PN-ABK-402

INVESTIGACIONES Y USOS DE LA ROCA FOSFORICA EN EL PERU

J.C Alegre y R. Chumbimune

Trabajo presentado en la II REUNION DE LA RED LATINOAMERICANA DE ROCA FOSFORICA, San Cristobal, Edo. Tachira - Venezuela. 13-16 de Marzo, 1991.

Investigaciones y Usos de la Roca Fosfórica en el Perú

J.C. Alegre*
R. Chumbimune**

RESUMEN

En el norte del Perú se encuentran ubicados los yacimientos de fosfatos de Sechura, considerados como uno de los más grandes del Pacífico, su volumen se estima en 10,000 millones de toneladas métricas de concentrados obtenibles al 31% de P_2O_5. Esta roca es un fluor-hydroxiapatita proveniente de un depósito de origen orgánico. Tiene aproximadamente 30% de P_2O_5 del cual el 25% del total es soluble en citratos. Además tiene un alto contenido de CaO (45.9%).

En los últimos 15 años se han realizado en el Perú investigaciones con esta roca, habiéndose probado experimentalmente su gran eficiencia especialmente en suelos ácidos del trópico, los cuales abarcan alrededor de 50 millones de hectáreas entre Ultisoles e Inceptisoles. Estos suelos generalmente son deficientes en P y otros nutrientes.

Su uso en el Perú se ha incrementado en los últimos años para la preparación de fertilizantes fosfatados y compuestos mas que en forma natural. El consumo en forma natural ha sido muy bajo, habiéndose usado en el año 1990 aproximadamente 1000 TM en la Sierra y Costa del Perú para una área agrícola de 1000 hectáreas. Los volúmenes de compra de roca de las plantas de fertilizantes son entre 15,000 a 20,000 TM/año. Minero Perú que es la empresa que vende este producto también esta exportando. Por ejemplo el año 1990 exportó 20,000 TM a Nueva Zelandia.

Los trabajos anteriores con roca fosfórica se hicieron con la roca molida de un tamaño de partículas con un 90% que pasa la malla entre 60-140 (mesh) y un 5% por mayor de 140.

En un convenio entre Minero Peru-INIAA-ENCI, se está investigando y promocionando el uso de la roca fosfórica en los suelos ácidos de la Selva. Estos trabajos todavía siguen evaluándose en cuanto a su efecto residual.

Se hizo un ensayo de fuentes y dosis de P en suelos ácidos usando 5 niveles de roca fosfórica Bayovar y Superfosfato triple para los cultivos de arroz de secano, maíz y caupí. El maíz respondió muy bien a la aplicación de la roca y su nivel esta entre 180 a200 Kg P_2O_5/ha. Después se hizo un ajuste de la curva de la respuesta a tres niveles de acuerdo a los resultados del primer ensayo para las dos fuentes y se inició la evaluación del efecto residual

---

* PhD Físico de Suelos, Líder del Proyecto Suelos Tropicales. Yurimaguas, Loreto - Perú.

** Ing. Especialista en Suelos, Coordinador del Porgrama Frutales Nativos, Iquitos - Perú.

como abonamiento de fondo a dos niveles. Los resultados iniciales reiteran la respuesta alcanzada para el maíz. También se estan conduciendo parcelas de comprobación en campos de agricultores con el nivel de 200 kg P_2O_5 para cultivos anuales y con una aplicación de fondo para cultivos perennes (castaña, cítricos, café, cacao). El cultivo de caupí no presenta respuesta a las aplicaciones de P debido a sus bajos requerimientos en el suelo.

Con los resultados alcanzados hasta la fecha se puede concluir que el tamaño de las particulas pasadas por las mallas 60-140 Mesh, se adecúa a las necesidades de los suelos de la Selva baja. El pH mas recomendable para la aplicación de la roca fosfórica es menor de cinco. Los cultivos de arroz de secano y caupí no respondieron a la aplicación de P debido a sus bajos requerimientos, en cambio el maíz respondió teniendo los niveles adecuados entre 180, 200 kg P_2O_5/ha. La roca se debe aplicar con el cultivo de cabecera con maíz, siendo su efecto residual aprovechable con el segundo cultivo. La roca se muestra mas eficiente bajo condiciones de suelos de Selva baja con alta acidez, o en suelos con altos contenidos de materia orgánica, los cuales presentan una buena capacidad de absorción del P.

INTRODUCCION

En el norte del Perú se encuentran ubicados los yacimientos de fosfatos de Sechura, considerados como uno de los más grandes del Pacífico, su volumen se estima en 10,000 millones de toneladas métricas de concentrados obtenibles al 31% de P_2O_5. Esta roca es un fluor-hydroxiapatita proveniente de un depósito orgánico. Tiene aproximadamente 30% de P_2O_5 del cual el 25% del total es soluble en citratos. Además tiene un alto contenido de CaO (45.9%). Su granulometría y análisis químico estan dadas en los cuadros 1 y 2.

La necesidad de incorporar nuevas áreas a la agricultura a generado una fuerte corriente migratoria de agricultores de origen andino hacia la Selva. Una de las características principales de los suelos de este ecosistema es la de presentar serias deficiencias de fósforo. De acuerdo a estudios realizados por Sánchez y Benites (1983) se estima que en la Amazonía Peruana el 66% de los suelos, es decir 49.7 millones de hectáreas presentan este problema. Problemas de fijación de fósforo son comunes en 18.9 millones de hectáreas, lo cual representa el 25% del área total (Cuadro 3 y 4).

En los últimos 15 años se han realizado en el Perú investigaciones con la roca fosfórica, y se ha demostrado su eficiencia y uso, especialmente en suelos ácidos con sistemas de agricultura continua mediante la corrección de la acidez y uso de otros fertilizantes.

Para especies perennes o cultivos anuales adaptados a suelos ácidos también es factible el uso de fuentes no tradicionales como la roca, ya que las formas tradicionales de fertilizantes fosfóricos son importados y no se tiene disponibilidad. Por ejemplo ENCI para el año 1985 reportó un consumo de P de 20,500 TM los cuales fueron aumentando hasta el año 1988 y a partir del año 1989 este consumo decayó notablemente debido a que los fertilizantes ya no fueron subsidiados (Cuadro 5).

Si vemos la producción nacional de fertilizantes en el cuadro 6, se tiene que para las fuentes fosfóricas (Supersimple y compuestos) estos también decayeron a partir del año 1989. No se tienen datos sobre el uso de roca fosfórica sino a partir del '89 que en realidad fueron muy bajos. Generalmente el consumos de fertilizantes fue mas del 50% de lo producido.

Este mayor consumo de fertilizantes y dentro de estos los compuestos fosforados durante 1985 se debió a la mayor importación y a los subsidios dados por el gobierno (Cuadro 7).

El uso de roca fosfórica se ha incrementado en los últimos años para la preparación de fertilizantes fosfatados y compuestos mas que en forma natural. El consumo en forma natural ha sido muy bajo, habiéndose usado en el año 1990 aproximadamente 1000 TM en la Sierra y Costa del Perú (Cuadro 8) para un área agrícola aproximado de 1000 hectáreas. La mayor parte de esta roca fue usada para el cultivo de papa con dosis de 140 a 160 kg P_2O_5/ha y complementado con estiercol.

Los volúmenes de compra de roca fosfórica de las plantas de fertilizantes son entre 15,000 a 20,000 TM/año. Minero Perú que es la empresa que vende este producto también esta exportando. Por ejemplo el año 1990 exportó 20,000 TM a Nueva Zelandia.

Considerando la importancia de estos yacimientos y las necesidades de fósforo para el incremento de la producción y productividad de las áreas agrícolas, en especial de los suelos de nuestra Amazonía, se firmó un convenio de cooperación interinstitucional entre Minero Peru, Instituto Nacional de Investigación Agraria y Agroindustrial (INIAA), y la Empresa Nacional Comercializadora de Insumos (ENCI), para efectuar investigaciones y promocionar el uso de la roca fosfórica en los suelos ácidos de la Sierra y Selva del Perú. Estos trabajos todavía siguen evaluándose en cuanto a su efecto residual.

Reactividad y eficiencia de la Roca Fosfórica

La roca fosfórica de Bayovar es considerada altamente reactiva bajo condiciones de suelos ácidos, su eficiencia de utilización con respecto a otras rocas ha sido demostrada en estudios anteriores.

Tomasini (1983) determinó una mayor eficiencia de la roca fosfórica de Bayovar que la roca fosfóricoa de Florida trabajado con 18 suelos con tenores medios a altos de P de la zona central del Perú en el cultivo de papa, ambas rocas tuvieron una menor eficiencia relativa que el Superfosfato simple.

Noel (1976) evaluó a la RF Bayovar comparándola con la RF de Florida en un suelo fuertemente ácido (pH 4.8) a diferentes niveles de su capacidad máxima de adsorción y a tres tamaños de partículas 60, 150, 270 mesh bajo condicones de invernadero en un cultivo de sorgo. Se obtuvo una mayor concentración de P en la parte aérea y mayor rendimiento en materia seca en tres cortes consecutivos en los tratamientos con aplicaciOn de RF Bayovar, así mismo se determinó que a un menor tamaño de partícula existía una mayor concentración de P en la parte aérea, lo cual tenía un efecto positivo sobre la concentración de N en las hojas.

Buitron (1976) evaluó la RFB bruta y mezclada con superfosfato simple (50-50) en un cultivo de papa bajo condiciones de invernadero en un suelo ácido (pH 4.8) de Yanalpa, Junín y determinó que la mezcla de super simple y RFB molida y tamizado a malla 270 tiene un comportamiento similar al del super simple en términos de rendimiento de materia seca total, peso fresco de tubérculos, absorción de fósforo y coeficiente aparente de uso. Estos resultados fueron corroborados por Cabello (1979) quien trabajó en un suelo ácido de Villarica (pH 5.6) con los cultivos de papa y maíz recomendando el nivel de 180 ppm, no se encontró respuesta al efecto residual.

Bandy y León (1983) determinaron la eficiencia agronómica de la RF Bayovar y de la RF de Florida con respecto al super simple en un Paleudult de Yurimaguas a tres niveles de aplicación 44, 88, 176 kg P/ha y tres tratamientos de acidulación parcial en el cultivo de arroz. No encontraron respuestas a la acidulación debido a la alta reactividad de la roca en suelos ácidos, el P disponible fue similar en los tratamientos con RF Bayovar y el super simple a todos los niveles con excepción del 176 kg P/ha. El efecto residual se mantuvo hasta el tercer cultivo y el mas alto nivel disminuyó considerablemente la saturación de aluminio. Los dos tratamientos con Roca Fosfórica fueron siempre superiores al control pero no superaron al nivel de 22 kg P/ha de super simple aplicados en cada cultivo.

Efecto del tamaño de gránulo, niveles y forma de aplicación

Rajan (1981) evaluó el efecto del tamaño de gránulo de tres rocas fosfóricas en un suelo ácido de pH 5.5 en el cultivo de Rye grass. Las rocas evaluadas fueron: NC sin moler (15% menos de 100 mesh); NC molida (90% menos de 100 mesh); NC molida

i (60% menos de 100 mesh); Roca Bayovar sin moler (60% menos de 100 mesh); R.Florida sin moler (16% menos de 100 mesh); R.Florida molida (80% menos de 100 mesh) comparándolas con el superfosfato. Sus conclusiones indican que la RFB sin moler tiene similar comportamiento que la roca NC molidas a 60 ó 90% menos de 100 mesh; que no existe ventaja económica en la molienda de rocas reactivas a tamaños de gránulos mas finos que un 60% menor de 100 mesh, la molienda de rocas menos reactivas como la de Florida no incrementan su efectividad

Davelouis (1980) en un Ultisol de Pucallpa de pH 4.5 evaluó el efecto de la RFB a 5 niveles de aplicación de P (200, 400, 600, 800 y 1000 ppm) con 5 tamaños de partículas (65, 100, 150, 200 y 270 mesh) interaccionando con 5 niveles encalados a 5 períodos de incubación. El determinó una interacción negativa del P con la finura de la RFB al nivel de 0.5 y 1.0 meq Ca/100 gr, lo cual ocasiona la disminución del Al en el subsuelo desde 1.32 meq/100 gr a 0.20 meq/100 gr al aplicar 600 ppm de P con una finura de 150 mesh. En cuanto al tiempo de incubación de la RFB y de la cal indica que con 2 meses son sufiencientes para neutralizar el 80% del Al cambiable

Rojas (1981) evaluó la interacción de la RFB con la materia orgánica y la Cal en un suelo ácido de Chanchamayo, Junín en una rotación maíz-frejol. Aplicó 0 y 2 meq Ca/ha, y 0 y 10 TM de estiercol, utilizó 300 kg P2O5/ha como abonamiento de fondo con RFB y 160 kg P2O5/ha como abonamiento de mantenimiento con super simple. Determinó que con el encalado se incrementaban los rendimientos y eran significativos para el primer cultivo, el abonamiento de fondo tenía un efecto residual en términos de rendimientos similar al de mantenimiento superando significativamente al testigo. Observó un mejor resultado de los abonamientos fosforados cuando se acompañaban con encalado o aplicaciones de materia orgánica.

Gichuru y Sánchez (1985) en Yurimaguas evaluaron 4 niveles de P (25, 50, 100 y 200 kg P_2O_5/ha) con dos fuentes super simple y RF Bayovar en una rotación arroz-arroz-caupí y determinaron que la RFB tuvo igual comportamiento que el super simple como fuente de P y no encontró respuesta para el primer cultivo, en el tercer cultivo (arroz) y cuarto cultivo (caupí) hubo respuesta pero ésta no fue muy marcada.

Villachica y Sánchez (1976) evaluaron la interacción entre la RFB y la fertilización con azufre para determinar el efecto que causaría la insuficiencia de S al cambiar de fuente de P. Aplicaron 3 niveles de roca y dos de super triple, adicionalmente mezclaron al superfosfato simple con la RFB. Los rendimientos de maíz fueron bajos con RFB los que decrecieron cuando se aplicó condicionalmente el azufre al acentuarse la toxicidad del aluminio. Al encalar se observó un incremento en rendimiento, con superfosfato triple al nivel de 120 kg P_2O_5 observándose un incremento en los rendimientos con las aplicaciones de S. No se encontró respuesta a la mezcla de RFB y SFS. Al evaluar el efecto residual en los cultivos de arroz y soya, sólo se encontraron respuestas en los tratamientos que recibieron 1.4 TM de cal/ha.

Consideraciones para el manejo de la Roca Fosfórica

Mendieta y Moran (1977) llegan a la conclusión después de 47 ensayos en cultivos anuales y 16 en pasturas que la RFB se debe concentrar a no menos de 30% de P2O5, que el 80% del tamaño de partículas debe pasar la malla 200 y que se debe utilizar la RFB en suelos con pH menores de 7 que presenten bajos contenidos de P disponible (ppm Olsen).

Cano et al (1978) evaluaron la efectividad agronómica y económica del fosbayovar como fuente de fósforo. Concluyeron que en el cultivo de papa se tiene un buen efecto residual con un valor agronómico 70% lo que posibilita su uso directo; en trigo no se

encontró respuesta a la aplicación en bandas para RFB, lo cual se magnifica si se superpone mantenimiento en banda y fondo al voleo. Evaluaron el valor agronómico de los niveles de 120 y 150 Kg P2O5 en 21 ensayos indicando la posibilidad del uso directo de la RFB si es que el precio de la TM de P2O5 sea menor en 30% que la TM con superfosfato simple.

Benites et al (1984) recopilando las experiencias en fósforo al cabo de 11 años en la EE Yurimaguas indica que para un sistema de cultivos continuos con la rotación maíz-soya-arroz no encontró diferencias entre la RF Bayovar y el super simple como fuente de P después del tercer cultivo. El nivel de 50 Kg de P2O5/cultivo es el mas indicado. También indica que la RF Bayovar permite una rápida disponibilidad de P para el primer cultivo y disminuye los porcentajes de saturación de aluminio después del tercer cultivo. Para un sistema de pasturas con Panicum maximum determinaron un mayor efecto residual de la RFB que el super simple y recomiendan 200 a 250 kg P2O5/ha con una TM de cal para obtener máximos rendimientos. En arroz bajo inundación no encontraron respuesta después de 4 cosechas a las aplicaciones de fósforo con cuatro niveles y tres fuentes en estudio.

Se debe considerar que además de los factores tales como la composición química, tamaño de partículas, forma de aplicación, período de incubación, existen otros factores propios de cada suelo que también afectan la disponibilidad de P.

Mackay et al (1986) trabajando con 30 suelos establecieron que la disolución de la roca fosfórica Bayovar se incrementaba cuando el Ca intercambiable decrecía y la capacidad de adsorción de P se incrementaba. La tasa inicial de disolución de la RF en el suelo esta influenciada por la concentración de Ca y P en la solución. Smyth y Sánchez (1982) también establecieron que la disolución de RF se incrementa cuando la capacidad de adsorción de P del suelo se incrementaba.

Syers y Mackay (1986) evaluaron las reacciones de la RF Bayovar y el super simple en el suelo que determina una diferencia muy marcada en la disolución inicial y la cantidad de P disponible. Obtuvo una alta correlación ($r = 0.935^{***}$) entre la disolución de la RFB y la capacidad de adsorción en seis suelos y determinaron que la extensión de disolución de la RFB se incrementaba cuando la capacidad de adsorción de P se incrementaba. En contraste la correlación para el superfosfato simple fue pobre ($r = 0.359$) destacando el hecho de la disolución inicial de las fuentes de P solubles en agua, tales como el superfosfato simple que es independiente de la capacidad de adsorción de P del suelo. El incremento de la capacidad de adsorción esta asociado a un incremento en el contenido de materia orgánica ($r = 0.994^{**}$). El efecto de la materia orgánica en la extensión de la disolución de la RFB sería a través del acomplejamiento del Ca, o a través del suplemento de iones hidrógenos.

Mackay et al (1986) determinaron que la fracción de P extractable en el suelo cuando el superfosfato simple es adiconado, declinaba con el tiempo de aplicación mientras que cuando la RFB se añadía el P extractable se incrernentaba. Syers y Mackay (1986) determinaron una disminución en las cantidades de P extractable cuando la capacidad de adsorción del suelo se incrementaba. Se debe puntualizar el efecto dominante que las reacciones de adsorción tienen en la fracción de P disponible en el suelo.

Ensayos con Roca Fosfórica

El objetivo principal de estos ensayos es el de determinar los niveles y frecuencia de aplicación de la roca fosfórica de Bayovar (RFB) en suelos ácidos de la Amazonía, que permitan sustituir parcialmente la utilización de fosfatos importados de alta solubilidad.

Ensayos preliminares y dosis de fósforo en suelos ácidos

Se efectuaron inicialmente ensayos en Red para determinar el nivel de aplicación de la roca en la que se trabajaría. Se diseñó un ensayo con cinco niveles de Roca Fosfórica Bayovar y 3 niveles de Superfosfato Triple (sólo 3 por su alta solubilidad) para una rotación de arroz en secano, maíz y caupí. Estos ensayos se llevaron a cabo en 3 localidades: Puerto Maldonado en Madre de Dios, Moyobamba en San Martín y Yurimaguas en Loreto.

No se obtuvo respuesta para el cultivo de arroz y caupí. El maíz respondió significativamente a la aplicación de roca y su nivel esta entre 180 a 200 kg de P2O5/ha. Como se puede ver en la figura 1.

Ensayos definitivos de fuentes por niveles de fósforo en suelos ácidos

De acuerdo a los resultados del ensayo preliminar se ajustó la curva de repuestos a 3 niveles para las dos fuentes y se inició la evaluación del efecto residual como abonamiento de fondo a dos niveles. Se usó una rotación de caupí-maíz. Los tratamientos en estudio estan descritos en el cuadro 9.

Las características químicas del suelo se dan en el cuadro 10. Los rendimientos de grano para maíz y caupí estan dadas en el cuadro 11. En el primer cultivo de caupí no se encontró respuesta a la aplicación de fósforo, ni en fuentes ni en niveles. La variedad de caupí Yurimaguas es muy resistente a suelos ácidos y además sus requerimientos de P son bajos. Además el campo estuvo inicialmente cubierto en kudzu (Pueraria phaseoloides) por un período de 2 años, el cual fue incorporado al suelo y como el reciclaje es rápido, los niveles incorporados fueron suficientes para el primer cultivo no encontrándose inclusive respuesta a la aplicación de K, los cuales mostraban inicialmente en el suelo tenores debajo del nivel crítico (cuadro 10).

Para el segundo cultivo con maíz se encontraron diferencias significativas para los niveles de aplicación (cuadro 11).

Para la RFB el pico de producción se alcanzó al nivel de 180 kg P2O5/ha observándose un decrecimiento de los rendimientos a mayores niveles. Esto se puede deber a un desbalance catiónico que estaría ocurriendo en el complejo de cambio el cual impediría una buena absorción de micronutrientes. Para la fuente de SFT el pico se alcanzó al nivel de 90 kg P2O5/ha y fue inferior al de la RFB, ésto como consecuencia del ion acompañante Ca que estaría desplazando al Al del complejo de cambio.

Se observó una diferencia significativa para la aplicación de N y K a pesar de que los rendimientos no fueron altos. El efecto residual de la RFB al nivel 180 kg P2O5/ha aplicados en el primer cultivo se manifiesta en el 2do. cultivo y es superior al mismo nivel aplicado en dos fracciones o en cada cultivo.

En otra localidad de la ciudad de Yurimaguas (carretera Km 8 Yurimaguas-Tarapoto) se hizo otro ensayo con 2 fuentes fosfóricas: Roca Fosfórica Bayovar (RFB) y el SuperFosfato Triple (SFT). Los niveles estan descritos en el cuadro 12. Se probaron con una rotación de maíz-caupí.

Las características químicas del suelo se dan en el cuadro 13. Se encontró una respuesta a la aplicación de P en la fuente de RFB al nivel de 200 kg de P2 O5/ha para el primer cultivo de maíz (cuadro 14). A niveles superiores los rendimientos decrecieron.

Con la fuente de SFT se alcanzó el máximo rendimiento con 60 kg P_2O_5, con niveles mas altos los rendimientos no se incrementaron.

Para el segundo cultivo con caupí se apreció el efecto residual de la RFB. Todos los niveles aplicados superaron al testigo e incluso de 30 kg P_2O_5/ha no fue suficiente para el cultivo debido a que es una fuente hidrosoluble el que es absorvido por los coloides del suelo.

Parcelas de comprobación

El objetivo es fomentar la utilización de la Roca Fosfórica de Bayovar (RFB) demostrando su eficiencia en suelos ácidos y el de recuperar los Shapumbales (Inceptisoles ácidos) del Alto Mayo.

Se evaluaron cinco tratamientos con maíz, los cuales estan descritos en el cuadro 15. El nivel de fertilización fue de 90 kg de N, 180 kg P_2O_5 y 60 kg K_2O/ha. Los resultados también se dan en el cuadro 15. El nivel de 180 kg P_2O_5/ha tanto para la RFB como para SFT no fueron significativamente diferentes, pero con RFB se vió un incremento mayor en los rendimientos comparando con el Testigo. Inclusive los rendimientos con la RFB no fueron significativamente diferentes con los de cal pero los rendimientos fueron mas bajos pero mucho mayores que el tratamiento con SFT sin cal.

CONCLUSIONES

1) El maíz responde muy bien a la aplicación de Roca Fosfórica Bayovar y su nivel óptimo está entre 180 a 200 kg P_2O_5/ha.

2) Con niveles medios de P en el suelo el caupí no muestra respuesta a la aplicación de P sea en forma de Roca Fosfórica o Super Triple.

3) A los niveles de 180 kg P_2O_5/ha con Roca Bayovar y de 90 kg P_2O_5/ha como Superfosfato Triple se dieron la máxima producción siendo la RFB superior a SFT.

4) El nivel de 180 kg P_2O_5/ha como abonamiento de fondo con RFB en el cultivo de cabecera es superior a la aplicación fraccionada por cultivo al mismo nivel.

5) El efecto residual de la RFB se observó en el segundo cultivo para todos los niveles.

6) En parcelas de comprobación la respuesta a 180 kg de P_2O_5/ha alcanzó los mejores rendimientos.

7) La Roca se muestra mas eficiente en suelos ácidos de la Selva Baja o en suelos con altos contenidos de materia orgánica, los cuales presentan una buena capacidad de adsorción del P.

REFERENCIAS

BANDY, D.E. and LEON L.A. 1983. Rock phosphate utilization. In Agronomic Economic Research on Soil of the Tropics. 1980-1981 Technical Report. North Carolina State University. Soil Science Department. NC, Raleigh.

BENITES, J.R.; SANCHEZ, P.A.; y BANDY D.E. 1984. Manejo del fósforo en suelos ácidos e infértiles de la Amazonía Peruana. 1ra. Conferencia Latinoamericana de Roca Fosfórica. La roca fosfórica fertilizante de bajo costo. Tomo II "Aplicación Agrícola" grupo de investigadores de roca fosfórica GLIRF. Cochabamba, Bolivia. Pag. 471-500.

BUITRON, B.F. 1976. Evaluación biológica de la roca bruta de Bayovar aplicada sola y en mezcla (50:50) con un superfosfato simple usando un cultivar de papa bajo condiciones de invernadero. Tesis Ing. Agrónomo, UNA La Molina.

CABELLO, M.R. 1979. Determinación del coeficiente aparente de uso del fósforo de diferentes fuentes, bajo condiciones de invernadero en dos cultivos consecutivos de papa y maíz en un suelo ácido de Villa Rica. Tesis Ing. Agrónomo UNA La Molina.

CANO, O.M.; DAVELOUIS, M.J.; VALVERDE, C.; ARCA B.M.; y MENDIETA, J.M. 1978 . Efectividad Agronómica y Económica del Fosbayovar como fuente de fósforo y perspectivas para su uso. Convenio Fosbayovar-FAO-CIP, EE La Molina, CRIA I, COT-INIPA.

DAVELOUIS, M.J. 1980. Efecto del encalado y del fósforo del fosbayovar en el pH y en la neutralización del aluminio en un Ultisol de Pucallpa. Anales Científicos UNA La Molina XVIII (1-4). Pag. 269-280.

GICHURU, M.P.; and SANCHEZ, P.A. 1985. Minimum tillage and phosphorus, sulfur. calcium, magnesium interactions. TropSoil Trienial Technical Report. 1981-1984. Pag. 135-137.

INSTITUTO GEOLOGICO MINERO Y METALURGICO. 1982. Inventario Nacional de sustancias no metálicas, Tomo II. Relación de Yacimientos de no metálicos. Dirección General de Geología, Lima, Peru.

MACKAY, A.D.; SYERS, J.K.; TILLMAN, R.W.; and GREGG, P.E.H. 1986. A simple model to describe the dissolution of phosphate rock materials in soil. Soil Science Society of America Journal 50:291-296.

MACKAY, A.D.; SYERS, J.K.; TILLMAN, R.W.; and GREGG, P.E.H. 1984. A comparison of three soil-testing procedures for estimating the plant availability of phosphorus in soils receiving either superphosphate or a phosphate rock N.Z. Journal Agric. Research 27:231-245.

MENDIETA M.; y MORAN, J. 1977. Informe de los estudios preliminares sobre investigaciones del uso directo de los fosfatos de Sechura (Fosbayovar). Minero Perú.

NOEL, G.N. 1976. Evaluación de fosfatos naturales a diferentes niveles de P2O5 y tamaño de partículas en un cultivo de sorgo (Sorghum vulgare L.) bajo condiciones de invernadero. Tesis Ing. Agrónomo, UNA La Molina.

RAJAN, S.S. 1981. Biosuper and phosphate rock as phosphate fertilizer. Studies at Ruakura. Ruakura Soil and plant research station. Private Bag. Hamilton, New Zeland.

ROJAS DIAZ, J. 1981. Efecto del abonamiento de fondo con cal y materia orgánica en una rotación de cultivos bajo condiciones de invernadero y el campo. San Ramón, Junín. Tesis Magister Scientics. Suelos. UNA La Molina.

SANCHEZ, P.A.; y BENITES. 1983. Posibilidades tecnológicas para el manejo racional de los suelos en la Selva peruana. En: Centro Peruano de Investigación Aplicada, Seminario sobre problemas de desarrollo de la Selva Alta en el Perú. Lima - Perú.

SMYTH, T.J. and P.A. SANCHEZ. 1982. Phosphate rock dissolution and availability in cerrado soil as affected by phosphorus sorption capacity. Soil Science Society of America Journal 46:339-345.

SYERS, J.K. and A.D. MACKAY. 1986. Reactions of Sechura Phosphate rock and single superphosphate in soil. Soil Science Society of America Journal. 50:480-485.

TOMASINI VIDAL L.R. 1983. Evaluación de la disponibilidad del fósforo del suelo y de dos fuentes de fertilizantes fosfatados, usando el isótopo radiactivo P 32 en 18 suelos de la zona central del Perú. Tesis Ing. Agrónomo UNA La Molina.

VILLACHICA, L.M. and P.A. SANCHEZ. 1976. Phosphorus and sulfur fertilization. In Agronomic Economic Research on Tropical Soil. Annual Report for 1975. North Carolina State University. Soil Science Department. NC - Raleigh. Pag. 180-194.

Cuadro 1. Análisis granulométrico Roca Fosfórica de Bayovar.

No. Mtra.	1- 0.5mm 18-35 mesh	0.5-0.25mm 35-60 mes h	0.25-0.106mm 60-149 mesh	0.106mm î mesh
1	0.71	4.85	89.55	4.87
2	0.80	4.83	89.95	4.42
3	0.80	4.35	89.90	4.95
4	0.81	4.61	89.97	4.61
5	0.70	3.83	90.64	4.83
6	0.80	4.30	89.34	5.36
7	0.80	4.20	89.30	5.70
8	0.80	3.70	90.50	5.00
9	0.80	4.70	89.60	4.90
10	0.70	3.70	90.20	5.40
X	0.78	4.32	89.90	5.00

Cuadro 2. Características químicas y de solubilidad de la Roca Fosfórica de Bayovar.

Composición	% Peso	Composición	% Peso
P_2O_5	30.5	Fe_2O_3	0.63
K_2O	0.1	F	2.11
CaO	47.8	CO_2	3.25
SiO_2	2.55	Na_2O	1.74
SO_4	4.02	MgO	0.76
Al_2O_3	0.85	Mat. Org.	3.2

Solubilidad	
En Agua	0.55
En Citrato de Amonio Neutro	9.65
En Acido Cítrico al 2%	17.30
En Acido Fórmico Tec. Wagner	22.59

Cuadro 3. Suelos de la Selva Peruana.

Suelos	Millones de hectáreas	%
Ultisoles	49.2	65
Entisoles	12.8	17
Inceptisoles	10.5	14
Alfisoles	2.3	3
Vertisoles	0.4	1
Molisoles	0.3	-
Espodosoles	0.1	-
TOTAL	75.6	100

Fuente: Sánchez, P.A. y J.R. Benites (1983).

Cuadro 4. Limitaciones de suelos, Selva Peruana

Limitaciones	Millones de hectáreas	% Total Selva
Def. Nitrógeno	70.7	94
Def. Fósforo	49.7	66
Toxicidad de Aluminio	49.2	65
Bajas reservas nutricionales	46.2	61
Alta erodibilidad	23.4	31
Alta lixivización	23.0	30
Sequía 3 meses	20.2	27
Mal drenaje / inundaciones	10.1	13
Poca profundidad	8.0	11

Fuente: Sánchez, P.A. y J.R. Benites (1983).

Cuadro 5. Consumo nacional de fertilizantes en miles de TM para 1985-1990.

Producto	1985*	1986**	1987**	1988**	1989**	1990**
Urea	118.6	206.7	255.23	247.80	181.2	79.4
Nitrato de amonio	36.0	52.8	80.50	73.75	69.4	28.3
Sulfato de amonio	22.7	28.2	33.27	32.24	12.8	9.6
Superfosf. triple	13.4	33.6	47.61	35.38	17.6	13.5
Superfosf. simple	7.5					
Cloruro de potasio	14.3	26.6	36.90	23.78	25.4	9.1
Sulfato de potasio	2.6	6.2	7.02	8.36	6.7	4.7
Fosfato di amónico	14.9	28.1	40.07	40.54	20.8	13.0
Abono com. 12-12-12	15.4	13.9	16.18	15.76	4.7	1.5
Abono com. 7-14-7	5.0	3.0	1.54	1.18	0.2	
Bayomix	2.0	1.8	2.45	2.46	2.0	0.9
Superfos 24		7.0	1.80	0.08	1.4	1.7
Guano isla	36.6	19.5	8.06	17.42	10.6	0.9
Roca fosfórica				5.43	0.5	1.6
TOTAL	290.6	429.8	533.59	508.32	356.3	165.4
N	78.8	124.2	162.7	159.99	115.25	51.47
P	20.5	24.5	44.28	39.29	20.09	13.07
K	13.1	19.0	28.78	21.95	20.26	8.37
TOTAL NPK	113.4	177.2	235.73	221.22	155.6	72.90

* Indus, vendió directamente 5.5 TM de superfosfato simple.
** Ventas Empresa Nacional de Comercialización de Insumos (ENCI)

Fuente: ENCI

Cuadro 6. Producción nacional de fertilizantes en miles TM.

Plantas	FERTISA		INCASA	PETROPERU
Fertilizantes	Sulfato de amonio	Nitrato de amorio	Nitrato de amonio	Urea
Cap.Ins.Planta	14.9	41.60	35.0	156.0
Año				
1985	0.50	26.70	8.30	119.00
1986	1.50	25.00	3.60	136.40
1987*		36.22	0.16	105.00
1988*		34.40	0.32	142.79
1989*		24.40	0.32	
1990*		13.00		5.00

.....

Plantas	INDUS		PESCAPERU	MINEROPERU	TOTAL
Fertilizantes	Superf. simple	compuestos	Guano de islas	Roca Fosfórica	Produción nacional
Cap.Ins.Planta	15.0	30.0	40.0	90.0	332.5
Año					
1985	6.50	16.00	36.60	SI	213.60
1986	7.00	12.90	12.50	SI	205.90
1987*	1.51	18.87	8.50	SI	170.26
1988*	0.50	17.85	24.20	0.5	220.06
1989*	2.01	4.77	5.82	3.5	37.82
1990*	2.50	1.50			25.50

* Compras ENCI
SI = sin información

Fuente: ENCI

Cuadro 7. Importación de fertilizantes en miles de TM realizados por ENCI desde 1985 hasta 1990.

Fertilizantes	1985	1986	1987	1988	1989	1990
Urea		110.05*	153.98	98.20	152.19	77.95
Nitrato de Amonio		27.11	40.47	47.16	59.51	10.30
Sulfato de Amonio	22.47	27.87	29.76	30.33	21.83	
Superfosfato Triple	15.64	37.82	51.74	34.32	27.96	10.44
Cloruro de Potasio	14.32	24.60	38.90	39.98	21.15	
Sulfato de Potasio	2.99	5.70	5.79	8.49	14.46	
Sulfato de Mg y K	1.05	2.86	2.48	3.58	6.56	
Fosfato di Amonico	18.63	32.79**	34.86	43.87	31.07	10.36
TOTAL	74.90	268.79	357.98	305.93	334.72	109.04

* 5.5 miles TM importados por particulares.
** 2.5 miles TM importados por particulares.

Fuente: ENCI

Cuadro 8. Ventas de Roca Fosfórica en forma natural realizados por ENCI durante el año 1995.

SITIO	ROCA FOSFORICA (TM)
Huancayo	96
Jauja	64
Tarma	85
Ayacucho	58
Cajamarca	108
Huánuco	71
Tingo María	21
Cañete	46
Arequipa	17
Camaná	31
Pimentel	21
Trujillo	85
Chimbote	81
Pampas	88
Carhuamayo	61
Callao	67
Total	1000

Fuente: ENCI

Cuadro 9. Tratamientos de fuentes por niveles en el experimento realizado en Yurimaguas, Perú.

TRATAMIENTO			
	Fuente	Nivel (P_2O_5)	Descripción
		kg/ha	
1		0	Sin Nitrógeno y Potasio.
2		0	120 kg N y 120 kg de K_2O por ha.
3	RFB*	90	En cada cultivo.
4	RFB*	180	En cada cultivo.
5	RFB*	270	En cada cultivo.
6	SFT*	60	En cada cultivo.
7	SFT*	120	En cada cultivo.
8	RFB*	180	De fondo solamente al 1er. cultivo.
9	RFB*	270	De fondo solamente al 1er. cultivo.

RFB = Roca Fosfórica Bayovar
SFT = Super Fosfato Triple
* Se les aplica Nitrógeno y Potasio igual al TR 2.

Cuadro 10. Análisis químico del suelo franco arcillo arenoso en el ensayo fuente por niveles de P en San Ramón, Yurimaguas.

Prof.	pH	P	Acidez	Ca	Mg	K	CIC-EF	Sat. Al
		(ppm)	----- Meq/100cc ----				-	%
0-15	5.1	6.2	0.75	3.02	0.81	0.08	4.05	18.4

Cuadro 11. Rendimientos en grano de la rotación caupí-maíz para el ensayo de fuentes por niveles de P en San Ramón, Yurimaguas.

Tratamiento	Caupí	Maíz
kg P_2O_5/ha	------ tm/ha -----	
0	1.39 A**	0.53 E**
0*	1.55 A	0.90 D
90 RFB*	1.53 A	1.19 CD
180 RFB*	1.80 A	2.05 A
270 RFB*	1.52 A	1.50 BC
60 SFT*	1.78 A	1.14 D
120 SFT*	1.81 A	1.64 B
180 RFB*	1.55 A	1.71 B
270 RFB*	1.67 A	1.47 BC

* Con N y K.

** Promedios con la misma letra no son significativamente diferentes con la prueba Waller Duncan al 0.05% P.

Cuadro 12. Descripción de los tratamientos de fósforo ensayo de campo realizado en el Km 8 de la carretera Yurimaguas-Tarapoto.

TRATAMIENTO		
Fuente	Nivel (P_2O_5)	Descripción
	kg/ha	
1	0	Sin Nitrógeno y Potasio
2	0	100 kg N y 50 kg de K_2O por ha
3 RFB*	100	Sólo en el primer cultivo
4 RFB*	150	Sólo en el primer cultivo
5 RFB*	200	Sólo en el primer cultivo
6 RFB*	250	Sólo en el primer cultivo
7 RFB*	300	Sólo en el primer cultivo
8 SFT*	30	Sólo en el primer cultivo
9 SFT*	60	Sólo en el primer cultivo
10 SFT*	90	Sólo en el primer cultivo
11 SFT*	120	Sólo en el primer cultivo
12 SFT*	150	Sólo en el primer cultivo

* Se aplicó N y similar al TR 2.

Cuadro 13. Análisis químico del suelo franco arenoso en el experimento de fuente por niveles de P en el km 8 carretera Yurimaguas-Tarapoto.

Prof.	pH	P	Acidez	Ca	Mg	K	CIC-EF	Sat. Al
		(ppm)	----- Meq/100gr -----					%
0-15	5.2	6.0	0.53	16.9	2.42	0.26	20.15	2.7

Cuadro 14. Rendimientos en grano de la rotación maíz caupí en el ensayo de fuentes por niveles de P en el Km 8 carretera Yurimaguas-Tarapoto.

Tratamiento	RENDIMIENTOS Maíz	Caupí
kg P_2O_5/ha	— — — tm/ha — — —	
0	0.90 E**	0.89 D
0*	1.21 DE	1.19 CD
100 RFB*	1.27 DE	1.62 ABC
150 RFB*	1.91 BC	1.59 ABC
200 RFB*	2.53 A	1.74 ABC
250 RFB*	1.61 CD	1.70 ABC
300 RFB*	1.34 D	1.98 AB
30 SFT*	1.29 DE	1.23 CD
60 SFT*	2.09 B	2.13 A
90 SFT*	1.88 BC	1.36 BCD
120 SFT*	1.36 D	1.70 ABC
150 SFT*	2.02 BC	1.80 ABC

* Con N y K.

** Promedios con la misma letra no son significativamente diferentes con la prueba Waller Duncan al 0.05% P.

Cuadro 15 Descripción de los tratamientos y rendimiento de maíz en la parcela de comprobación realizada en Calzada, Moyobamba.

Tratamiento	Descripción	Rendimiento Grano
------kg/ha--------		tm/ha
0 - 0 - 0	Control	0.76 B*
90 N - 180 P_2O_5 - 60 K_2O	RFB	1.51 AB
90 N - 180 P_2O_5 - 60 K_2O	SFT	0.54 B
90 N - 180 P_2O_5 - 60 K_2O	SFT + 2 Ton cal	0.54 A
90 N - 180 P_2O_5 - 60 K_2O	RFB + 2 Ton cal	2.46 A

* Promedios con las mismas letras no son significativa mente diferentes con la prueba Waller Duncan al 0.05% P.

Cuadro 16. Rendimientos en grano de la rotación caupí-maíz en el ensayo de fuentes por niveles de P en el Km 8 carretera Yurimaguas-Tarapoto.

Tratamiento	RENDIMIENTOS Caupí	Maíz
kg P_2O_5/ha	— — — tm/ha — — — — —	
0	1.68 D**	2.06 A**
0*	2.14 CD	2.47 A
90 RFB*	2.41 ABC	2.43 A
135 RFB*	2.41 ABC	2.63 A
180 RFB*	2.77 ABC	2.61 A
225 RFB*	3.05 A	2.59 A
270 RFB*	2.97 AB	2.52 A
30 SFT*	2.29 BCD	2.69 A
60 SFT*	2.44 ABC	2.64 A
90 SFT*	2.46 ABC	2.57 A
120 SFT*	2.25 BCD	2.74 A
150 SFT*	2.60 ABC	3.05 A

* Con N y K.
** Promedios con la misma letra no son significativamente diferentes con la prueba Waller Duncan al 0.05% P.

Cuadro 17. Rendimientos de grano de maíz en el ensayo de fuentes por niveles de P en Calzada, Moyobamba.

TRATAMIENTOS	RENDIMIENTOS GRANO
	tm/ha
0	0.69 D**
0*	1.29 CD
90 RFB*	0.96 D
180 RFB*	2.20 B
270 RFB*	3.15 A
60 SFT*	1.45 BCD
90 SFT*	1.06 D
180 SFT*	i2.09 BC
270 SFT*	3.10 A

* Con N y K.

** Promedios con la misma letra no son significativamente diferentes con la prueba Waller Duncan al 0.05% P.

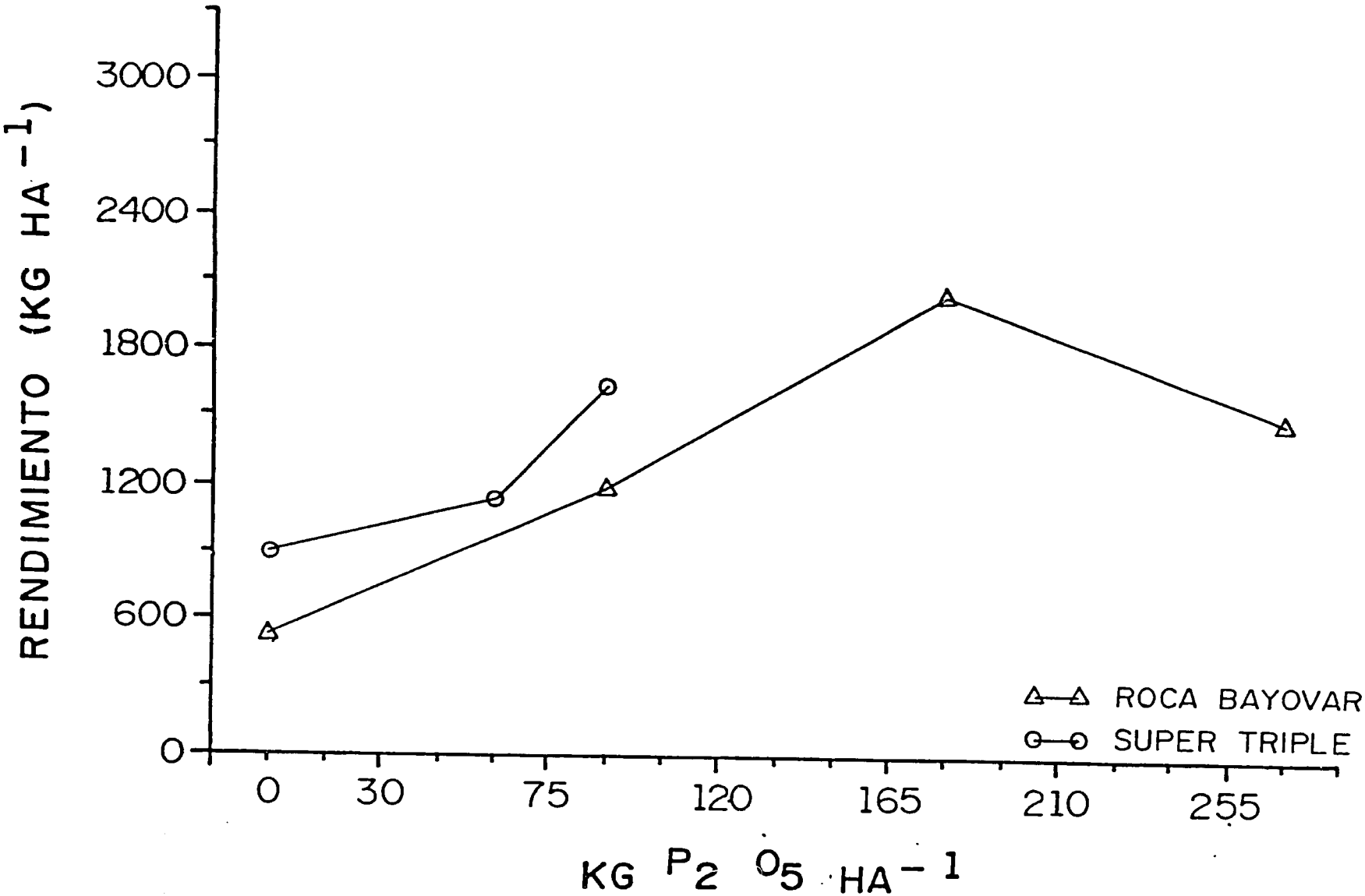

Figura N° 1.- Efecto de los niveles de P_2O_5 con roca fosfórica y superfosfato triple en el rendimiento del maíz en Yurimaguas.