

Mejoramiento y manejo agronómico del frijol común (*Phaseolus vulgaris*) para adaptación en suelos de bajo fósforo



Taller Internacional sobre bajo fósforo en
el cultivo del frijol.

Realizado del 13 al 15 de
noviembre de 1995
San José, Costa Rica.

**MEJORAMIENTO Y MANEJO AGRONOMICO DEL FRIJOL
COMUN (*Phaseolus vulgaris* L.) PARA ADAPTACION EN
SUELOS DE BAJO FOSFORO**

**Memoria del Taller Internacional sobre Bajo Fósforo
en el Cultivo del Frijol**

13 al 15 de noviembre de 1995
San José, Costa Rica

Compilación y edición :

*Rodolfo Araya Villalobos
Douglas Beck*

*Programa Cooperativo Regional de Frijol para Centroamérica,
México y el Caribe (PROFRIJOL)
Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)
Universidad de Costa Rica (UCR)*

CREDITOS

Compilación y edición

*Rodolfo Araya Villalobos
Douglas Beck*

Diseño de portada

Manrique Sánchez Villalobos

Diseño gráfico

Grettel Calderón Abarca

Coordinación de Distribución

*Universidad de Costa Rica
Facultad de Agronomía
Estación Experimental Fabio Baudrit M.*

*Apartado Postal 183-4050 Alajuela
Costa Rica, América Central
Fax : (506) 433-9086
Tels: (506) 433-9111 / 433-8284*

Entidades coordinadoras del seminario

CIAT-Programa Regional de Fitonutrición

*Universidad de Costa Rica. Facultad de
Agronomía.: Estación Experimental Fabio
Baudrit Moreno y Centro de Investigacio-
nes Agronómicas*

Financiación del Taller Internacional

PROFRIJOL

Financiación de la publicación de estas memorias

*PROFRIJOL
CIAT*

*Universidad de Costa Rica-Vicerrectoría
de Investigación
Centro Internacional de Investigación
para el desarrollo, a través del proyecto
"Mejoramiento de Sistemas con Cober-
tura: Frijol Tapado"*

INTRODUCCIÓN

El bajo fósforo, en los suelos tropicales, es un limitante primario para la productividad agrícola. Los actuales programas de investigación en agricultura están enfocando las limitaciones debidas a la fertilidad de suelos, de una manera diferente que en las décadas anteriores, cuando la estrategia de fertilización química fue la única alternativa. El mejoramiento y manejo agronómico del cultivo, para adaptación al bajo fósforo en las áreas tropicales y subtropicales, tienen como propósito obtener una producción más alta, económicamente sostenible y sin impacto ambiental negativo.

La estrategia para solucionar esta limitante en la producción de frijol común en Centroamérica, esta enfocado hacia la identificación de líneas de frijol con tolerancia al bajo fósforo, que puedan servir como cultivares para ser liberados por Programas Nacionales, o como donantes de genes de tolerancia al bajo fósforo. Para lograr este objetivo se requiere determinar los mecanismos de absorción y utilización del fósforo en las plantas tolerantes, lo cual favorecerá la obtención de marcadores moleculares y los factores que interactúan con el fósforo y sistemas de manejo en rotación con maíz. El Programa Cooperativo Regional de Frijol de Centroamérica, México y el Caribe (PROFRIJOL), con apoyo de COSUDE y CIAT, esta siguiendo esta estrategia, como un componente de su meta principal, para mejorar productividad sostenible de frijol en la región de Centroamérica Mexico y El Caribe.

En Noviembre de 1995, se realizó un taller internacional sobre bajo fósforo para brindar, en primera instancia, la información disponible sobre evaluaciones a nivel de campo, de la tolerancia del frijol al bajo fósforo. Aunque se dió mucho énfasis en selección y mejoramiento, una perspectiva del manejo de P en sistemas y consideración de variabilidad espacial de suelos, fue integrado en los discusiones. Esta publicación presenta los artículos de este taller internacional, con la esperanza de que sea proyectado a otros cultivos básicos, donde metodologías de mejoramiento y aplicación de fertilizantes estratégicos, pueden ser de provecho para mejorar la productividad y sostenibilidad en suelos pobres.

MEJORAMIENTO GENETICO DEL FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L) PARA TOLERANCIA A BAJO FOSFORO: ESTRATEGIAS Y FUENTES DE DIVERSIDAD ¹

Steve Beebe ²

RESUMEN

Mejoramiento genético del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) para tolerancia a bajo fósforo: estrategias y fuentes de diversidad. Hace varios años se han indicado diferencias genéticas en la capacidad del frijol de producir en condiciones de baja disponibilidad de fósforo. Sin embargo, fue difícil lograr avances genéticos en cruces entre los materiales conocidos como tolerantes a bajo fósforo. Por tanto, fue necesario ampliar la base genética para obtener la variabilidad para mejoramiento genético. Un estudio de 364 genotipos de diversos orígenes, reveló que germoplasma de Chiapas, México, y del norte de los Andes podra ser buenas fuentes de tolerancia a bajo fósforo. Sin embargo, el frijol silvestre resultó ser especialmente sensible a bajo fósforo, sugiriendo que la tolerancia a bajo fósforo en el frijol cultivado fue adquirido durante o después de la domesticación. El pleno aprovechamiento del germoplasma tolerante depende de su selección efectiva en poblaciones segregantes en programas de mejoramiento. Esto se puede facilitar con marcadores moleculares de ADN para genes que controlan la tolerancia, y esta labor se favorece, si se pueden buscar marcadores para mecanismos de tolerancia, identificados a traves de estudios fisiológicos. Se discuten ademas tres métodos estadísticos para cuantificar la tolerancia.

ABSTRACT

Breeding of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) for tolerance to low phosphorus: strategies and sources of diversity. Genetic differences in the ability of common bean to produce at low levels of soil phosphorus (P) availability have been reported previously. However, no genetic advance was possible in crosses among genotypes recognized as tolerant to low P. Therefore, it was necessary to broaden the genetic base to provide the genetic variability for breeding efforts. A study of 364 genotypes of diverse origins revealed that germplasm from Chiapas, Mexico and from the north of the Andes could be important sources of tolerance to low P. However, wild bean was especially sensitive to low P, suggesting that tolerance would have been acquired during or after domestication. Full exploitation of tolerant germplasm depends on its effective reselection in segregating populations in breeding programs. This may be facilitated by DNA molecular markers linked to genes controlling tolerance. The use of molecular markers in turn will be facilitated if these are identified for specific tolerance mechanisms identified through physiological studies. Statistical methods for quantifying tolerance are discussed.

¹ Parte del proyecto PROFRIJOL en Veracruz, México.

² CIAT, Colombia. Apdo. Postal A.A. 6713 Cali, Colombia.

INTRODUCCION

Las especies varían en su adaptación a diferentes condiciones edáficas, sean estas de toxicidades o de disponibilidad de nutrientes. Este es un efecto genético. Igualmente, ecotipos o genotipos dentro de la misma especie pueden presentar diferencias en su capacidad de crecer y reproducir bajo estrés edáfico. En el caso presente estamos enfocando sobre la tolerancia del frijol a la baja disponibilidad de fósforo (P) en el suelo.

El mejoramiento genético para tolerancia a bajo P, aprovecha estas diferencias genéticas para mantener o ampliar dicha adaptación. Sin embargo, la meta de un programa de mejoramiento no es necesariamente eliminar el uso de fertilizantes. Un cultivo eficiente en producir a bajos niveles de P es apenas un elemento en lo que debe ser un programa integrado de manejo de fertilidad. El presente trabajo es una revisión muy ligera del mejoramiento del frijol para bajo P.

El frijol silvestre y la evolución de la tolerancia

El frijol tiene "fama" de ser un cultivo exigente en cuanto a requerimientos de P. Para entender una de las posibles razones por esto, es útil considerar el frijol silvestre del cual el frijol fue domesticado. El frijol silvestre es nativo del bosque seco premontano, por ejemplo, de México o de Boyacá, Colombia. Los suelos en este ambiente frecuentemente no son muy lixiviados, ni muy bajos en P. En nuestras evaluaciones el frijol silvestre se ha comportado en forma extremadamente pobre bajo estrés de P, muy por debajo del cultivado inclusive. Una posible razón sería su semilla muy pequeña que aporta pocas reservas de P, pero en recientes evaluaciones hemos visto, que el silvestre tiene más alta concentración de P en semilla que el cultivado. Mas bien,

su mal comportamiento bajo estrés se debe a su origen, y su evolución en un ambiente donde P normalmente no ha sido limitante. Selección para tolerancia a bajo P probablemente ocurrió cuando el frijol cultivado fue llevado a ambientes más deficientes en P. La superioridad del cultivado en comparación al silvestre demuestra que si es posible mejorar un especie para un estrés edáfico.

Los trabajos pioneros

Los primeros trabajos publicados sobre diferencias genéticas del frijol para tolerancia se basaron en análisis de producción de materia seca en un sistema hidropónico en el cual P fue el nutriente limitante (Whiteaker *et al.*, 1976; Fawole *et al.*, 1982).

Schettini *et al.* (1982) produjeron líneas mejoradas con rendimiento superior bajo el estrés en el campo, utilizando los progenitores identificados en el sistema hidropónico. Los primeros trabajos en el trópico fueron llevados por Thung (1991), en los cuales se identificaron los cultivares brasileños 'Carioca' y 'Rio Tibagi', entre otros, como superiores en rendimiento bajo estrés en condiciones de campo. Sin embargo, todos los materiales con buena respuesta fueron de tipo Mesoamericano, y probablemente tuvieron origen en Centroamérica en años anteriores. No fue posible lograr un nivel superior de tolerancia en cruzamientos entre ellos (Singh *et al.*, 1989). Fue evidente que sería necesario ampliar la base genética para mejorar la tolerancia.

Ampliando la base genética

Todo mejoramiento genético depende de la existencia de variabilidad genética para el carácter de interés. Reconociendo la necesidad de ampliar la base genética para lograr mejoras en la tolerancia, se iniciaron traba-

jos de evaluación de un rango más amplio de germoplasma de variedades nativas o criollas. Para este propósito, fue necesario establecer viveros en un ambiente más fresco que Santander de Quilichao, Cauca (1000 msnm, 23°C temperatura promedio) donde se acostumbraban sembrar los viveros de bajo P, ya que una gran diversidad del frijol es originaria de las zonas montañosas de Mesoamérica y los Andes, y no se adapta en zonas cálidas. Con este fin, se adecuaron lotes en Popayan, Cauca (1700 msnl, 17°C temperatura promedio) para la evaluación de germoplasma. El suelo de Popayan es de origen volcánico, y aunque tiene un alto contenido de P total (aproximadamente 1000 ppm), la mayor parte se encuentra en forma orgánica y de muy baja disponibilidad. Además, el suelo tiene un alto contenido de alofano, el cual forma complejos con P y lo vuelve insoluble. Suelo nativo de Popayan típicamente presenta un valor alrededor de 2 ppm P disponible (Bray II). Este nivel de estrés no permite ningún desarrollo del frijol, y aun en los tratamientos de estrés fue necesario agregar P en baja cantidad.

Muestras de semilla fueron conseguidas de la Unidad de Recursos Genéticos del CIAT y sembrados en el campo. Frecuentemente un testigo del cv. 'Carioca' fue incluido para comparación con tipos arbustivos. Entre materiales volubles se utilizó como testigo el G2333, 'Colorado de Teopisca', un criollo de Chiapas, México.

A través de los años, muchos grupos de materiales fueron evaluados, pero un ensayo de 364 materiales fue seleccionado como "CORE" para bajo P fue particularmente diferente. Estos 364 fueron escogidos con base en distribución geográfica, para representar la variabilidad genética del frijol en los centros primarios de Mesoamérica y la zona Andina. Rendimientos en alto y bajo P fueron

comparados por un análisis de regresión, regresando rendimiento en bajo P sobre su valor en alto P y tomando el residual como medida de tolerancia (vea 'Análisis de datos' abajo). Resultados están presentados para los tipos 3 en Figura 1 y para los tipos 4 en Figura 2. Amplias diferencias en tolerancia fueron observadas entre genotipos, y en parte estas fueron relacionadas con el origen. Materiales provenientes del altiplano seco de México (región 1 en Figuras 1 y 2: los estados de Durango, Zacatecas y Aguascalientes, entre otros) por lo general fueron pobres en bajo P. Aunque deficiencia de P puede ocurrir en estos estados, la sequía es un problema mucho más serio, y no hay alto contenido de aluminio o hierro que agudice el problema de P. Por otro lado, volubles de México (Figura 2: regiones 2, 3, 4 y 5) y posiblemente de Bolivia (región 9) fueron superiores a los de otras regiones. Materiales arbustivos de Chiapas y el Norte de los Andes rindieron relativamente bien (Figura 1, regiones 5 y 7). En otras evaluaciones arbustivos Andinos de la provincia de Amazonas, Perú (que también forma parte del norte de los Andes) se portaron como tolerantes.

Se han identificado materiales superiores entre varias razas del frijol cultivado, según la definición de razas utilizadas actualmente (Singh, 1989), incluyendo las razas M, J, N y P. Estas se encuentran dentro de los dos principales acervos genéticos del frijol cultivado. Esto sugiere que los materiales tolerantes han evolucionado en regiones lejanas y por líneas muy distintas. Ya que el frijol silvestre no parece ser la fuente de la tolerancia, los genes y los caracteres de tolerancia seguramente fueron seleccionados durante el desarrollo de cada una de estas líneas evolutivas. Este escenario ofrece la posibilidad de que los genes y mecanismos sean distintos también, y por tanto, que haya potencial para recombinar genes y lograr progreso genético.

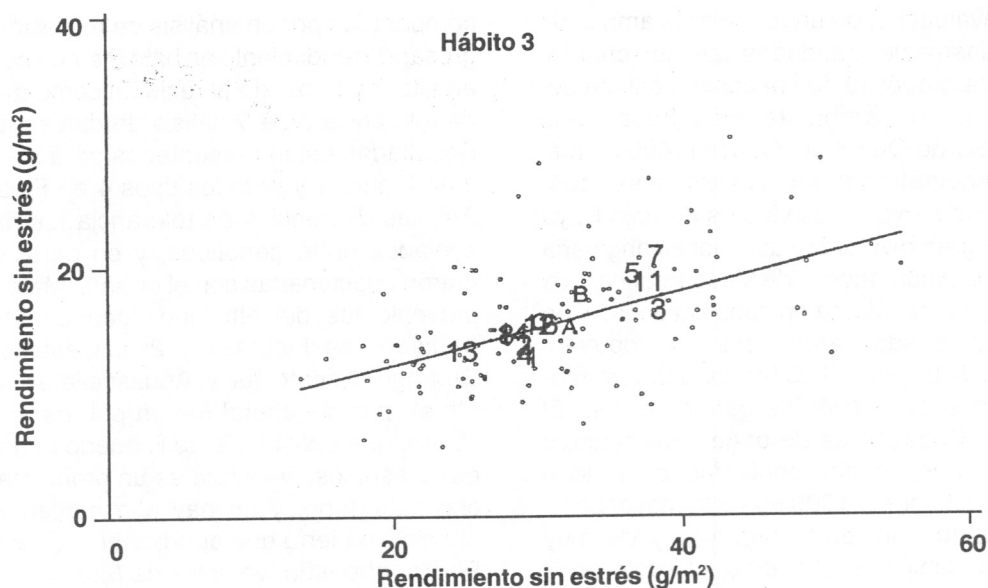


Fig. 1. Rendimiento con y sin estrés de 121 genotipos de hábito 3, con línea de regresión y promedios por regiones y centros de diversidad. Región 1= México altiplano seco; 2= México central occidental; 3= México central; 4= México occidental; 5= Sur de México -Guatemala occidental; 6= Centroamérica; 7= Colombia - Ecuador; 8= Perú; 9= Bolivia; 10= Argentina; 11= Brasil; 12= África oriental; 13= Sur de África; 14= otros; 15= Silvestres de Andes del Sur; 16= Silvestres de Perú; 17=Silvestres de México; A= Mesoamérica; B= Zona Andina; C= Centros secundarios.

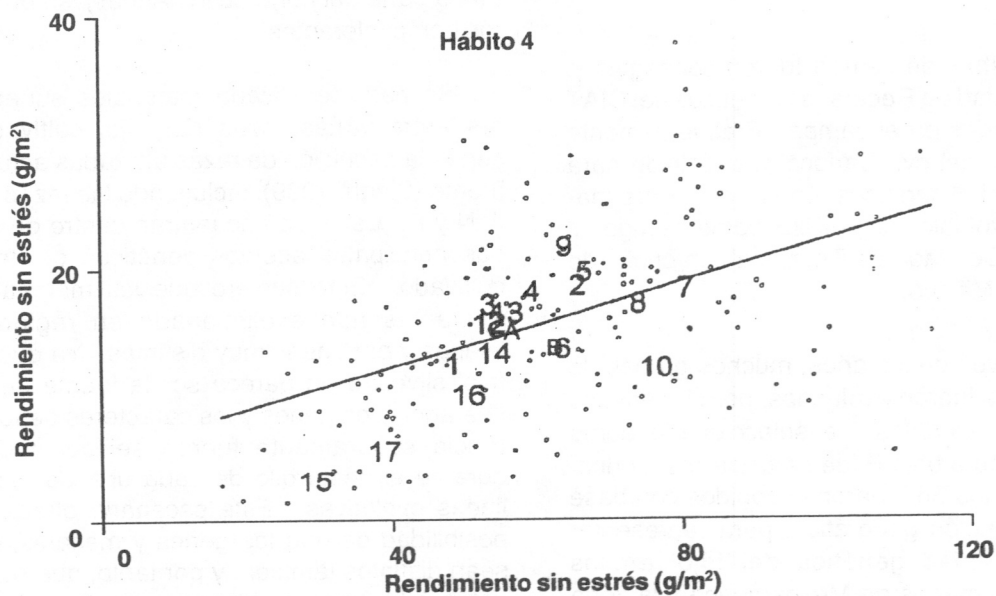


Fig. 2. Rendimientos con y sin estrés de 169 genotipos de hábito 4, con línea de regresión y promedios por regiones y centros de diversidad. Identificaciones de regiones y centros igual a Fig 1.

Análisis de datos

Mientras el mejoramiento depende de la existencia de variabilidad genética, la utilización de esta variabilidad depende de un correcto análisis de los datos, sin anomalías introducidas por el manipuleo de los datos. Normalmente la tolerancia a bajo P se mide por el rendimiento bajo estrés, y el análisis se hace relacionando este rendimiento con aquello en un tratamiento testigo sin estrés. Consideraremos tres opciones para relacionar datos con y sin estrés, y las posibles anomalías que pueden resultar de diferentes análisis que son utilizados frecuentemente.

Primero, consideramos el análisis utilizando la regresión de rendimiento con estrés sobre rendimiento sin estrés. Podemos visualizar este análisis si graficamos los rendimientos con y sin estrés, junto con la línea de regresión (Figura 3). La lógica detrás de este

análisis es la siguiente. Es de esperar que el nivel de rendimiento con estrés será afectado por el potencial de rendimiento sin estrés. Para el agricultor esto está bien; rendimiento alto es bueno en cualquier circunstancia. Pero para propósitos de cuantificar la tolerancia en sí, esta parte del rendimiento no nos interesa. Lo que nos interesa es cuantificar la parte del rendimiento que se debe a alguna capacidad de tolerar bajo P. Podemos estimar el efecto del potencial de rendimiento sobre el rendimiento con estrés, calculando la regresión, que nos dice que por cada unidad de rendimiento sin estrés, esperamos recuperar tantos kilos con estrés. El resto del rendimiento se debe a la tolerancia. Es decir, si el rendimiento es mayor que el valor esperado por la regresión, la variedad es tolerante. Si la variedad rinde menos que el valor esperado, es susceptible. En este caso, el residual de la regresión es la medida de tolerancia o susceptibilidad.

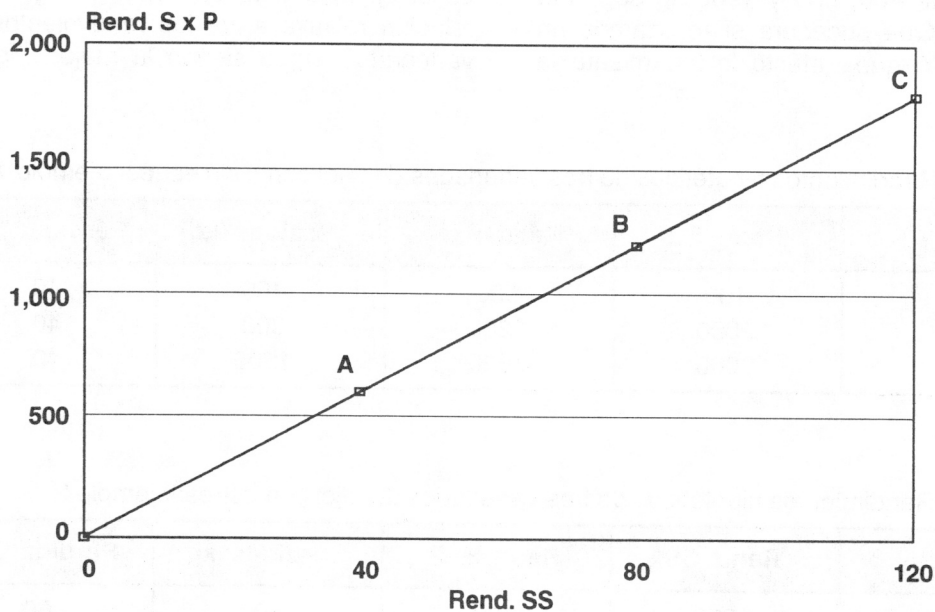


Fig. 3. Regresión de rendimiento con estrés sobre rendimiento sin estrés, para ejemplo 1.

Tomemos como ejemplo 1 un conjunto sencillo de datos de tres variedades: A, B y C. Sin estres de P, estos rinden 1000, 2000 y 3000 kg respectivamente (Cuadro 1). Con estres los rendimientos bajan a 600, 1200 y 1800, o sea, hay una reducción proporcional de 40% en cada variedad. Si trazamos la línea de regresión (Figura 3), esta pasa por el origen (0,0) y tiene un pendiente de 0,6; es decir, para cada kg de rendimiento sin estres, se espera 0.6 kg bajo estres. En el caso de este conjunto de variedades, todo el rendimiento bajo estres se puede explicar por la capacidad de rendimiento en si, y aparentemente no hay mecanismos específicos para tolerancia a bajo P. Al contrario, una variedad cuyos rendimientos graficaran arriba o abajo de la línea, sería tolerante o susceptible a bajo P.

Volvamos al conjunto de datos de las tres variedades A, B y C. De nuevo, rinden 1000, 2000 y 3000 kg sin estres, y con estres los rendimientos bajan a 600, 1200 y 1800 respectivamente. Las pérdidas son proporcionales y son de 400, 800 y 1200 kg según la variedad. Que suceda si realizamos un ANDEVA? Ya que el efecto del tratamiento de

P varía con la variedad, un ANDEVA detectará un componente de interacción de Genotipo x Nivel de P ($G \times P$). Muchas veces la existencia de $G \times P$ esta interpretada como una indicación que los genotipos se están portando en forma distinta, y por tanto debe haber diferencias en tolerancia. Pero en este caso la interacción se debe exclusivamente a una reducción proporcional; el orden y los rendimientos relativos de los genotipos son iguales a cualquier nivel de P. La interacción de $G \times P$ en el ANDEVA sobre niveles de P no es un buen indicador de tolerancia.

En el ejemplo anterior, se puede corregir por una reducción proporcional, calculando el porcentaje de reducción en rendimiento. Es esta la mejor forma de analizar los datos, como porcentaje de pérdida? También puede resultar en anomalías! Supongamos para ejemplo 2 que los rendimientos sin estres no cambian y los con estres son de 400, 1000 y 1600, respectivamente (Cuadro 2). Esto equivale a restar 200 kg a los rendimientos bajo estres en el ejemplo anterior. Esto no cambia la relación relativa entre los rendimientos, la variedad C sigue siendo la mejor y por el

Cuadro 1. Rendimientos hipotéticos de tres variedades de frijol con y sin estrés; ejemplo 1.

VAR	Rend. SS	Rend. SxP	Pérdidas (kg)	Pérdidas (%)
A	100	600	400	40
B	2000	1200	800	40
C	3000	1800	1200	40

Cuadro 2. Rendimientos hipotéticos de tres variedades de frijol con estrés; ejemplo 2.

VAR	Rend. SS	Rend. SxP	Pérdidas (kg)	Pérdidas (%)
A	1000	400	600	60
B	2000	1000	1000	50
C	3000	1600	1400	47

mismo margen. Si calculáramos la regresión, el pendiente de la línea sería el mismo, pero la línea se desplazaría hacia abajo (Figura 4). Pero que pasa con las pérdidas en términos de porcentaje? Ahora las tres variedades pierden 60, 50 y 47% respectivamente. A pesar de mantener la misma relación entre los rendimientos de las variedades bajo estrés, cuando los comparamos con rendimientos sin estrés, aparentemente hay diferencias. Esta es una anomalía.

El análisis de datos usando la regresión es bastante útil para cuantificar la tolerancia cuando hay materiales de diferentes capacidades de rendimiento. Supera las anomalías que puedan ocurrir al utilizar el término de $G \times P$ del ANDEVA, o el porcentaje de reducción como criterio de tolerancia. También sirve para visualizar los datos en el contexto de las magnitudes originales de rendimientos en el ensayo, y permite estimar el valor de la tole-

rancia en unidades de rendimiento (kg/ha), el cual se pierde con el calculo de porcentaje.

La contribución de fisiología

El criterio para identificar genotipos superiores ha sido su rendimiento bajo estrés. Sin embargo, ensayos de rendimiento son costosos para ejecutar, y requieren varios semestres para tener confianza en los datos. Para el trabajo de identificar genotipos tolerantes, sería de gran ayuda conocer los mecanismos responsables para poder seleccionar para el mecanismo en si en vez del rendimiento, una vez que haya confianza que tal mecanismo es valioso.

Otra ventaja de entender los mecanismos involucrados, es saber donde y en que condiciones los genes de tolerancia serán útiles. Por ejemplo, semilla de mayor tamaño

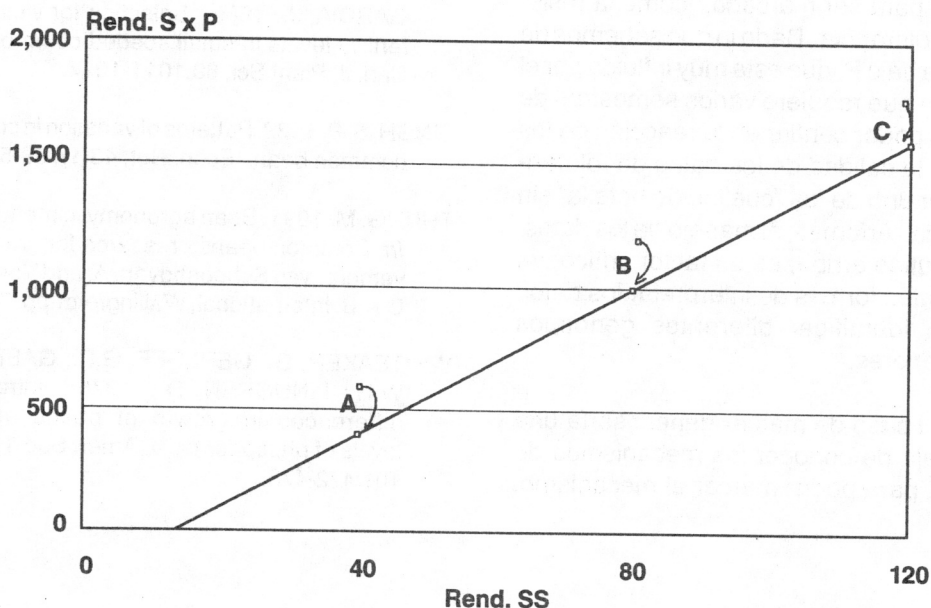


Fig. 4. Regresión de rendimiento con estrés sobre rendimiento sin estrés, para ejemplo 2.

confiere cierta tolerancia porque aporta mayor P a las plantulas, pero si grano grande no es aceptable al consumidor, esta no es una opción. Madurez tardia tiende a resultar en mayor tolerancia, pero muchos agricultores no estarian dispuestos a sembrar variedades tardias.

Marcadores moleculares

En los últimos años el uso de marcadores moleculares para reconocer y reselectionar genes útiles ha vuelto una realidad. En la mayoría de los casos los genes han sido genes mayores para caracteres sencillos, como ciertas resistencias. Hay pocos trabajos con complejos caracteres fisiológicos, que puedan ser gobernados por genes múltiples.

Genes múltiples requieren un esfuerzo especial para poder marcarlos, pero muchas veces el limitante más grande es la calidad de los datos fenotipicos, es decir, los datos sobre el caracter para ser marcado, como la resistencia o la tolerancia. Dado lo que sabemos de tolerancia a bajo P, que esta muy influida por el ambiente, y que requiere varios semestres de datos para poder confiar en la reacción de los genotipos, la calidad de los datos de tolerancia va a ser uno de los "cuellos de botella" sin lugar a duda. Además, el manejo de los datos, como discutido arriba, es un factor crítico, ya que diferentes formas de interpretar los datos llevarán a identificar diferentes genotipos como superiores.

Para el caso de marcar genes, sería una gran ventaja de conocer los mecanismos de tolerancia, para poder marcar el mecanismo,

en vez de marcar genes de rendimiento bajo estres. Ya que probablemente sera mas fácil reconocer la presencia del mecanismo que cuantificar tolerancia por rendimiento. Esto presupone que ya esta confirmado que el mecanismo tiene un efecto positivo sobre tolerancia y rendimiento.

LITERATURA CITADA

- FAWOLE, I.; GABELMAN, W.H.; GERLOFF, G.C.; NORDHEIM, E.V. 1982. Heritability of efficiency in phosphorus utilization in beans (*Phaseolus vulgaris* L.) grown under phosphorus stress. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 107(1):98-100.
- SCHETTINI, T.M.; GABELMAN, W.H.; GERLOFF, G.C. 1987. Incorporation of phosphorus efficiency from exotic germplasm into agriculturally adapted germplasm of common bean (*Phaseolous vulgaris* L.). Plant Soil 99: 175-184.
- SINGH, S. P.; URREA, C. A.; GUTIERREZ, J. A.; GARCIA, J. 1989. Selection for yield at two fertility levels in small seeded common bean. Can. J. Plant Sci. 69:1011-1017.
- SINGH, S. P. 1989. Patterns of variation in cultivated common bean. Econ. Bot. 43(1): 39-57.
- THUNG, M. 1991. Bean agronomy in monoculture. In: Common beans: research for crop improvement. van Schoonhoven, A. and Voysest, O. C.A.B. International, Wallingford. pp. 737-834.
- WHITEAKER, G.; GERLOFF, G.C.; GABELMAN, W.H.; LINDGREN, D. 1976. Intraspecific differences in growth of beans at stress levels of phosphorus. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 101:472-475.