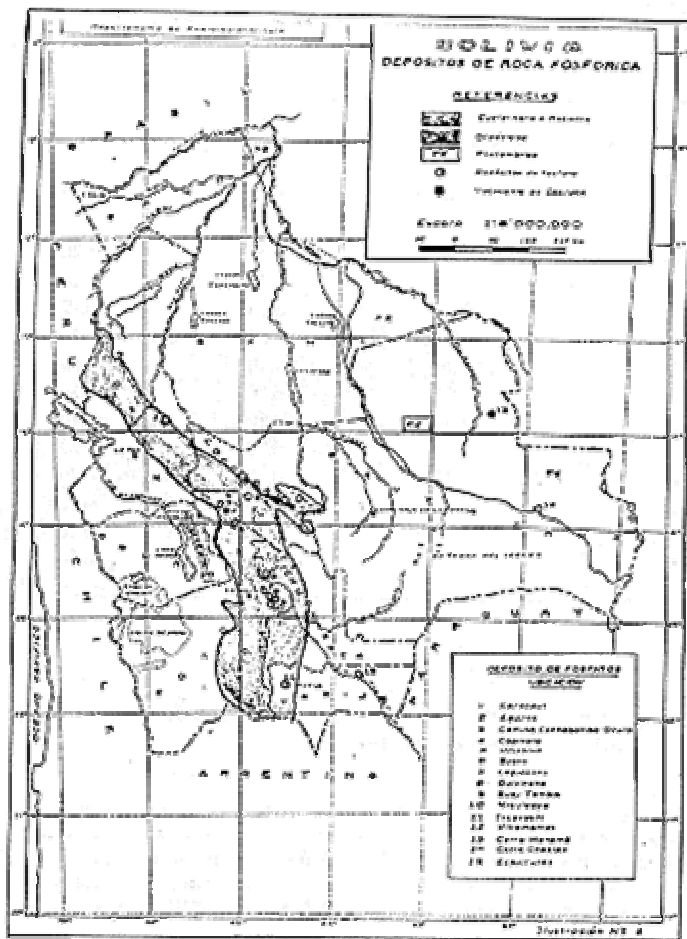


Figura 2. Depósitos fosfáticos de Bolivia, donde se identifican quince (15) zonas.

De los depósitos reconocidos, el de capinota ubicado en el departamento de Cochabamba, constituye el de mayor importancia. En el se han reconocido capas de fosfato de 1.60 m de espesor con tenores promedio que varían entre 12 - 25 % de P₂O₅ con una reserva que alcanza a 2 823 250 toneladas de material fosfático (Cuadro 1).

Cuadro 1. Composición química porcentual de tres muestras de roca fosfórica capinota.

-	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
CaO	22.10	23.80	28.10
P ₂ O ₅	16.30	16.30	19.90
F	2.20	2.00	2.00
CO ₂	1.00	2.00	5.20
Na ₂ O	0.20	0.20	0.20
MgO	0.16	0.26	0.47
K ₂ O	0.24	0.23	0.27
Al ₂ O ₃	1.90	1.90	2.60
F ₂ O ₃	7.00	6.20	6.70
SiO ₂	39.60	42.50	27.40
S	0.07	0.07	0.20
SrO	0.24	0.07	0.20
BaO	0.30	0.20	0.70
TiO ₂	0.30	0.37	0.26
MnO	0.30	0.37	0.26

Fuente: I.F.D.C.

Los yacimientos de RF prospectados son depósitos de fosfato, particularmente de origen sedimentario, en los cuales el fosfato se presenta en formas de láminas, nódulos y fragmentos.

2. Evaluación agronómica de la roca fosfórica en ensayos de campo

Hasta antes de 1982 prácticamente no se realizaron investigaciones con R.F. en Bolivia y si se realizaron fue con rocas importadas tal como en el trabajo de Hinojosa "Aplicación de roca fosfatada en suelos de San Ignacio de Velasco". Debe mencionarse también el trabajo por F. Rodríguez en el CIAT, Colombia, con RF capinota entre los primeros trabajos.

Recién a partir de 1982 se inician los trabajos con la utilización de roca fosfórica capinota (RFC) por el Proyecto Agrobiología Cochabamba (PAC), lo que contempló ensayos en maceta, estaciones experimentales y parcelas de agricultores. Estos trabajos de investigación son continuados por AGRUCO (Agrobiología Universidad de Cochabamba), desde 1985, proyecto que se realizó en tres etapas.

2.1. Respuesta a la aplicación directa (Primera etapa).

La primera etapa fue en entisoles con una altura de 3460 msnm, pH 5.7, bajos en P, 558 mm de precipitación y 8°C de temperatura medias anuales. La utilización de RFC fue únicamente molida y el cultivo de comprobación fue papa (*Solanun andigenum*) en su efecto inicial y cereales en su efecto residual, sin encontrar respuesta. (Cuadro 2).

Cuadro 2. Efecto de la roca fosfórica capinota (RFC) y súper fosfato triple (SFT) en cultivo de papa y su efecto residual en cereales. Rendimientos relativos respecto al testigo. Sitio experimental Toralapa.

Fuente	Dosis kg ha ⁻¹	papa E. inicial	cebada E. residual	avena E. residual
Testigo	0 - 0 - 0	100.00 ab	100.0 ab	100.0 ab
RFC	0 - 120 - 0	83.5 abc	100.0 ab	74.6 b
SFT	0 - 120 - 0	97.7	147.8 ab	85.3 ab
Urea + RFC	80 - 120 - 0	51.9 c	79.3 ab	117.2 ab
Urea + SFT	80 - 120 - 0	113.1 a	94.6 ab	100.7 ab
Urea + RFA	80 - 240 - 0	54.8 c	98.6 ab	105.7 ab
Urea + RFA	80 - 360 - 0	68.0 bc	96.7 ab	114.2 a
Urea + RFC	80 - 480 - 0	66.0 bc	78.3 ab	96.1
CV(%)	-	28	45.8	22.8

2.2. Respuesta a la aplicación de roca parcialmente acidulada RFCPA. (Segunda Etapa).

Esta etapa contempló la utilización de RFC acidulada parcialmente por acidulación directa con dos tenores, al 50 y 25%. Se contó con el apoyo del IFDC (Internacional Fertilizar Development Center, Alabama, EE.UU.), principalmente para la acidulación de la RFC. Las características químicas de estas rocas se presentan en el Anexo 1 y las de los suelos de los sitios experimentales en el Anexo 2.

Este material fue probado en suelos que taxonómicamente son clasificados como inceptisoles, pH 8.3, 2560 msnm 518 mm de precipitación y 18°C de temperatura medias anuales. Los cultivos de comprobación fueron cereales, maíz y trigo, encontrándose respuesta positiva por cultivo, preferentemente en trigo, sobresaliendo la RF acidulada al 50%. (Cuadro 3).

Cuadro 3. Respuesta de maíz y trigo a la aplicación de roca fosfórica parcialmente acidulada (RFCPA). Rendimientos relativos respecto al testigo. Sitio experimental Tamborada.

Fuente	Dosis kg ha ⁻¹ N - P ₂ O ₅ - K ₂ O	Maíz	Trigo
Testigo	0 - 0 - 0	100.0 b	100.0 c
RFC	0 - 100 - 0	102.8 b	111.3 c
RFCPA	0 - 100 - 0	177.6 a	111.5 c
RFCPA 25	0 - 100 - 0	167.2 a	102.2 c
Urea	50 - 0 - 0	178.5 a	129.4 bc
RFCPA 50 + U	50 - 100 - 0	186.0 a	169.8 a
RFCPA 25 + U	50 - 100 - 0	167.3 a	158.1 ab
CV(%)	-	18.2	17.6

También se probó en suelos de altura de la parte andina, clasificados como entisoles, a 3850 msnm, pH 5.4, con una precipitación de 500 mm y 11°C de temperatura. El cultivo de comprobación fue papa (*Solanum andigenum*) en su efecto inicial y trigo de invierno (trigos facultativos) en su efecto residual. En estos suelos hubo respuesta positiva a la fuente acidulada al 50%, donde los rendimientos se aproximaron a los obtenidos con una fuente más soluble como el SFT. (Cuadro 4).

Cuadro 4. Efecto inicial de roca fosfórica parcialmente acidulada (RFPA) sobre papa y efecto residual en trigo de invierno, en kg ha⁻¹, para dos localidades, Tranca Churo y Challa.

Fuente	-	Tranca Churo		Challa
-	Dosis kg ha ⁻¹	Papa	Trigo (E. Residual)	Papa

Testigo	-	5937 c	152.1 d	4750 cd
RFPA 50	0 - 120 - 0	7539 cd	758.2 a	10762 abc
RFPA 25	0 - 120 - 0	7569 cd	370.5 bcd	8500 abcd
SFT	0 - 120 - 0	9444 a	503.2 ab	16583 ab
Urea	80 - 0 - 0	2500 c	131.3 bcd	3417 c
RFPA 50 + N	80 - 120 - 0	17568 ab	415.1 abcd	1558 ab
RFPA 25 + N	80 - 120 - 0	10382 abc	417.1 abcd	12125 b
SFT + N	80 - 120 - 0	23159 a	455.5 abc	22916 a
CV(%)	-	24	35	20

2.2.1. Acidulación biológica de la RF con abonos orgánicos.

La RF fue acidulada a través de reacciones de oxidación incubadas con estiércol vacuno, de tal forma que éste solubilizará la roca mediante reacciones de ácidos orgánicos. También, y para aumentar la efectividad, se agregó azufre a fin de probar el posible efecto acidulante, incorporando tenores de 0.5, 1, 2%.

La evaluación de este material se efectuó en macetas, con trébol alejandrino, en tres clases de suelo. En suelos alcalinos se encontró una tendencia a incrementar rendimientos donde se añadió azufre, la combinación de RF y S en las dosificaciones de 0.5, 1, 2% no mostró un incremento significativo. En suelos alcalinos tendía a manifestarse respuesta al azufre y no a fósforo (Cuadro 5).

Cuadro 5. Rendimiento de materia seca (g por maceta) de Trebol alejandrino en tres suelos con roca fosfórica acidulada biológicamente.

-	N-P ₂ O ₅ -K ₂ O	Clases de suelos		
Fuente	-	Chapare	Toralapa	Tamborada
Roca capinota	50-25-50	30.30 abc	23.37 abcd	36.40 abcde
-	50-25-50 + 2% S	4.62 h	5.62 f	42.17 a
-	50-50-50	31.47 ab	22.45 abcde	34.30 abcde
-	50-50-50 + 0.5 S	28.82 abcd	25.07 abc	36.62 abcd
-	50-50-50 + 1 S	27.12 defgh	25.87 ab	39.65 ab
-	50-50-50 + 2 S	20.97 abcde	24.10 abcd	39.55 ab
-	50-25-50 + 1 S	28.02 abcde	25.27 ab	36.80 abcde
Roca Bayobar	50-50-50	27.32 abcde	25.27 abcde	33.10 abcd
-	50-50-50 + 2 S	26.40 abcde	22.35 abcde	37.47 abc
Harina de huesos	50-50-50	32.65 a	24.07	25.60 def
-	50-50-50 + 2 S	27.97 abcde	32.42 abcd	36.12 abcd
Testigo	00-00-00	2.5 h	14.47 cdef	22.10 h
CV%	-	20	27	20

3. - Respuesta a la aplicación directa en suelos ácidos de la parte tropical. (Tercera etapa).

La zona tropical y subtropical es caracterizada por regiones con alta precipitación 1000 - 3000 mm, temperatura promedio 25 - 28 °C, suelos de pH ácido, disponibilidad de fósforo de baja a muy baja, capacidad de fijación de fósforo alta, pudiéndose variar entre 25 a 100 por ciento. Taxonómicamente son clasificados como oxisoles.

Los cultivos utilizados para la comprobación de la RF en aplicación directa fueron maíz (*Zea maiz*),

variedad Tuxpeño, y arroz (*Oriza sativa*), en ambos el sistema de aplicación fue en bandas al surco, el grado de finura 100 mallas, la RF fue aplicada en interacción con nitrógeno y potasio, como se observa en los cuadros 6 y 7.

Cuadro 6. Respuesta a la aplicación directa de roca fosfórica capinota (RFC) en cultivos de arroz en dos localidades, La Jota y Sapecho.

-	-	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	
		La Jota (Chapare)	Sapecho (Yungas L.P.)
Fuente	Nivel N-P ₂ O ₅ -K ₂ O		
Testigo	00 - 00 - 00	1420 c	2708 c
NK	50 - 00 - 50	1619 ab	3798 abcd
RFC	50 - 50 - 50	1902 a	3923 ab
RFC	50 -100 - 50	1573 abc	3937 ab
RFC	50 -200 - 50	1799 ab	4166 a
RB	50 - 50 - 50	1680 ab	4097 a
Rb	50 -100 - 50	1779 a	3881 abc
RB	50 -200 - 50	2064 a	3812 abc
SFT	50 - 50 - 50	2319 a	3923 ab
SFT	50 -100 - 50	2199 a	3958 ab

Cuadro 7. Respuesta a la aplicación directa de roca fosfórica capinota (RFC) en cultivos de maíz en la localidad de Vallecito, Santa Cruz.

-	Nivel			Rendimiento kg ha ⁻¹
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
Fuente	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	-
Testigo	0	0	0	332
NK	50	0	0	5090
RFC	50	100	50	6074
RFC	50	500	50	6262
RFC	50	1000	50	6289
RB	50	100	50	5277
RB	50	500	50	7199
RB	50	1000	50	7097
SFT	50	100	50	6551
SFT	50	500	50	6473

En estos ensayos se observó respuesta positiva en arroz a la aplicación directa de RF en los niveles de 100 - 200 kg de P₂O₅ ha⁻¹ y en maíz de 100 kg de P₂O₅ ha⁻¹. La información disponible consideramos quizás insuficiente para la utilización de la RF en suelos ácidos, pero los resultados como evidencia conducen a la conveniencia de ampliar en un programa extensivo en parcelas demostrativas del uso de este recurso local.

Análisis económico

En el futuro, la conveniencia de uso por el agricultor dependerá del precio que deba pagar por la adquisición de RF en comparación por el precio de superfosfato simple o triple pero realizar un análisis económico todavía no es posible, ya que no se tiene RF disponible directamente para el agricultor. Sin embargo, se realizó un análisis económico preliminar en el ensayo de maíz del Vallecito, Santa Cruz, en un trabajo titulado "Respuesta agronómica del cultivo de maíz a la aplicación de roca fosfórica" por

Ricardo Rodríguez (Cuadro 8). En el mencionado trabajo la evaluación económica se realizó en base a los rendimientos de maíz, siguiendo el método de presupuestos parciales propuesto por el CIMMYT.

Cuadro 8. Ingresos netos y marginales, en US\$ ha⁻¹, y análisis de dominancia.

Tratamiento N - P ₂ O ₅ - K ₂ O	Ingreso total	Costo variable	Ingreso neto	Ingreso marginal	Análisis de dominancia
SFT 50-100-50	648	170	478	149	-
RFC 50-100-50	601	136	465	436	-
NK 50-00-50	504	83	421	92	-
T 00-00-00	329	-	329	-	-
RFB 50-100-50	522	196	326	-	dominado
SFC 50-500-50	620	357	263	-	dominado
SFT 50-500-50	641	518	123	-	dominado
RFB 50-500-50	713	655	58	-	dominado

Fuente: Respuesta agronómica del cultivo del maíz a la aplicación de la roca fosfórica. Ricardo Rodríguez.

Según el Cuadro 8 el tratamiento de SFT correspondiente a 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ produce el mayor ingreso neto de US\$ 478 y un ingreso marginal de US\$ 149. A continuación se ubica el tratamiento con RFC, también con 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅, cuyo ingreso neto es de US\$ 465 y un ingreso marginal de US\$ 136 sin embargo, en el Cuadro 9 se observa que el tratamiento con RFC con una dosis de 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ produce un mayor incremento de los costos variables US\$ 53 con una mayor tasa de retorno 83%, en relación al tratamiento con SFT el cual presentó un menor incremento al costo variable de US\$ 34 con una tasa de retorno 38.2% inferior al tratamiento con RFC.

Cuadro 9. Cálculo de incrementos al ingreso neto, costo variable y tasa de retorno.

Tratamiento N-P ₂ O ₅ -K ₂ O ₅		Ingreso neto US\$ ha ⁻¹	Costo variable US\$ ha ⁻¹	Ingreso neto US\$ ha ⁻¹	Costo variable US\$ ha ⁻¹	Tasa de retorno
SFT	50-100-50	478	170	13	34	38.2
RFC	50-100-50	465	136	44	53	83.0
T	00-00-00	421	83	-	-	-

CONCLUSIONES

Los resultados de las evaluaciones agronómicas muestran la posibilidad económica de sustituir a los superfosfatos, tomando en cuenta las características de los suelos:

1. La aplicación directa de RFC en entisoles e inceptisoles tienen una reactividad escasa.
2. La aplicación de RF parcialmente acidulada tienen una respuesta más clara en entisoles que en inceptisoles.
3. La aplicación directa de RFC en oxisoles tiene una reactividad positiva.
4. La acidulación biológica por fermentación aeróbica en presencia de materia orgánica, roca fosfórica y azufre parece no mejorar la reactividad de la roca fosfórica.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Bellott M.J.y Navia; 1990. Serie Técnica AGRUCO No. 22, Avance del Proyecto AGRUCO en investigación con roca fosfórica Cbba. - Bolivia.
2. León L.A. y L. Hamamond; 1984. La roca fosfórica, fertilizante de bajo costo. Tomo II Grupo Latinoamericano de investigadores de roca fosfórica. Cbba. - Bolivia.
3. León L.A. y Arregoces; 1987. Alternativas sobre el uso como fertilizante de fosfatos nativos en América tropical y Subtropical CIAT - Colombia.
4. León L.A. y N. Chien; 1987. Effect of compaction of low and medium reactive phosphate rocks with triple superphosphate, urea, and potassium Chloride on phosphorus availability; I.F.D.C.; Alabama - U.S.A.
5. Rico, Augstburger, Bellot M., Villarroel; 1986. Evaluación agronómica de la roca fosfórica capinota en la zona andina de Bolivia; Cbba. - Bolivia.
6. Villarroel; 1988. Serie Técnica No. 6 AGRUCO. Eficacia Agronómica de la Roca Fosfórica; Cbba. - Bolivia.

Anexo 1. Análisis químico de la roca fosfórica Capinota (RFC) parcialmente acidulada y sin acidular.

-	Total P ₂ O ₅	Soluble en H ₂ P ₂ O ₅	Soluble en citrato P ₂ O ₅	So ₄
RFC	19.9	-	2.3	0.6
RFCPA 25	17.0	2.4	2.3	10.8
RFCPA 50	15.6	4.0	3.5	16.7

Fuente: I.F.D.C.

Anexo 2. Propiedades químicas de los suelos en los sitios experimentales.

Localidades	pH (H ₂ O)	MO %	P ₂ O ₅ ppm	CE mmhos	Cationes intercambiables meq/100 g			
					Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺
-	-	-	-	-				
Challa	5.4	1.5	6.2	-	4.0	1.5	0.4	1.0
Toralapa	5.7	1.7	9.0	0.070	2.5	0.5	0.25	0.24
Tamborada	8.2	1.7	4.2	0.147	5.0	3.0	0.9	1.3
Sapecho	6.3	0.7	4.5	0.100	1.2	0.5	0.7	0.2
Vallecito	5.2	4.6	5.3	0.680	6.6	0.8	0.07	0.5