

Evaluación de prácticas de manejo para una producción sustentable de frijol común en suelo Ferralítico Cuarcítico ácido

Aurelio García¹, Germán Hernández¹, Antonio Nuviola¹, Graciela Dueñas¹, Nancy Méndez¹, Miguel Mullings¹, Maritza Mosquera¹, Manuel Aguilera¹, Domingo Chong¹, Grisel Herrero², Segundo Curbelo³, José Luis Rodríguez³

¹ Dirección Provincial de Suelos “La Renée”. Instituto de Suelos, MINAG. Carretera de Bejucal- Quivicán, Km 33½. Quivicán. La Habana, Cuba. Email: larenee@ceniai.inf.cu. Telef: 066 82112

² Instituto de Ecología y Sistemática, CITMA, Cuba

³ Estación Exp. Forestal Viñales, Instituto de Investigación Forestal, MINAG, Cuba.

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar prácticas de manejo para la producción sustentable de frijol común, en suelo Ferralítico Cuarcítico de reacción ácida, se desarrollaron experimentos en condiciones de laboratorio, casa de cristales y campo. Las prácticas de manejo evaluadas fueron: i) selección de genotipos de frijol común con adaptabilidad a acidez del suelo, ii) empleo de productos basados en roca fosfórica, iii) efecto del encalado del suelo en la respuesta agronómica y en la dinámica del fósforo en el suelo, y iv) efecto del encalado en la fijación simbiótica del nitrógeno atmosférico. En los experimentos de laboratorio se utilizó el isótopo ³²P y el método cinético de intercambio isotópico, mientras que en los de casa de cristales se utilizaron los isótopos ¹⁵N y ³²P y el método de dilución. Se constató la existencia de diversidad de los genotipos de frijol común evaluados en cuanto a la adaptabilidad a acidez del suelo y al uso del P proveniente de fuentes de diferente solubilidad, así como a la aplicación de carbonato de calcio. La evaluación económica demostró la factibilidad de producir frijol común en suelo Ferric Luvisol ácido si adecuadas prácticas de manejo son consideradas.

INTRODUCCION

En el medio natural de las plantas (la biosfera, incluyendo el suelo), todos los elementos biogénicos están normalmente presentes, pero no en cantidades y disponibilidades requeridas para una elevada y segura producción. Además, es conocido que la degradación de tierras, con un concomitante deterioro de la fertilidad de los suelos, exacerba el estancamiento o declina la producción agrícola (1). Una agricultura sostenible debe satisfacer las necesidades de alimentos de la población, en continuo aumento, así como mantener o incrementar la habilidad de los sistemas agrícolas para satisfacer esas demandas para las futuras generaciones (2).

Comúnmente la acidez de los suelos limita la producción de alimentos en muchas regiones del mundo. Existen 1510 millones de ha de suelos ácidos en América Latina, 852 millones de ha en América, 490 millones de ha en África, 350 millones de ha en Asia y 2.3 millones de ha en Cuba. Tales suelos son considerados marginales y poseen una inherente baja productividad para la agricultura. Por tal razón, con vistas a satisfacer las demandas de alimentos, es necesario mejorar la productividad de los mismos mediante de la utilización de adecuadas prácticas de manejo.

El empleo de fertilizantes soluble es una vía para remediar la baja disponibilidad de nutrientes e incrementar la producción agrícola. Sin embargo, actualmente desde un punto de vista de desarrollo sostenible, se concentran esfuerzos en la elaboración de agro – técnicas que incluyan una explotación racional de la actividad microbial de los suelos, el uso de enmendantes y de fuentes alternativas de nutrientes menos costosas, tales como roca fosfórica natural o mudificada (3, 4).

Las leguminosas (frijol común, soya, caupí...) son componentes esenciales de la dieta y fuente de proteínas de un estimado de 800 millones de personas en el mundo, principalmente en países en desarrollo, incluyendo Cuba. Por otra parte, las leguminosas contribuyen a la sostenibilidad del sistema por su habilidad de fijar el nitrógeno atmosférico, pero este proceso requiere adicional P para óptimo crecimiento de las plantas y la formación y función de los nódulos (5).

En el presente trabajo se exponen algunos resultados obtenidos en la evaluación de prácticas de manejo para una producción sustentable de frijol común en suelo Ferralítico Cuarcítico ácido.

MATERIALES Y METODOS

Suelos: Ferric Luvisol, tomado en la localidad Viñales, y Rhodic Ferralsol, tomado en la localidad Bainoa. Algunas de sus características son: pH H₂O, 4.8 y 5.2; pH KCl, 3.8 y 4.7; MO (Walkley-Black), 3.02 y 2.82 %; P disponible (Bray-Kurtz I), 4.4 y 7.2 mg P kg⁻¹; Bases intercambiables (cmol kg⁻¹): Ca, 0.75 y 6.77; Mg, 0.43 y 0.36; Na, 0.10 y 0.40; K, 0.05 y 0.57; N total (Kjeldhal), 0.115 y 0.159 %; Acidez intercambiable, 0.380 y 0.004; H intercambiable, 0.013 y 0.004 cmol kg⁻¹, respectivamente; el suelo Ferric Luvisol poseía además 0.367 cmol kg⁻¹ de Al intercambiable y 23.1 % de saturación por Al. En todos los experimentos se utilizó el Ferric Luvisol, excepto en el Experimento de Casa de Cristales en que se evaluó el efecto del encalado en la FSN de genotipos de frijol común, en el que se utilizó el suelo Rhodic Ferralsol.

Experimento conducidos en Laboratorio

Se evaluó el efecto de fuentes fosfóricas de diferente solubilidad y del encalado del suelo sobre la dinámica del P utilizando para ello el método cinético de intercambio

isotópico y la metodología propuesta por (6). Las fuentes de P evaluadas fueron: roca fosfórica, del yacimiento Trinidad de Guedes, natural y parcialmente solubilizada al 50% con H_2SO_4 (RF y RFPS, respectivamente) y superfosfato simple. Se incluyó un tratamiento testigo, sin la adición de P. En el experimento de encalado se utilizaron tres dosis de cal: la neutralización de 0.5, 1 y 1.5 unidades de Y_1 (acidez hidrolítica de la primera extracción).

Experimentos conducidos en Casa de Cristales

- **Experimento con el isótopo ^{32}P .** Se evaluaron las mismas fuentes fosfóricas que en el Experimento de Laboratorio y su efectividad en la nutrición fosfórica de genotipos de frijol común (BAT 477, DOR 364, DOR 390 y Censa) cultivado en el suelo Ferric Luvisol. Se empleó el método de valor A; la actividad de ^{32}P , añadida con portador, fue $2.96 \text{ MBq} + 2 \text{ mg P kg}^{-1}$.
- **Experimento con el isótopo ^{15}N .** Se evaluó el efecto de la neutralización de 0.5 unidades de neutralización de la acidez hidrolítica de la primera extracción ($0.5 Y_1$) sobre la capacidad de fijación simbiótica del N_2 (FSN) de los genotipos de frijol común BAT 58, BAT 477, DOR 364 y CC 25-9 (N). Se utilizó el método de valor A. El cultivo de referencia empleado fue la aislónea no nodulante de frijol común NN 125. Las dosis y enriquecimientos en ^{15}N utilizados fueron $15 \text{ mg }^{15}N\text{-urea. kg}^{-1} 5 \% \text{ a.e.}$ y $80 \text{ mg }^{15}N\text{-urea. kg}^{-1} 1.5 \% \text{ a.e.}$, para los fijadores y el cultivo de referencia, respectivamente. Las semillas de los cultivos fijadores fueron inoculadas en el momento de la siembra con la cepa de *Rhizobium* CIAT 899. Se utilizó un arreglo factorial 2×4 .

Experimentos conducidos en campo

- **Experimento de productos basados en RF:** Los portadores fosfóricos evaluados fueron los utilizados en el Experimento de Laboratorio. Los genotipos de frijol evaluados fueron BAT 477, DOR 364, DOR 390 y Censa, este último de uso local por los productores de la región.
- **Efecto del encalado del suelo sobre la producción de granos de genotipos de frijol común:** La dosis de carbonato de calcio correspondió a la neutralización de 0.5 unidades de acidez hidrolítica ($0.5 Y_1$), equivalente a la aplicación de 2.75 t ha^{-1} . Los genotipos evaluados fueron BAT 58, BAT 304, BAT 477, DOR 364, DOR 390, Judía Roja Camagüeyana (JRC) y Censa. Las semillas de los genotipos evaluados fueron inoculadas en el momento de la siembra con la cepa de *Rhizobium* 6bIII. La dosis de N aplicada correspondió a 15 kg N ha^{-1} . Cada parcela recibió un fondo fijo de $90 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ y $60 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$, con SFT y KCl como portadores, respectivamente. Se utilizó un arreglo factorial 2×7 .

En ambos experimentos se utilizaron tres réplicas por tratamiento. Cada parcela estuvo conformada por seis surcos de 3 m de largo. La distancia de siembra y entre surcos fueron 0.05 m y 0.70 m, respectivamente. La cosecha se realizó en la etapa de desarrollo R9.

Los resultados experimentales obtenidos fueron evaluados mediante análisis de varianza acorde al diseño empleado, y en los casos de encontrarse significación

estadística, las medias se compararon mediante prueba de Newman – Keuls. Se trabajó al 5 % de probabilidad máxima de error. Se utilizó el paquete estadístico STATITCF.

RESULTADOS

Experimento conducido en Laboratorio

Efecto de fuentes de P de diferente solubilidad sobre la dinámica del P

La aplicación de P con cada portador incrementó la concentración de P en la solución (C_p , factor intensidad) a valores superiores al límite crítico de 0.02 mg P L^{-1} (Tabla 1). Si C_p es inferior al límite crítico, P es limitante para la nutrición fosfórica de las plantas. Los valores de E_1 , factor cantidad, resultó 1.3 mg P kg^{-1} en la muestra control, y variaron entre 2.3 y 2.9 mg P kg^{-1} en las muestras fertilizadas. Si los valores de E_1 resultan menores que $3 - 4 \text{ mg P kg}^{-1}$, el factor cantidad es limitante para la nutrición fosfórica de las plantas. La fertilización con P practicada resultó insuficiente para corregir la deficiencia de P del suelo respecto al factor cantidad. La capacidad buffer fosfórica (CBF) varió entre 63 and 81 L kg^{-1} , valores cercanos al límite crítico de 50 L kg^{-1} . Por esta razón, en este suelo puede elevarse con relativa facilidad su status fosfórico por aplicación de fertilizantes.

Se encontró alta correlación entre E_1 y C_p ($r = 0.92$) y entre C_p y P-Bray I ($r = 0.92$), no resultando así entre E_1 y P-Bray ($r = 0.74$).

Respecto al P intercambiable en el tiempo resulta de gran interés que el tratamiento con RFPS proporcione los mayores valores en los pools A y B, considerados los de mayor importancia para la nutrición fosfórica. Hay que tener presente que la RFPS se considera como un fertilizante de liberación controlada. Esta característica puede propiciar una menor fijación del P disuelto en la fase sólida del suelo, y por ende, mayor disponibilidad de P para las plantas.

Tabla 1. Dinámica del P en el suelo debida a las diferentes fuentes de P evaluadas.

Tratamiento	Control	RF	RFPS	SS
P total (mg P kg^{-1})	620	670	670	670
P Bray-Kurtz I (mg P kg^{-1})	6.11	6.28	10.65	11.21
C_p (mg P L^{-1})	0.019	0.028	0.036	0.038
r_1/R	0.151	0.124	0.160	0.133
n	0.325	0.289	0.340	0.282
CBF (L kg^{-1})	66	81	63	75
P pools (mg P kg^{-1})				
$E_{1 \text{ min}}$	1.3	2.3	2.3	2.9
1min - 1 día (Pool A)	12	16	24	19
1 día - 3 meses (Pool B)	43	48	94	55
3 meses - 1 año (Pool C)	35	35	78	40
> 1 año (Pool D)	529	568	472	552

Los resultados que se presentan en la Tabla 2 soportan la hipótesis que la RFPS actúa como un fertilizante de liberación controlada. Así, entre los tres fertilizantes evaluados, corresponde a la RFPS el mayor valor de T_m (tiempo medio de permanencia de los iones fosfatos en la solución del suelo) y los menores valores de K_m y F_m , velocidad media y flujo medio de los iones fosfatos, respectivamente.

Tabla 2. Valores de los parámetros cinéticos.

Tratamiento	Km min ⁻¹	Tm min	Fm mg P kg ⁻¹ min ⁻¹
Control	109	9.2 x 10 ⁻³	21
RF	396	2.5 x 10 ⁻³	111
RFPS	75	1.3 x 10 ⁻²	27
SS	361	2.8 x 10 ⁻³	137

Efecto del encalado sobre la dinámica del P

Se evidenció el efecto beneficioso del encalado del suelo sobre los factores que determinan la dinámica del P (Tabla 3).). Es probable que el encalado produzca dos efectos: i) un decrecimiento de la capacidad relativa de adsorción de P del suelo, ej. valores r_1/R en tratamientos con cal respecto al control, y ii) un incremento en la biodisponibilidad del P debido a la disminución de la actividad del Al.

Tabla 3. Dinámica del P en el suelo debida a las diferentes dosis de carbonato de calcio aplicadas..

Tratamiento	Control	0.5 Y ₁	Y ₁	1.5 Y ₁
Cp (mg P L ⁻¹)	0.019	0.043	0.048	0.058
r ₁ /R	0.151	0.054	0.067	0.087
n	0.325	0.417	0.410	0.405
CBF (L kg ⁻¹)	75	185	149	115
E _{1 min}	1.2	8.0	7.2	6.2
1min - 1 día (Pool A)	12	164	140	117
1 día – 3 meses (Pool B)	45	915	754	614
3 meses - 1 año (Pool C)	44	1020	833	674
Km, min ⁻¹	109	457	299	168
Tm, min	9.2 x 10 ⁻³	2.2 x 10 ⁻³	3.3 x 10 ⁻³	5.9 x 10 ⁻³
Fm, mg P kg ⁻¹ min ⁻¹	21	197	144	91

Experimentos conducidos en Casa de Cristales

Experimento conducido con el isótopo ³²P

De acuerdo a la evaluación de los parámetros isotópicos (Tabla 4), la RF en aplicación directa solo fue efectiva para DOR 364 (%Pddf > 30%), mientras que la RFPS y el SS fueron fuentes de P efectivas para todos los genotipos de frijol común evaluados (los valores de %Pddf se encuentran entre 39 y 60%).

En cuanto a la Eficiencia de Uso del Fertilizante (EUF), la solubilización parcial de la RF incrementó su reactividad, y por tanto, su EUF. La RFPS fue más efectiva que el SS para DOR 364 y DOR 390.

Es notable que para BAT 477, DOR 364 y DOR 390, entre 0.96 y 1.44 kg de RFPS equivalen al empleo de 1 kg de SS. La importancia de este resultado abarca dos aspectos: i) la RFPS es más barato que el SS, ii) la RFPS se produce en la Empresa cubana Rayonitro, y iii) la RFPS es un fertilizante de liberación controlada, y por esta razón, resulta menos contaminante del medio ambiente (suelo en este caso) que el SS.

Tabla 4. Fracción de P derivado del suelo (%Pdds) y de la fuente de P (%Pddf) y Eficiencia de Uso del Fertilizante (EUF) y equivalencias (kg) de RF y RFPS por 1 kg de SS de cuatro genotipos de frijol común fertilizados con fuentes de P de diferente solubilidad.

Genotipo	Tratamiento	% Pdds	% Pddf	% EUF	kg de RF o RFPS equivalente a 1 kg de SS
BAT 477	RF	71	29	1.3	1.57
	RFPS	60	40	2.8	0.96
	SS	61	39	4.0	1.00
DOR 364	RF	68	32	2.3	2.70
	RFPS	53	47	4.1	1.44
	SS	44	56	3.0	1.00
DOR 390	RF	84	16	0.9	3.08
	RFPS	66	34	4.0	1.14
	SS	63	37	3.4	1.00
Censa	RF	84	16	1.0	7.88
	RFPS	66	34	3.5	2.91
	SS	40	60	8.2	1.00

Experimento conducido con el isótopo ¹⁵N

La fracción de N en planta derivado del aire se elevó hasta alrededor de 30% por la aplicación de cal (Tabla 5). Por consiguiente, en frijol común es posible acercarse al potencial de FSN si se consideran adecuadas prácticas de manejo.

CC 25-9(N) mostró muy baja capacidad de fijar N atmosférico, cercana a 0 %, en el suelo sin enmienda calcárea. La adición de cal incrementó el %Ndda hasta 31,9 %, valor semejante al del resto de los genotipos en condiciones de suelo enmendado. En Cuba se ha reportado que CC 25-9(N) requiere de un buen abastecimiento de P en el suelo para realizar una buena FSN (7). Hay que tener presente que el encalado de suelos ácidos, entre otros efectos, posibilita incrementar las disponibilidades de P del suelo (8), lo cual podría ser la explicación del incremento que expresó CC 25-9(N) en fijar N de la atmósfera. También (9) reportaron que la fertilización fosfórica permite incrementar la cantidad de N fijado de la atmósfera y que existen diferencias genotípicas en la respuesta al P.

Los valores de los parámetros isotópicos indican que, para todos los genotipos de frijol evaluados, la adición de cal provoca una disminución de la fracción de N derivado del suelo (%Ndds), alrededor de un 10% para BAT 58, BAT 477 y DOR 364, mientras que para CC 25-9(N) la disminución fue mucho mayor, 25,8%, y un incremento de la fracción de N derivado del aire en planta. Así, se evidencia que la adición de cal también se manifiesta en una protección de las reservas de N del suelo, lo cual es sinónimo de que esta práctica de manejo potencia una menor degradación del suelo, a la par que permita incrementar la proporción de N en planta derivado del aire.

Por otra parte, la relación %Ndff/%Ndfs, por ciento de N en planta derivado del fertilizante y por ciento de N en planta derivado del suelo respectivamente, varía debido

a la aplicación de cal. Este resultado indica que es necesario utilizar dos tratamientos con el cultivo de referencia para evaluar acertadamente la FSN: cultivo de referencia con y sin suelo encalado.

En cuanto a los valores A obtenidos, cantidades disponibles de N en el suelo en unidades equivalentes del fertilizante aplicado, se señala que la aplicación de cal disminuye este valor, respecto a la no adición. La relación de valores A de suelo sin encalar y encalado es 1,20. Esto significa, acorde a la definición de valor A, que 1,0 kg de N disponible en el suelo sin encalar es equivalente a 0,8 kg de N disponible en el suelo encalado. O lo que es semejante, la aplicación de cal incrementó en un 20% la eficiencia de uso del N disponible del suelo.

Así, visto que la enmienda calcárea incrementó la fracción de N en planta a expensas del N atmosférico, además de que la fracción de N en planta derivada del suelo decreció, la disminución del valor A por el encalado debe interpretarse como una protección de las reservas del suelo y no como un decrecimiento de la misma.

Tabla 5. Valores de parámetros isotópicos y valor A.

Tratamiento	%Nddf	%Ndds	%Ndda	%Nddf/ %Ndds*	Valor A mg N kg ⁻¹
NN 125	62,2	37,8	-	0,3085	58,3
NN 125 + cal	66,4	33,6	-	0,3705	48,6
BAT 58	18,9	61,3	19,8	0,3083	58,4
BAT 58 + cal	18,7	50,5	30,8	0,3703	48,6
BAT 477	18,3	59,3	22,4	0,3086	58,3
BAT 477+ cal	18,5	49,9	31,6	0,3707	48,6
DOR 364	19,3	62,6	18,1	0,3083	58,4
DOR 364 + cal	19,4	52,4	28,2	0,3702	48,6
CC 25-9(N)	23,3	75,5	1,2	0,3086	58,3
CC 25-9(N)+ cal	18,4	49,7	31,9	0,3702	48,6

* En el caso de los dos tratamientos del cultivo de referencia se multiplica por $n = 0,1875$ (relación de dosis de N aplicadas, respectivamente)

Experimentos conducidos en campo **- Experimento de productos basados en RF**

Todos los genotipos de frijol común respondieron a la aplicación de los fertilizantes fosfóricos en la misma medida que se incrementaba la solubilidad de los mismos: SSP > PSPR > PR > Testigo (Figura 1).

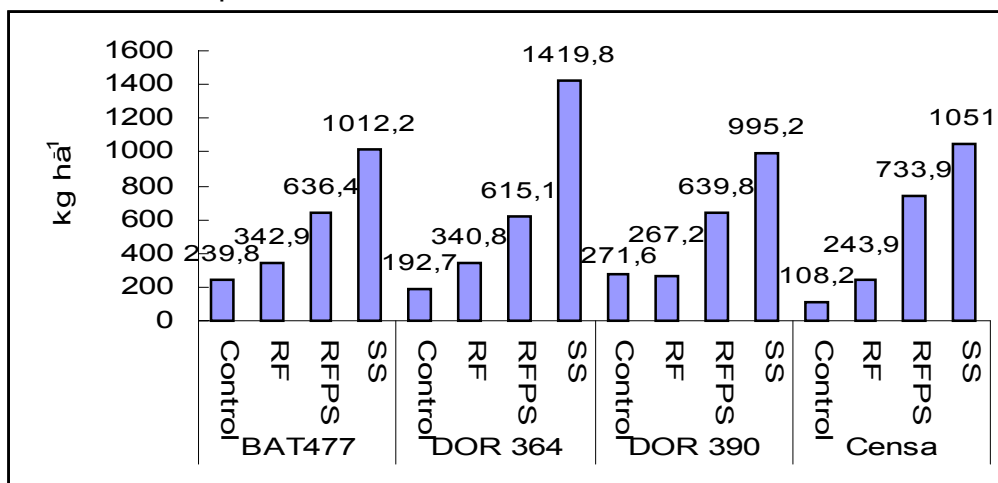
Se demuestra la baja fertilidad fosfórica del suelo que se refleja en que ningún genotipo de frijol, incluyendo a BAT 477 desarrollado para suelos tropicales (acidez, baja fertilidad fosfórica, toxicidad por aluminio, sequía), fue capaz de realizar una producción elevada de granos. La media de producción de granos para los cuatro genotipos en el tratamiento sin fósforo aplicado, resultó tan solo de 203.1 kg ha⁻¹.

La RF, a pesar de haberse aplicado en un suelo muy ácido lo cual debe favorecer su disolución, tuvo relativamente poco efecto en incrementar la producción de granos. Los incrementos de rendimiento, respecto al tratamiento sin fósforo, resultaron en el rango de 148.1, para DOR 364, y 103.1 kg ha⁻¹ para BAT 477, mientras que fue prácticamente sin efecto para DOR 390. La explicación a la poca efectividad de la RF en aplicación directa está dada por la poca saturación de los centros de adsorción de P del suelo (suelo con muy baja fertilidad fosfórica). Así, una fracción del P inicialmente disuelto de la roca fosfórica, ya sea debido a la acidez del suelo o por acción de los exudados de las raíces, es fijado en la fase sólida del suelo, y por tanto, resultando en formas con menor disponibilidad para las plantas.

La modificación a la cual fue sometida la RF, solubilización parcial con ácido sulfúrico, incrementó la solubilidad del material de partida, lo que se reflejó en una mayor disponibilidad de P para las plantas, de ahí los incrementos observados en la producción de granos, que permitieron que todos los genotipos de frijol común evaluados rebasaran la cifra de 600 kg ha⁻¹, e incluso Censa, el genotipo local, alcanzase la cifra de 733.9 kg de granos ha⁻¹.

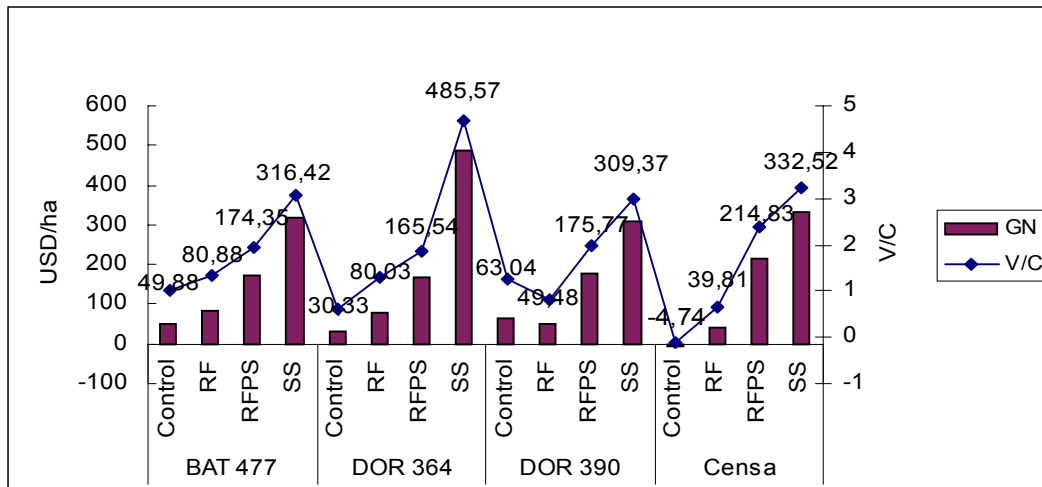
El SS resultó el mejor portador fosfórico. Este resultado es lógico toda vez que se trata de un fertilizante totalmente soluble, que el suelo es deficitario en P y que se trata de un cultivo de ciclo corto y fijador de N atmosférico, de ahí su demanda de P para la realización de este proceso que demanda un gran gasto energético.

Figura 1. Rendimiento de granos (kg ha⁻¹) de cuatro genotipos de frijol común fertilizados con portadores de P de diferente solubilidad.



La evaluación económica realizada (Figura 2) demostró la factibilidad de producir frijol común en este tipo de suelo si la deficiencia de P en el suelo es corregida con la aplicación de SS o RFPS, aunque hubo diferencia genotípica que debe considerarse.

Figura 2. Análisis económico de cuatro genotipos de frijol común fertilizados con portadores de P de diferente solubilidad.



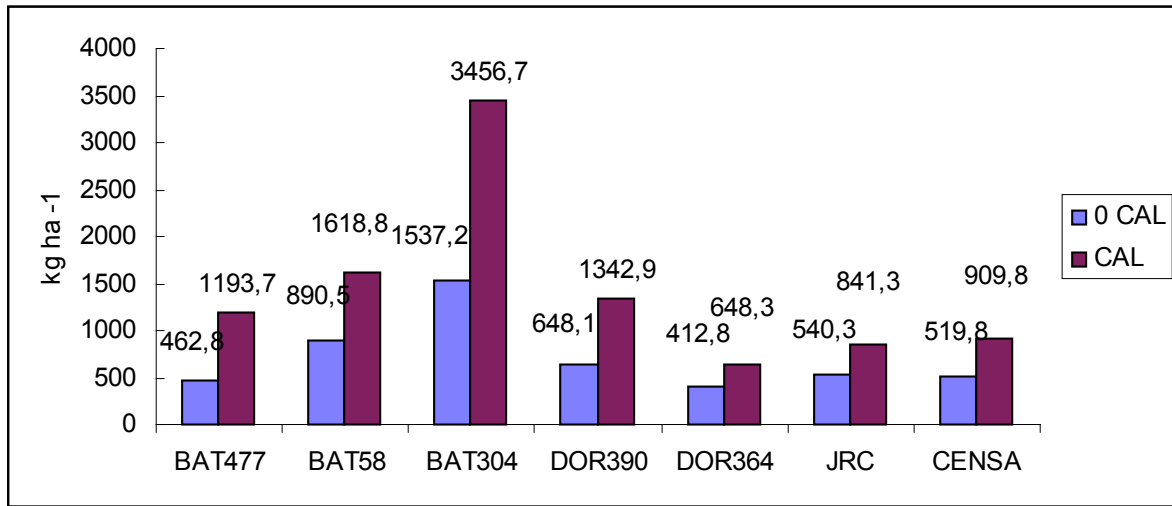
- Efecto del encalado del suelo sobre la producción de granos de genotipos de frijol común

Sin adición de carbonato de calcio, BAT 58, DOR 390 y BAT 304. Este resultado permite usar cualquiera de estos genotipos cuando no existe disponibilidad de carbonato de calcio (Figura 3). Entre ellos, BAT 58 y BAT 304 han sido desarrollados para condiciones de suelos tropicales (acidez, deficiencia de P, toxicidad por Al), al igual que BAT 477. Sin embargo, este último no presentó relativamente elevado rendimiento en el suelo sin enmienda calcárea. Así, es posible inferir la existencia de diferencias genotípicas frente a acidez del suelo y que en BAT 477 el carácter de adaptabilidad es menor o que se ha perdido en cierta cuantía.

Al aplicar carbonato de calcio, BAT 304, DOR 390 y BAT 477, en este orden de prioridad, alcanzaron rendimientos de granos superiores a 1000 kg ha^{-1} . Evidentemente, la práctica de encalado potenció que estos genotipos de frijol expresaran en mayor cuantía su potencial de rendimiento que cuando el suelo no se encala, y por tanto, mantiene características químicas y físico – químicas que limitan la producción de frijol. Autores como (10) concuerdan en el efecto depresivo que ejerce la acidez del suelo en la expresión agronómica de este cultivo.

Estos resultados evidencian la existencia de diferencias genotípicas frente al encalado del suelo, o más correctamente, frente a las características del suelo que limitan su expresión agronómica, y proporcionan una base para seleccionar genotipos de frijol común para la producción de esta leguminosa en suelo Ferric Luvisol.

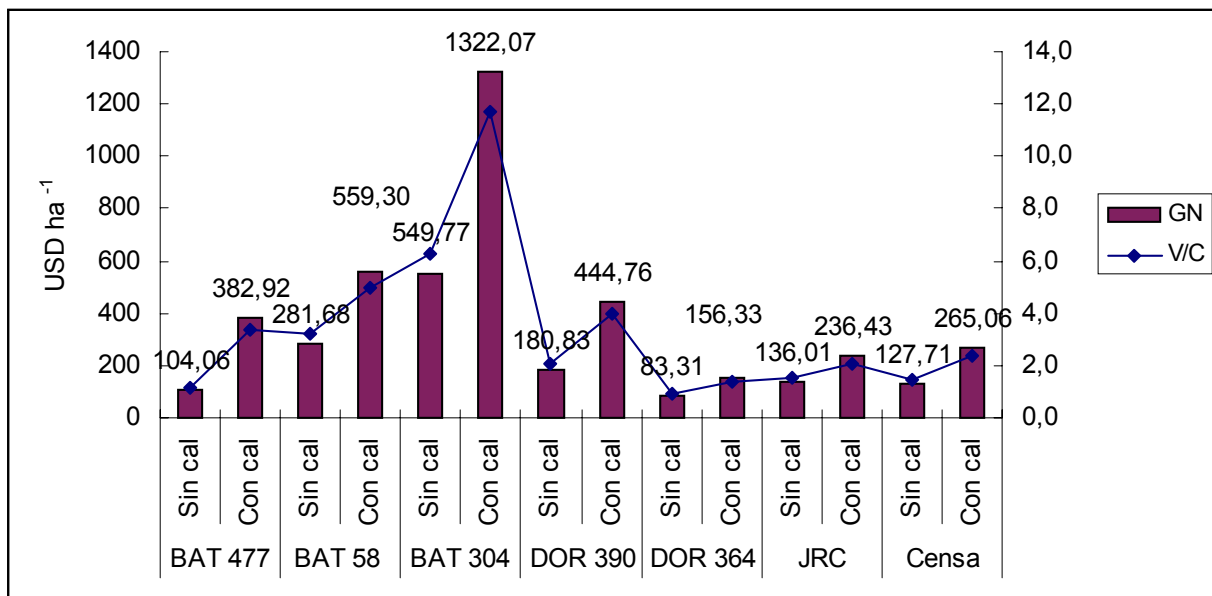
Figura 3. Efecto del encalado del suelo en el rendimiento de granos (kg ha⁻¹) de siete genotipos de frijol común.



La evaluación económica demostró que los genotipos de frijol común que mayor beneficio económico proporcionaron fueron BAT 304 y BAT 58. Estos dos genotipos han sido desarrollados para condiciones de suelos tropicales, caracterizados por acidez, baja disponibilidad de P, toxicidad por aluminio, sequía. También BAT 477 proporcionó aceptable beneficio económico en condiciones de suelo enmendado con carbonato de calcio (Figura 4).

DOR 390, un genotipo con resistencia a Virus del Mosaico Dorado (VMD), produjo un buen beneficio económico. Sin embargo, el otro genotipo de frijol evaluado con resistencia a VMD, DOR 364, resultó el peor de todos de acuerdo al análisis económico.

Figura 4. Análisis económico de siete genotipos de frijol común enmendados o no con carbonato de calcio.



En términos globales, se infiere que resulta importante, en cualquier programa para introducir nuevas prácticas de manejo, considerar no sólo los aspectos agronómicos (por ejemplo, rendimientos agrícolas) sino también los económicos (por ejemplo, el criterio de beneficio económico).

CONCLUSIONES

- Mediante la utilización del método cinético de intercambio isotópico se demostró que la RFPS (RF del yacimiento Trinidad de Guedes solubilizada parcialmente al 50% con H_2SO_4) actúa como un fertilizante de liberación controlada en suelo Ferric Luvisol ácido. Igualmente se demostró, utilizando este método isotópico, que la adición de RFPS en este suelo moviliza las reservas de P biodisponible en el suelo hacia los pools A, B y C (P isotópicamente intercambiable entre 1 minuto y 1 día, entre 1 día y 3 meses y entre 3 meses y 1 año, respectivamente).
- Mediante la utilización del método cinético de intercambio isotópico se demostró que el encalado del suelo condiciona una mayor biodisponibilidad del P en el suelo Ferric Luvisol. Este efecto está asociado a dos factores: i) un decrecimiento de la capacidad relativa de adsorción de P del suelo, ej. valores r_1/R en tratamientos con cal respecto al control, y ii) un incremento en la biodisponibilidad del P debido a la disminución de la actividad del Al.
- Mediante la utilización del método de dilución isotópica se demostró la existencia de variabilidad genotípica en frijol común en la utilización del P proveniente de fuentes de diferente solubilidad. Para los genotipos de frijol evaluados, entre 0.96 y 2.91 kg de P aplicados como RFPS es equivalente a 1 kg de P aplicado como SS. Así, la RFPS puede ser una alternativa de sustitución de SS.
- La adición de cal incrementó la fracción de N derivado del aire en todos los genotipos de frijol común, especialmente para CC 25-9(N). Este efecto está más asociado a corrección de la acidez del suelo que a un aumento de las disponibilidades de P en el suelo. Sin embargo, cuando se trata de genotipos de frijol común con alta exigencia de formas disponibles de P en el suelo, como es el caso de CC 25-9(N), el efecto del encalado sobre esta característica no resulta despreciable. El encalado del suelo protege sus reservas de N, toda vez que el incrementó en las extracciones de N por la planta se realiza a expensas de una mayor fijación de N atmosférico. Es necesario la utilización de dos tratamientos con el cultivo de referencia para evaluar acertadamente la FSN: cultivo de referencia con y sin suelo encalado.
- En los ensayos desarrollados en campo se evidenció la existencia de variabilidad genotípica de frijol común en la respuesta agronómica a la adición de portadores fosfóricos de diferente solubilidad y al encalado del suelo. Se identificaron genotipos con adaptabilidad a acidez del suelo. BAT 477 presentó menor adaptabilidad a acidez del suelo que BAT 58 y BAT 304. Se demostró la factibilidad agronómica y económica de producir frijol común en suelo Ferric Luvisol ácido si adecuadas

prácticas de manejo se consideran (utilización de portadores de P, tales como la RFPS, la corrección de la acidez del suelo con relativa baja dosis de carbonato de calcio, 2.75 t ha⁻¹, selección de genotipos de frijol común con eficiente utilización del P proveniente de fuentes no convencionales y/o con respuesta al encalado del suelo).

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- (1) Current world fertilizer situation and outlook 1967/7-2002/2003. FAO (electronic version) (1998) 1 - 32.
- (2) FARDEAU JC, GUIRAUD G and MAROL C. Bioavailable soil P as a key to sustainable agriculture. Functional model determined by isotopic tracers. Proceedings of an International Symposium on Nuclear and related techniques in soil-plant studies on sustainable agriculture and environmental preservation. IAEA-SM-334/3 (1995) 131-144.
- (3) KATO N, ZAPATA F and AXMANN H. Evaluation of the agronomic effectiveness of natural and partially acidulated phosphate rocks in several soils using ³²P isotopic dilution techniques. Fertilizer Research 41(1995) 235 - 242.
- (4) RAJAN SSS, WATKINSON JH, SINCLAIR AG. Phosphate rocks for direct application to soils. Advances in Agronomy 57 (1996) 77 – 159.
- (5) CHIEN SH, CARMONA G, MENON RG, HELLUMS DT. Effect of phosphate rock sources on biological nitrogen fixation by soybean. Fertilizer Research. 34 (1993) 153 - 159.
- (6) FARDEAU JC, MOREL C and BONIFACE R. Cinetiques de transfert des ions phosphates du sol vers la solution du solution du soil. Agronomie 11(1991): 787-797
- (7) GARCÍA A, HERNÁNDEZ G, MÉNDEZ N, NUVIOLA A, DREVON JJ, MONTANGE D. Efecto de la disponibilidad de fósforo del suelo sobre la fijación simbiótica del nitrógeno de diferentes genotipos de frijol común. Segunda Reunión de Trabajo del Proyecto de Cooperación Cuba-Francia "Manejo del complejo *Phaseolus*-Fósforo-*Rhizobium* para mejorar los rendimientos de las rotaciones frijol-maíz y la fertilidad de los suelos de Cuba". (2000), Ciudad de La Habana, Cuba.
- (8) SIDLAUKAS G, MASAUSKAS S, EZERINSKAS V. Liming effect on P availability from Maardau phosphate rock. En: Assessment of soil phosphorus status and management of phosphatic fertilisers to optimise crop production. IAE-TECDOC-1272, Vienna, Austria, (2002) 440-449.
- (9) EL MOURABIT N, R'KIEK C, ISMAILI M. Effets des doses d'inoculation et de phosphore sur la production et la fixation biologique de l'azoteatmosphérique sur deux variétés de fève. En: Facturs limitant la fixation symbiotique de l'azote dans le Bassin méditerranéen. Ed. J. J. Drevon, Les Colloques 77, INRA-Montpellier, France (1995) 285-289.
- (10) AURAG J, BRHADA F. Dynamique des populations de *Rhizobium* introduites dans le sol: influence du stress hydrique, de l'acidité et de la texture du sol. En: Facturs limitant la fixation symbiotique de l'azote dans le Bassin méditerranéen. Ed. J. J. Drevon, Les Colloques 77, INRA-Montpellier, France, (1995):149-158.