

INVESTIGACIONES EFECTUADAS EN EL CIAT SOBRE FUENTES DE MECANISMOS DE TOLERANCIA A BAJO FOSFORO EN FRIJOL COMUN

Fernando Muñoz¹, Douglas Beck²

RESUMEN

Investigaciones efectuadas en el CIAT sobre fuentes de mecanismos de tolerancia a bajo fósforo en frijol común. El fósforo (P) es el nutrimento más limitante para la producción de frijol en los trópicos y subtropicos. Mientras que la fertilización con P es una solución obvia, en los países en desarrollo los cultivadores de frijol generalmente carecen de los recursos para invertir en fertilización. El frijol también contribuye a la sostenibilidad del sistema de cultivo a través de su capacidad para realizar la fijación biológica de N₂, un proceso el cual requiere P adicional en la planta para poder funcionar. Los genotipos que obtienen y usan el P limitante más eficientemente, podrían por lo tanto mejorar y estabilizar la producción en los suelos marginales de baja fertilidad que caracterizan la mayoría de las áreas de cultivo del frijol. Por estas razones, un programa de investigación de los mecanismos potenciales del frijol para la tolerancia a bajo P fue realizado en CIAT. Los ensayos de campo conducidos en alfisoles con bajo P en dos sitios indican que dos diferentes mecanismos parecen estar operando en el germoplasma (23 cvs) probado. Algunos cultivares tienen una clara ventaja en la extracción de P, sin embargo la eficiencia de extracción estuvo pobremente relacionada con la masa radicular. Otros cultivares tuvieron una mayor capacidad para usar eficientemente el P para producir semilla. Los cultivares más tolerantes combinaron estos dos mecanismos en alguna proporción. El trabajo futuro se enfocará al entendimiento de estos mecanismos con vista a determinar su heredabilidad e identificación de los correspondientes marcadores moleculares para facilitar la incorporación de los genes responsables en programas de mejoramiento.

ABSTRACT

CIAT research on mechanisms for low P tolerance in bean. Phosphorus (P) is the most limiting nutrient for bean production in the tropics and subtropics. While P fertilization is an obvious solution, developing country bean growers generally lack the resources to invest in fertilization. Beans also contribute to cropping system sustainability through their ability for biological N₂ fixation, a process which requires additional plant P in order to function. Genotypes that obtain and use limiting P more efficiently would therefore improve and stabilize production in the marginal low fertility soils that characterize the majority of bean cropping areas. For these reasons, a program of investigation into potential mechanisms of low P tolerance in common bean was undertaken at CIAT. Field trials conducted in low-P alfisols at two sites indicate that two distinct mechanisms appear to be operating in the range of germplasm (23 cvs) tested. Some

¹ CIAT, AA 6713, Cali, Colombia.

² CIAT, Apdo.55-2200 Coronado, San José, Costa Rica

cultivars had a clear advantage in P uptake, although P uptake efficiency was poorly related to root mass. Other cultivars had a greater capacity for efficient use of P to produce seed. The most low P tolerant cultivars combined these two mechanisms to some extent. Future work will focus on understanding of these mechanisms with a view to determining their heritability and identifying the correspondent molecular markers to better enable incorporation of the responsible genes into breeding programs.



INTRODUCCION

El frijol contribuye a la sostenibilidad de los sistemas de producción en los cuales está incorporado a través de su capacidad de fijación biológica de N₂, un proceso que requiere adicionalmente de P en la planta. La baja disponibilidad o la deficiencia de P en el suelo es el mayor limitante para la producción de frijol en los trópicos y subtropicos. La solución obvia sería la fertilización pero ya citamos sus inconvenientes, además la fertilización fosforada es ineficiente en muchos suelos tropicales debido al fenómeno de la fijación a formas no disponibles a las plantas; la eficiencia de uso de fertilizantes fosforados en el tropico presenta un promedio menor del 10%. Por lo tanto, la aplicación de fertilizantes minerales procesados o abonos no deben ser tomadas como las unicas alternativas para compensar la deficiencia de P para los cultivos.

Se ha trabajado relativamente poco en el mejoramiento de la eficiencia de los cultivos a condiciones adversas del suelo. La exploración del germoplasma de un cultivo, para la búsqueda e identificación de mecanismos que permitan su adaptación a determinadas condiciones limitantes de su producción, es el paso inicial de una solución promisoría que permitiría incorporar características que harían al cultivo eficiente en la utilización de los recursos disponibles, sin altos costos para los agricultores y sin causar deterioro ambiental.

En el caso de eficiencia del frijol para fósforo, la hemos expresado como el crecimiento y rendimiento con relación al P disponible en el suelo o desde enmiendas aplicadas al suelo, incluyendo la capacidad para rendir con bajos niveles de P y respuesta a aplicación de fertilizantes. Teniendo en cuenta los posibles mecanismos de eficiencia de P, podemos distinguir características que le dan eficiencia en la adquisición de P desde su entorno y características que lo hacen eficiente en el uso del P adquirido. Algunos posibles mecanismos de eficiencia para la adquisición de P son: exudados radiculares (Marschner, 1987; Helal, 1990), simbiosis micorrizas-frijol (Lynch et al, 1991; Yan, 1995a,b), arquitectura y actividad radicular. Entre los posibles mecanismos de eficiencia de uso del P adquirido se pueden citar: bajo requerimiento de P en los tejidos, fenología, reserva de P en la semilla.

MATERIALES Y METODOS

Características ambientales de los sitios de trabajo

El trabajo se ha realizado en Colombia, en los municipios de Darien y Popayán en el periodo de 1994-95. Se encuentran a 1200 y 1750 m,s,n,m, presentan una temperatura promedio de 22 y 17 °C y una precipitación promedio de 1800 y 2000 mm /año, respecti-

vamente. Los 2 suelos son andosoles y presentan alta fijación de P. El contenido promedio disponible de P (Bray II) en el suelo de Darien es de 1.0 ppm, el rango de varia de 0.3 - 3.2 ppm. El suelo de Popayán presenta un contenido promedio de P de 2.0 ppm. Los 2 suelos presentan alto contenido de M.O con rango de 2-10%. Los contenidos de los otros nutrientes se encuentran dentro de lo normal. En el pasado los lotes estuvieron con pastos durante mucho tiempo.

Manejo del lote experimental

En los dos sitios el suelo es tipo Andosole de origen volcánico con alta concentración de alófanos y con muy alta capacidad de fijar fósforo en una forma inaccesible para plantas. Inicialmente se tomaron muestras de suelo a una profundidad de 25 cm, bajo un sistema de coordenadas con muestras cada 5-10 m. Los valores de contenido de P (Bray II) en las muestras de suelo se utilizaron para levantar un mapa geoestadístico del lote que indica como están distribuidos los niveles de fósforo. El mapa de fósforo del suelo se tomó como uno de los criterios para definir las áreas de bajo y alto fósforo (con y sin stress de P) y como se bloquea sus parcelas en el lote. Así también puede ganar una buena idea de la variabilidad espacial del fósforo disponible y si el lote está apropiado para evaluación de genotipos para su tolerancia.

En el primer semestre de 1994 (94a) se aplicó una dosis de 100 kg/ha de superfosfato triple (SFT) a la zona de alto fósforo. En la zona de bajo fósforo se aplicó una dosis de 25 kg/ha a algunos parches en los cuales el nivel de P fue muy bajo. En los semestres 94b y 95a se aplicaron 100 y 30 kg/ha de SFT a las zonas de alto y bajo P, respectivamente. En el 95b se aplicaron 300 kg/ha de SFT a la zona de alto P para compensar la fijación de P en el suelo y se mantuvo la dosis de 30 kg/ha en bajo P. Las aplicaciones de P en todos los semestres

se han hecho al voleo y se han incorporado con la preparación del suelo.

En cada semestre se está haciendo rotación frijol-maíz parcialmente en el lote y el maíz en cada rotación se está utilizando como indicador para el nivel de P en el suelo. La densidad de siembra del frijol en todos los ensayos es de 166.000 plantas/ha. El maíz se siembra a una densidad de 50.000 plantas/ha. La distancia entre surcos en el lote siempre es de 0.6 m.

Niveles de observación

El trabajo se realiza en tres niveles (A,B,C) en los cuales se incrementa la precisión de observación de C hasta A.

En el nivel C se tienen muchos materiales (> 50), el tamaño de parcela es de 1.2 m² (2 surcos de 1 m) con 3 repeticiones tanto en alto como en bajo P. Este es un nivel exploratorio y en él se intenta identificar materiales promisorios. En este nivel se hace una evaluación visual para determinar adaptación y se mide rendimiento de grano. El tamaño de muestra para rendimiento de grano es de 15 plantas. Los materiales que presentan el mejor comportamiento pasan al nivel B.

El tamaño de parcela en el nivel B fue de 4.8 m² (4 surcos de 2 m) con tres repeticiones tanto en alto como en bajo P. Se observan entre 9-12 materiales y las variables observadas en cada época de muestreo son: Biomasa de parte aérea y de raíz en llenado de vainas, biomasa aérea en madurez fisiológica, rendimiento de grano y tamaño de semilla. Además se observa contenido de P de las muestras en cada época de muestreo. El tamaño de la muestra en llenado de vainas es de 3 plantas, en madurez fisiológica 4 plantas y para rendimiento de grano se cosechan 1.5 m de cada uno de los 2 surcos centrales de la parcela.

Al nivel A llegan los materiales que han mostrado características promisorias en los niveles C y B. El tamaño de parcela en este nivel está entre 9 y 16.8 m² (6 - 8 surcos de 2.5 - 3.5 m.), dependiendo del número de materiales observados y se tienen 3-4 repeticiones en cada nivel. El número de materiales observados en este nivel está entre 12 y 15. Se realizan los mismos muestreos que se hacen en el nivel B pero además se realiza un muestreo de parte aérea y raíz en floración con un tamaño de muestra de 6 plantas por parcela. El tamaño de muestra (parcela útil) para rendimiento de grano varía entre 6 y 10.8 m².

Además de las variables mencionadas para el nivel A, en llenado de vainas se toma una planta representativa de la muestra para realizar un análisis de imagen de la raíz de la planta para estudiar la relación entre arquitectura de raíz y la eficiencia de los materiales para extraer fósforo del suelo. Los resultados de este análisis están en proceso.

Análisis estadístico de los datos

Los ensayos en los tres niveles (A, B y C) se han dispuesto como bloques completos al azar (BCA) en un arreglo de parcelas divididas (split plot) en las cuales la parcela principal es el nivel de P (alto o bajo) y la subparcela el genotipo.

RESULTADOS Y DISCUSION

Aumento de la eficiencia de extracción

Se ha observado gran variabilidad en el rendimiento de grano de los genotipos bien adaptados probados en las dos localidades (Darién y Popayán) bajo los dos niveles de disponibilidad de P (Figura 1). Es interesante observar que algunos genotipos que rinden muy bien sin stress de P, son incapaces de producir semilla efectivamente a bajo P y la

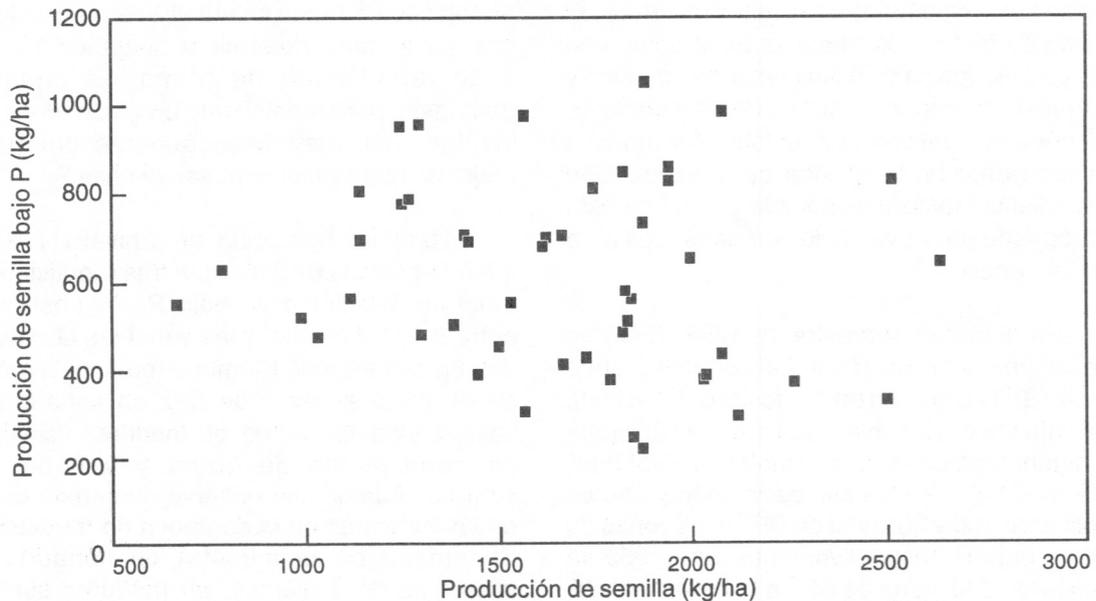


Fig. 1. Redimiento de 23 genotipos de frijol comun cultivado en dos lugares y dos semestres, bajo de condiciones de alto y bajo P. 1994-1995.

reducción puede ser del 70-90%. Se observa un comportamiento similar en cuanto a acumulación total de P en el cultivo en madurez fisiológica. Aunque se observa mayor correspondencia entre capacidades de extracción a alto y bajo P (Figura 2). Se nota que una gran proporción de los genotipos muestra aceptable acumulación de P bajo condiciones de stress de P y esto es debido principalmente a que los materiales han sido seleccionados tempranamente por su capacidad para rendir en suelos con bajo P. Algunos materiales fueron capaces de acumular aceptablemente P bajo condiciones de alta y baja disponibilidad de este.

La relación entre extracción total de P y producción de biomasa se observa muy bien en la correlación representada en la Figura 3 donde se describe el comportamiento en el campo de 19 cultivares creciendo en alto y bajo P. En ella se observa el efecto sobre la producción de biomasa de mejorar la capaci-

dad del frijol para extraer P del suelo. También demuestra un muy consistente requerimiento de P en los cultivares de frijol. La importancia de la extracción del P total para la producción de semilla se observa en la regresión representada en la Figura 4, aunque también se observa que para un contenido de P, el rendimiento de los cultivares presenta considerable variación.

Se han observado grandes diferencias en el comportamiento de los diferentes genotipos en respuesta a la disponibilidad de P en el suelo. La relación entre biomasa de raíz y extracción de P bajo condiciones limitantes de éste, es débil (Figura 5). Hablando en términos de P extraído por unidad de masa de raíz, se han observado genotipos que son capaces de extraer mucho P a través de una gran biomasa radicular (G1937, G3513, G6111, G6133, G19839 y G23275). Otros genotipos son capaces de tomar relativamente grandes cantidades de P con una más limitada

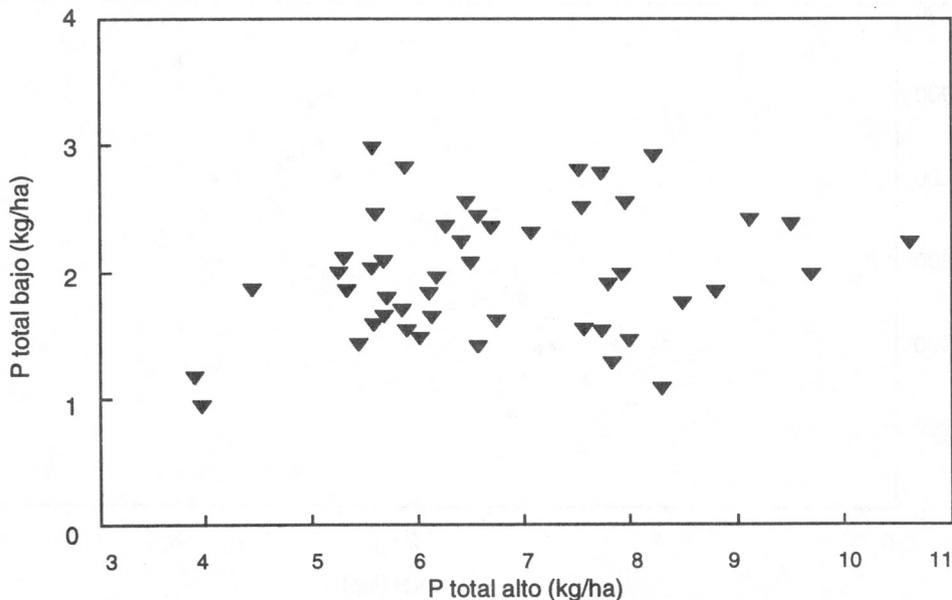


Fig. 2. P total de 23 genotipos de frijol cultivado en dos lugares y dos semestres, bajo de condiciones de alto y bajo P. 1994-1995.

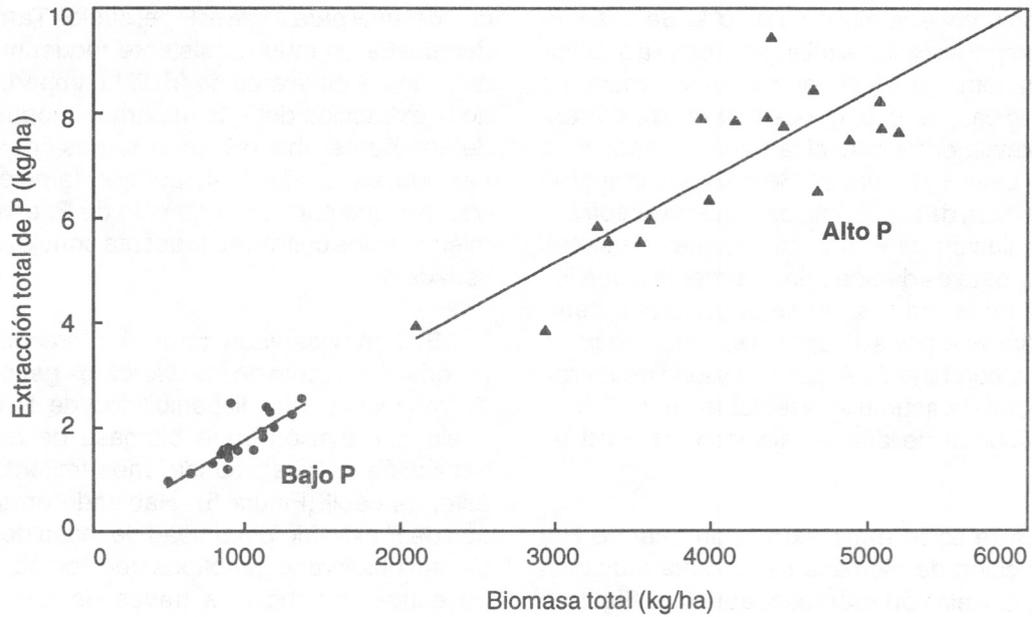


Fig. 3. Biomasa total en madures fisiologica en 19 cultivares por P total bajo alto y bajo disponibilidad de P. Darien, 1994.

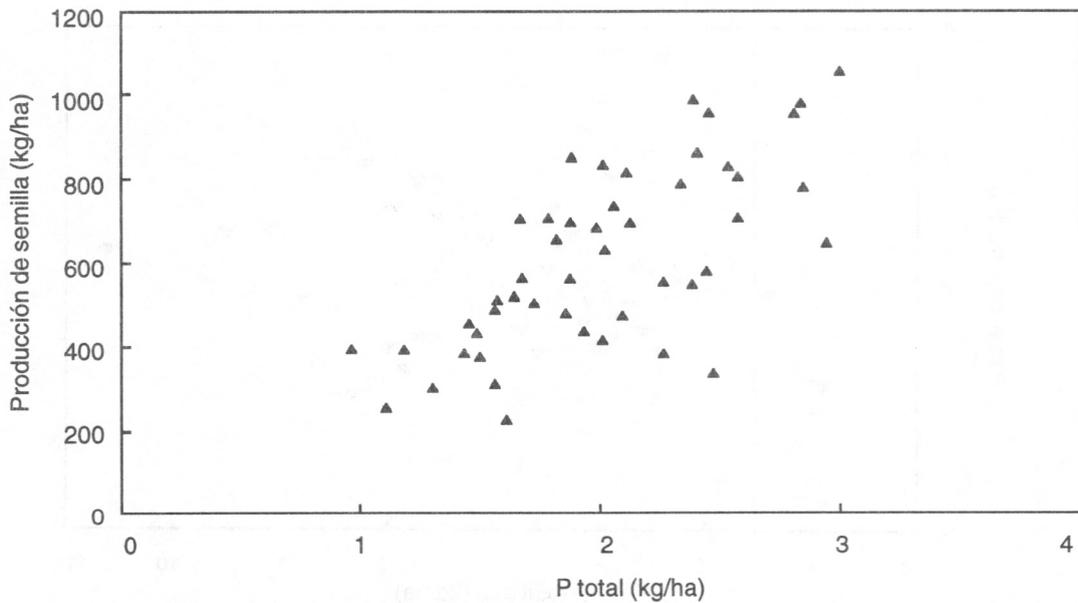


Fig. 4. Rendimiento de 23 genotipos cultivado en condiciones de bajo-P, en relación a P total. Darien y Popayan, 1994-1995.

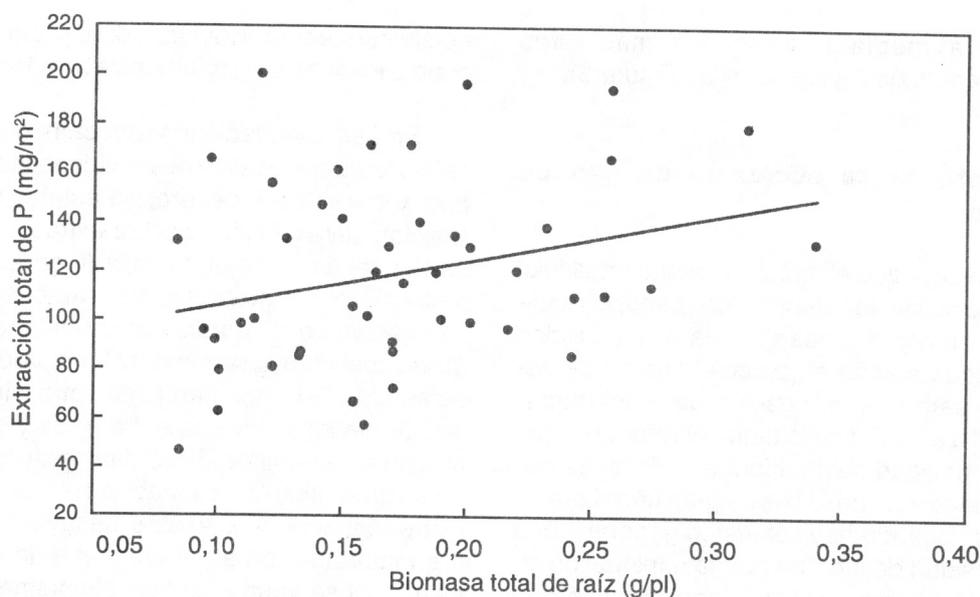


Fig. 5. Biomasa de raíz en la etapa de llenarlo de vainas y P total en madurez fisiológica de 23 genotipos cultivado en suelo de bajo P. Darien y Popayan, 1994-1995.

inversión en biomasa radicular (G6450 y G21212) y algunos producen una gran biomasa de raíz pero toman relativamente poco P bajo stress de P (Tostado, G13772 y G17198). Lo anterior indica que la biomasa de raíz por si sola no es un buen indicador de la capacidad de extracción de P del frijol y que la capacidad de extracción de P probablemente depende de la interacción de factores como longitud y diámetro (área de absorción), volumen de suelo explorado, proliferación de pelos absorbentes.

En todos los ensayos para tolerancia a bajo P realizados hasta ahora se ha colectado el sistema radicular en cada tratamiento y están en proceso de evaluación longitud, distribución diametral, complejidad (dimensión fractal) y números de puntos de crecimiento. Esto permitirá el eventual análisis de las características radicales de plantas cultivadas en el campo y su relación con la capacidad de extracción de P, dando una mejor

representación de la eficiencia de extracción y una indicación de las características arquitecturales responsables de la eficiencia.

Ha existido la preocupación de que la selección para incrementar la eficiencia de P podría terminar en selección fenológica de materiales tardíos, ya que en estudios anteriores con frijoles de fenología contrastante (días a madurez) en ambientes tropicales y en condiciones de campo variables, mostraron que algunos genotipos tardíos tienen ventaja sobre genotipos precoces en ambientes de bajo P. En el presente trabajo de investigación utilizando 23 genotipos de fenología variable en dos sitios (Darien y Popayán) y en tres ciclos, se demostró que aunque la tendencia general fue la de mejorar el rendimiento de semilla y aumentar el P total con el incremento de los días a madurez, se observó un amplio rango de variabilidad para cada clase de madurez y que los cultivares de madurez

precoz a media tuvieron los más altos rendimientos de P y de semilla (Figura 6).

Aumento de la eficiencia de uso de fósforo

Debido a que el interés primario en el frijol es como cultivo leguminoso de grano, el rendimiento en condiciones de baja disponibilidad de P sigue siendo el principal criterio de selección para la investigación de la tolerancia del frijol a bajo P. Por lo tanto, el reforzamiento de la capacidad de transformar el P escaso en rendimiento de semilla es de gran importancia, más aún cuando hay consenso general sobre la necesidad de incrementar la explotación de las limitadas reservas de P en el suelo con cultivares eficientes en la extracción de P. La identificación del o de los mecanismos específicos que conviertan eficientemente el P de los tejidos en semilla, probablemente hará posible la combinación de esta característica con otras características agronómicas deseables, incluida la de la alta eficiencia en la extracción de P del suelo, para buscar el aumento de la

estabilidad de la productividad y del rendimiento en suelos marginales de baja fertilidad.

En las evaluaciones de campo de 23 cultivares bajo condiciones ambientales variables y stress de P severo, se estableció una relación clara y positiva entre extracción total de P y rendimiento de semilla (Figura 4). Sin embargo, a cualquier nivel de extracción de P se observó considerable variabilidad genética de la capacidad para convertir P en producción de semilla. El comportamiento entre sitios de la EUF de los cultivares entre sitios y semestres fue sin embargo relativamente consistente, permitiendo la caracterización de cultivares capaces de usar este mecanismo. Esto fue importante para asegurar que lo que se estaba observando no fue simplemente un efecto de índice de cosecha (IC), por ejemplo una tendencia hacia el incremento del particionamiento de los recursos de la planta hacia la producción de semilla bajo stress de P. Al examinar la relación entre EUF e IC en condiciones de bajo P, se observa que para una EUF dada existe una amplia variación en los IC de los cultivares (Figura 7). Debido a que

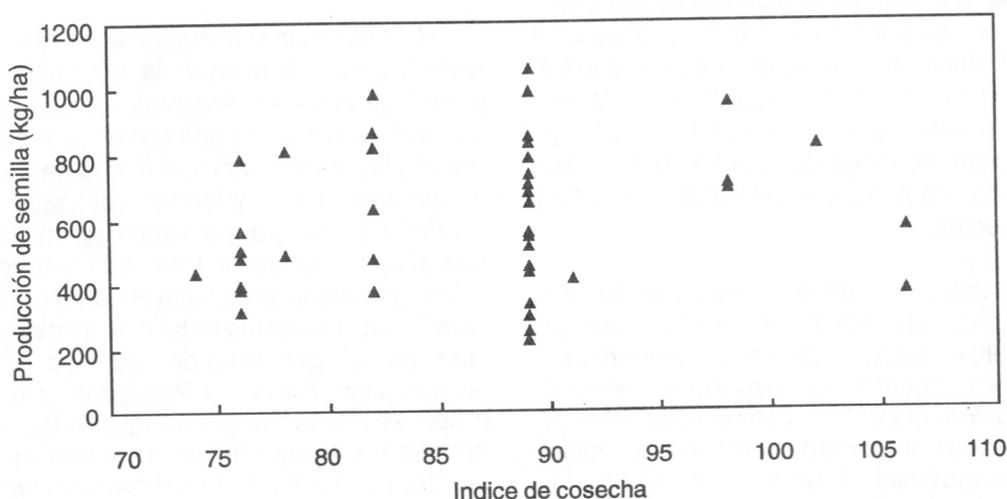


Fig. 6. Rendimiento en relación con días a madurez en 23 genotipos cultivado en suelo de bajo P. Darien y Popayan, 1994-1995.

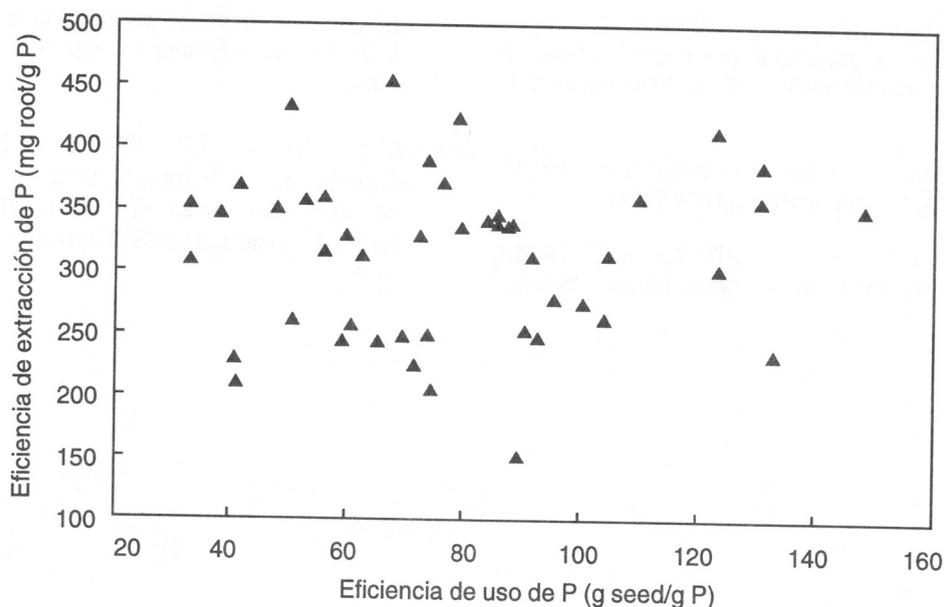


Fig. 7. Eficiencia del uso de P y eficiencia de extracción de genotipos bajo P stress. Darien y Popayan, 1994-1995.

casi todos los cultivares estuvieron bien adaptados en ambas localidades (indicado por el alto rendimiento de semilla en alto P), se concluye que las diferencias en UEF son reales.

La combinación de UEF y la capacidad de extracción de P de un cultivar en condiciones de bajo P da como resultado la "tolerancia a bajo P" del cultivar, mejor expresada aquí como rendimiento de semilla a bajo P. Los cultivares que consistentemente fueron capaces de convertir P de los tejidos de la planta en rendimientos de semilla relativamente altos fueron: G3513, G6450, G16835, G19842, G21212 y G23275. Algunos genotipos incluyendo BAT881, DOR364, G13772, y Tostado, tuvieron una relativamente alta UEF, pero acumularon poco P su crecimiento y por lo tanto produjeron bajos rendimientos de semilla. Los resultados hasta aquí expresados son muy promisorios en términos de identificación de cultivares capaces de rendir

bajo severo stress de P y los mecanismos responsables de su eficiencia. Se puede deducir que aparentemente varios cultivares aparentemente combinan mecanismos de extracción y de uso de P, mientras que otros son aparentemente eficientes en la extracción o uso interno. En el futuro el trabajo se enfocará hacia el entendimiento de estos mecanismos con vista a determinar su heredabilidad e identificación de los correspondientes marcadores moleculares que permitan la incorporación de los genes responsables mediante programas de mejoramiento.

LITERATURA CITADA

- HELAL, H.M. 1990. Varietal differences in root phosphatase activity as related to the utilization of organic phosphates. *Plant Soil* 123: 161-163.

LYNCH, J.; LAUCHLI, A.; EPSTEIN, E. 1991.
Vegetative growth of the common bean in
response to P nutrition. *Crop Science* 31:380-
387.

MARSCHNER, H. 1987. *Mineral Nutrition of Higher
Plants*. Academic Press, New York.

YAN, X.; LYNCH, J.P.; BEEBE, S.E. 1995a.
Genetic variation for phosphorus efficiency

of common bean in contrasting soil types:
I. Vegetative response. *Crop Sci.* 35: 1086-
1093.

YAN, X.; LYNCH, J.P.; BEEBE, S.E. 1995b.
Genetic variation for phosphorus efficiency
of common bean in contrasting soil
types: I. Yield response. *Crop Sci.* 35: 1094-
1099.
