

## MANEJO DE LA VARIABILIDAD ESPACIAL Y NIVELES DE STRESS EN SUELOS PARA LA EVALUACION DE TOLERANCIA DEL FRIJOL A BAJO FOSFORO

*Douglas Beck<sup>1</sup>, Fernando Muñoz<sup>2</sup>*

### RESUMEN

**Manejo de la variabilidad espacial y niveles de stress en suelos para la evaluación de tolerancia del frijol a bajo fósforo.** La posibilidad de identificar variedades de plantas tolerantes a bajo P, se hace realidad al aumentar el entendimiento de las relaciones suelo planta y la variabilidad genotípica en frijol. Cuando el objetivo de la investigación es identificar cultivares potenciales para ser liberados por los Programas Nacionales, las variedades tolerantes deberían desempeñarse bien en ausencia del "stress", y el proceso de selección debería permitir la expresión y consideración de las buenas características agronómicas y del rendimiento potencial. Cuando el objetivo es identificar padres con altos niveles de tolerancia, o mecanismos específicos, los cuales podrían ser incluidos en otro germoplasma agronómicamente deseable, puede ser más eficiente seleccionar bajo niveles severos de "stress". Sin importar los objetivos del programa, es necesario mantener un nivel conocido del "stress" con el mínimo de variabilidad espacial, de manera que las diferencias observadas tengan mayor probabilidad de ser estadísticamente significativas y repetibles. Varios puntos principales deben ser tenidos en cuenta en el manejo de un programa de investigación para tolerancia a un "stress". Entre estos están: el tipo y nivel de "stress", características y manejo del suelo, adaptación genotípica y evaluación de la tolerancia.

### ABSTRACT

**Management of soil spatial variability and stress levels in evaluation of plant tolerance to low soil P availability.** With improved understanding of genotypic variability in bean and of soil-plant interactions, the possibility of identifying plant varieties tolerant to low P has become a reality. Where the aim of research is to identify potential cultivars to be released by National Programs, tolerant varieties should perform well in the absence of stress, and the screening process should allow expression and consideration of good agronomic characteristics and yield potential. Where the aim is to identify parents with high levels of tolerance or specific mechanisms which could be combined into other agronomically desirable germplasm, it may be more efficient to screen at severe levels of stress. Regardless of the objectives of the program, it is necessary to maintain a known level of stress with minimum spatial variability so that observed differences are more likely to be statistically significant and repeatable. In managing a stress tolerance research program then, several major issues must be addressed. Among these are the type and level of stress, soil characteristics and management, and genotypic adaptation and tolerance evaluation.

---

<sup>1</sup> CIAT, Apdo. 55-2200, Coronado, San José, Costa Rica .

<sup>2</sup> CIAT, AA 6713, Cali, Colombia

## INTRODUCCION

Hasta ahora los problemas limitantes de la producción agrícola asociados con deficiencia de nutrimentos, han sido enfrentados tratando de modificar las condiciones del suelo. Esta manera de afrontar estos problemas tiene inconvenientes tales como:

- solución del problema en un sitio muy específico, debido a la variación del suelo entre sitios y aún en el mismo sitio.
- alto costo de los insumos necesarios, que en la mayoría de los casos pone la solución del problema fuera del alcance del pequeño agricultor.
- uso poco eficiente de los recursos, puesto que la cuantificación real del limitante es muy difícil y existe mucha probabilidad de sub o sobreestimar las cantidades de insumos necesarias para modificar las condiciones del suelo limitantes de la producción.
- efectos adversos para el ambiente, causados por el uso intensivo de los subsidios químicos utilizados para mejorar la productividad de los cultivos, principalmente en los países desarrollados; hecho que va en contra del principal punto de acuerdo mundial en la última década, la sostenibilidad de los sistemas de producción.

Con el mejoramiento del entendimiento de la variabilidad genotípica en frijol y de las interacciones suelo-planta, la posibilidad de identificar variedades tolerantes a bajo fósforo se ha vuelto una realidad. Pueden ser varios los objetivos para un programa de investigación de tolerancia a un "stress". Si la meta es identificar cultivares potenciales para ser liberados por Programas Nacionales, las variedades tolerantes deberían desempeñarse bien en ausencia del "stress", y el proceso de selección debería permitir la expresión y consideración de características agronómicas buenas y del rendimiento potencial. Si la meta es identi-

ficar padres con altos niveles de tolerancia o mecanismos específicos los cuales podrían ser introducidos en germoplasma agronómicamente deseable, quizás sea más eficiente seleccionar con niveles severos del "stress". Independientemente de los objetivos del programa, es necesario mantener un nivel conocido del "stress" con mínima variabilidad espacial de manera que las diferencias observadas tengan mayor probabilidad de ser estadísticamente significativas y repetibles.

La selección del sitio para investigación de tolerancia a un "stress" es extremadamente importante por varias razones. Es importante que el sitio sea bien caracterizado y manejado, además deben conocerse el nivel de "stress" aproximado, las presiones de plagas y enfermedades y el rendimiento potencial promedio. Por estas razones, es atractivo usar como sitio las estaciones de investigación, pero estas tienden a haber recibido fertilización por mucho tiempo por lo que usualmente no son apropiadas para la investigación de "stresses" por nutrimentos. Los sitios en fincas a menudo tienen la ventaja de tener el nivel de "stress" deseado, pero pueden tener otros "stresses" asociados, los cuales prevalecen sobre el nivel de P. Es esencial pero quizás difícil mantener en fincas distantes un programa activo de manejo de enfermedades y plagas, de manera que los genotipos promisorios para tolerancia a bajo P, pero susceptibles a presión de plagas locales no sean pasados por alto. Los suelos deberían ser bien caracterizados, de manera que "stresses" adicionales al de P sean conocidos y si se desea, neutralizados. Si es posible, deberían colectarse datos meteorológicos especialmente precipitación de manera que la relación entre tolerancia y adaptación pueda ser mejor definida. Debido a la variabilidad de las condiciones ambientales y para asegurar la estabilidad de la tolerancia identificada, son necesarios varios ciclos de cultivo para la evaluación de los genotipos para tolerancia a bajo P. El proceso de caracterización y homogenización del sitio es importante si se

---

quieren lograr buenos resultados, pero estos requieren considerables recursos y la inversión hecha debería ser conservada a través de buenas prácticas de manejo del suelo y del cultivo.

Entonces, en el manejo de un programa de investigación de tolerancia a "stresses", deben ser señalados varios puntos principales. Entre estos están: el tipo y nivel de "stress", características del suelo y su manejo, y evaluación de la adaptación genotípica y de la tolerancia. Estos son discutidos en las siguientes secciones.

### **Tipo y nivel de "stress"**

Mientras los problemas de fertilidad del suelo comunmente son complejos de dos o más "stresses", los complejos son altamente variables y las combinaciones de "stresses" son casi siempre diferentes de un suelo a otro. Los suelos con pH por debajo de 5,0 son especialmente propensos a exhibir un complejo de "stresses", los cuales podrían incluir toxicidad por Al y/o Mn, bajo Ca y/o Mg, y deficiencias de micronutrientes (p.ej Mo, Cu) además del "stress" por bajo P. Los suelos con pH alto (>7.5) son más propensos a presentar deficiencias de B y Zn en adición al bajo P. La selección para tolerancia a complejos puede tener aplicación directa si el objetivo primario es identificar genotipos adaptados que puedan ser usados por los agricultores que producen frijol bajo tal complejo. Sin embargo, los complejos de "stresses" son altamente variables y las interacciones genotipo por complejo de "stresses" son propensas a ser muy problemáticas en la selección para tolerancia al complejo. Las ventajas de seleccionar para tolerancia a complejos son que los cultivares adaptados a tales condiciones de producción son fácilmente identificados con pocos viveros de selección y por lo tanto menos recursos son requeridos. Las desventajas son que la representatividad del "stress" es cuestionable

y el complejo variaría grandemente de sitio en sitio y aún dentro de un sitio, y genotipos individuales con alta tolerancia específica (a P, en este caso) serían pasados por alto.

Si el objetivo de la investigación es identificar genotipos que tengan genes de tolerancia a "stresses" específicos tales como bajo P, entonces el énfasis debería hacerse en selección bajo el "stress" individual, tales genotipos pueden ser utilizados como líneas parentales en un programa de mejoramiento para generar viveros para el "stress" específico y poder también tener tolerancia moderada a algún número de otros "stresses". En el manejo de un suelo para un "stress" específico tal como bajo P, es relativamente simple modificar el suelo para aliviar otros "stresses". En el caso de suelos de bajo pH, se puede añadir cal para llevar el pH a valores de 5.2-5.3. (Liming acid soils), lo cual neutralizará el exceso de Al y Mn en el suelo, previniendo deficiencias de micronutrientes y aumentando el contenido de Ca del suelo para prevenir su deficiencia. Esto no afecta la disponibilidad de P pero asegurará que otros "stresses" no estén presentes.

### **Nivel de "stress" para selección vs búsqueda de mecanismos**

Si la meta es identificar cultivares potenciales para ser liberados por Programas Nacionales, las variedades tolerantes deberían también comportarse bien en ausencia del "stress". Las variedades deben responder bien a los nutrientes disponibles, así sean estos bajos o adecuados. El proceso de selección debería, por lo tanto, considerar y permitir la expresión de características agronómicas deseables y del rendimiento potencial. El seleccionar solamente bajo niveles de "stress" severos no permite esta expresión, y los genotipos seleccionados podrían ser aquellos de alta tolerancia pero de poco rendimiento potencial. Hay dos opciones:

- los genotipos pueden ser evaluados bajo condiciones de "stress" severo y sin "stress" simultaneamente, seleccionando aquellos que se comportan bien en ambas situaciones.
- los genotipos pueden ser evaluados bajo condiciones moderadas de "stress" (50% de reducción del rendimiento sin "stress") durante la primera etapa de selección y despues bajo "stress" severo (70-80% de reducción) en la etapa avanzada.

Donde el objetivo es identificar padres con altos niveles de tolerancia o que exhiban mecanismos especificos de tolerancia es más eficiente seleccionar a niveles severos de "stress". Hemos encontrado útil, sin embargo, acompañar el tratamiento de "stress" severo con un tratamiento sin stress para entender los efectos adicionales del ambiente tales como distribución de las lluvias, enfermedades, etc.

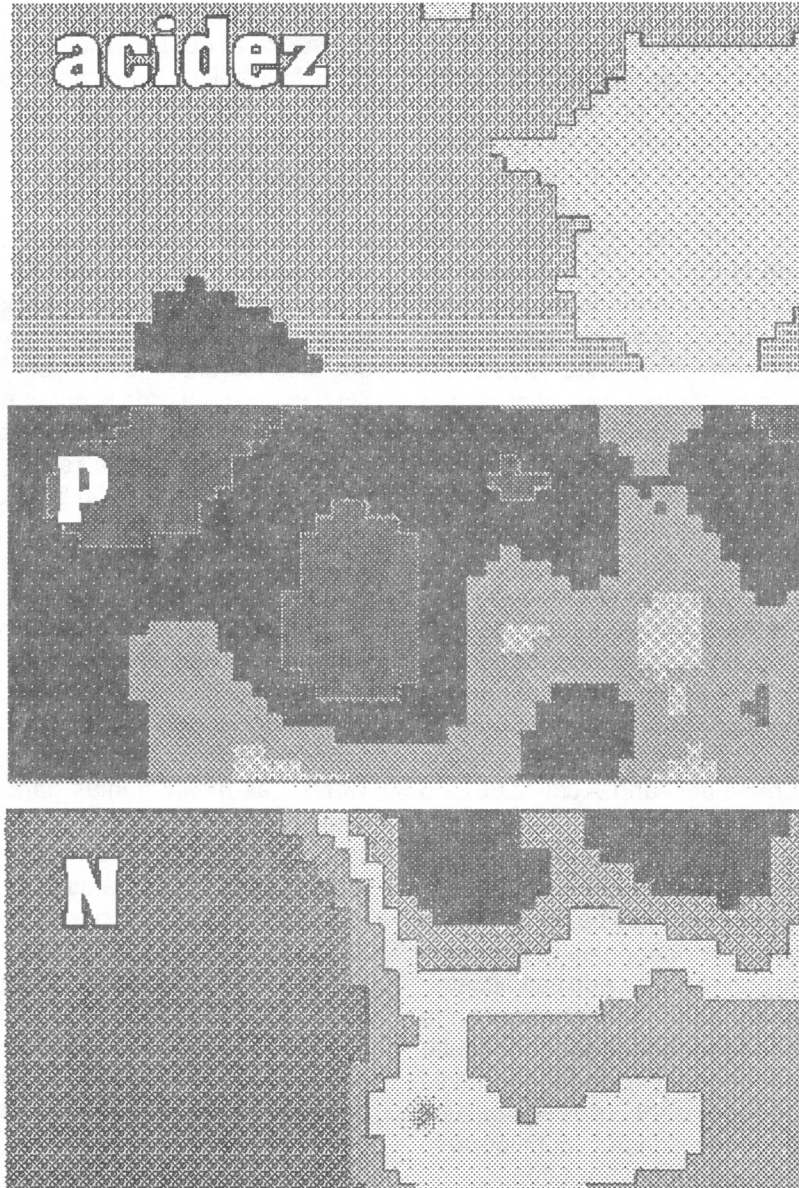
### **Variabilidad espacial en los stress de suelo**

Es muy común que el nivel de P disponible para las plantas tenga un gran grado de variación dentro de un campo experimental. Esto es debido a varios factores incluyendo la concentración y tipo de minerales cristalinos, los cuales fijan P a formas no disponibles, patrones previos de fertilización fosforada, especialmente bandas residuales de fertilizantes fosforados provenientes de fertilizaciones previas dirigidas al surco, y diferencias espaciales en profundidad del suelo, pH, y en los niveles de materia orgánica. Un ejemplo de esta variabilidad espacial es ilustrado en la Figura 1, donde se representan la distribución de P, pH, y materia orgánica en un campo en Perez Zeledón donde investigadores de la Universidad de Costa Rica y CIAT conducen un trabajo de tolerancia a bajo P. El suelo en este

campo fue muestreado formando cuadrículas de 5 m de lado y en cada vértice se tomó una muestra hasta una profundidad de 25 cm y cada muestra fue analizada separadamente para mapear la distribución espacial de los diferentes nutrimentos. A partir de las muestras colectadas y usando análisis de co-varianza en un programa geoestadístico, es posible determinar la probabilidad de las concentraciones de los diferentes nutrimentos del suelo del área del campo muestreada.

El efecto de esta variabilidad del suelo es un gran incremento del coeficiente de variación en los datos experimentales, especialmente cuando el P disponible es muy bajo y valores ligeramente superiores sobre este nivel crítico promueven una gran respuesta de la planta. Esta variabilidad es aún más importante cuando se usan pequeñas parcelas tales como surcos sencillos. Una replicación con 4 ppm de P disponibles en el suelo puede producir 3-4 veces más biomasa de planta y mayor extracción de P que una con 1-2 ppm de P disponibles. En esta situación, con 2 de 3 replicaciones a un nivel superior de P, la tolerancia de un cultivar a bajo P será muy sobreestimada, y las diferencias observadas en tal campo serán muy difíciles de repetir en los siguientes ciclos.

Similarmente, la variabilidad entre sitios puede causar grandes diferencias en el desempeño de un cultivar y crear incertidumbre sobre su verdadero valor. Los sitios pueden tener valores similares de P disponible de acuerdo a un análisis de P en el suelo en particular (Bray II u Olsen) pero producir diferente comportamiento de la planta debido a diferencias en el P realmente disponible en el suelo (ver próxima sección). Hay muchas formas de tener en cuenta esta variabilidad intra- o inter-sitios de experimentación con stress de nutrimentos, algunas de las cuales son discutidas en la siguiente sección.



**Fig. 1.** Mapas del campo experimental (Pérez Zeledón, Costa Rica), demostrando la variabilidad espacial de los factores del suelo afectando la productividad del frijol.

### **Interacción del fósforo y la fijación biológica del nitrógeno**

Los suelos con baja fertilidad y con bajo P, a menudo son también caracterizados por deficiencia de N, la excepción son los suelos volcánicos, los cuales pueden tener alto contenido de materia orgánica pero una muy alta fijación de P debido a su alto contenido de alófono, y por lo tanto una relativamente alta disponibilidad de N con muy alto "stress" de P. El frijol no es completamente dependiente del N del suelo, debido a su capacidad para fijar N atmosférico en formas utilizables por la planta, usando sus nódulos radiculares que contienen bacterias rhizobium. Sin embargo, debe considerarse que el proceso de fijación de N en la planta tiene un alto requerimiento de P y por lo tanto la fijación de N es muy limitada en suelos bajos en P. En nuestra investigación en CIAT (1995, CIAT) hemos encontrado que cultivares eficientes en el uso interno de P (g semilla/g P) a bajo P son también más eficientes en la fijación de N a bajo P, probablemente debido a su capacidad para particionar P a varias partes de la planta (tales como nódulos o vainas) cuando es necesario. A causa de esto es deseable seleccionar tanto para fijación de N como para tolerancia a bajo P, por lo tanto, recomendamos que no se deben aplicar fertilizantes nitrogenados a suelos bajos en P usados para selección de materiales tolerantes a bajo P, a menos que el N aplicado sea necesario para obtener expresión de diferencias entre cultivares. En este caso, la nodulación radicular debería ser observada en la etapa intermedia de la floración. Si hay ausencia de nódulos o los hay en muy bajo número, debería considerarse la inoculación con cepas de rhizobium.

### **Manejo del suelo**

Los suelos generalmente contienen varios miles de veces más P que el que es realmente disponible a la planta, ya que la gran mayoría del P en el suelo está fuertemente sujeto por

enlaces químicos o electrostáticos al componente cristalino del suelo. El único P realmente disponible es aquel contenido en la solución del suelo, el cual es mantenido en equilibrio por la fase sólida. En los andosoles volcánicos, el cristal prevalente que compone esta fase sólida es el alófono, el cual tiene una muy alta capacidad de adsorber P y por lo tanto mantenerlo fuera de la solución del suelo y de la planta. En muchos suelos tropicales meteorizados, tales como los ultisoles, el P está adsorbido al hierro o a cristales de óxido de aluminio, en los cuales el enlace del P a los cristales incrementa su intensidad cuando el pH decrece o cuando la concentración relativa de cristales en el suelo se incrementa. La capacidad del suelo para resistir a cambios en la concentración de P en la solución del suelo cuando se añade o se remueve P es llamada "capacidad de amortiguación de fosfatos". Esta es una propiedad intrínseca del suelo muy importante para la nutrición de plantas. Algo del P del suelo, y algunos argumentan que es el componente más importante disponible para las plantas en suelos con alta fijación de P, es mantenido en forma orgánica (Stewart y Tiessen, 1987). Las metodologías para medir el P del suelos usan varios extractores para estimar la cantidad de P que estaría disponible para las plantas en la siguiente estación de cultivo. La exactitud de los métodos dependerá del tipo de suelo, la fuerza de la reacción de la fase sólida y el P en solución (lo cual depende de muchos factores que incluyen pH), y cantidades de P orgánico disponible. Los métodos nuevos usan una cinta impregnada de resina u óxido de hierro cuya fuerza de absorción se aproxima mucho a la de las raíces de las plantas (Cooperband and Logan, 1994). Los métodos usados más comúnmente en Latinoamérica son el Bray II y Mehlich II, pero estos no son los métodos más exactos (Tiessen *et al.*, 1994). Los diferentes suelos mostrarán por lo tanto diferentes características con respecto al P disponible, tal como sean indicadas por los resultados de análisis de suelos. Es normal que una aplicación dada de P a diferen-

tes suelos resulta en una muy diferente cantidad de P disponible para las plantas en la solución del suelo. Este punto debe ser considerado cuando uno usa valores de análisis de suelo para comparar comportamiento de plantas en diferentes suelos bajos en P.

En nuestra experiencia la identificación y manejo de un sitio apropiado en el campo, es uno de los componentes más dificultosos de la experimentación de tolerancia de plantas a bajo P, así que una vez un sitio apropiado es identificado será importante mantenerlo durante varios ciclos de cultivo. En el manejo de un campo para experimentación en condiciones de bajo P, deben ser consideraciones primarias la caracterización del nivel de stress de P y el mantenimiento de la homogeneidad de la disponibilidad de P en el área de los ensayos. En una sección previa describimos como el muestreo de suelo a intervalos, sobre el área de ensayos, permite mapear la variabilidad espacial. Con esta información, el diseño experimental puede ser modificado para tomar en cuenta esta variabilidad espacial, y los tratamientos pueden ser bloqueados y tener la ventaja de áreas uniformes de alto y bajo P. Una alternativa para el extensivo muestreo y análisis de suelo, es la siembra de un cultivo indicador, tal como maíz, el cual responde claramente a las diferencias en P disponible para la planta. En este caso, todos los factores limitantes excepto P (tales como N con 150-200 N/ha) debe ser removido, de manera que la producción de biomasa de las plantas refleje claramente la disponibilidad de P. La cosecha de las plantas en un arreglo geométrico (2-3 plantas cada 1 m<sup>2</sup>) con registro de peso fresco permitirá el mapeo de la variabilidad del campo (usando de nuevo análisis de covarianza) y mejorar el manejo de los ensayos.

Para ajustar los niveles de disponibilidad de P en un campo, ya sea para todo el campo o en pequeños "parches" y para homogenizar la disponibilidad de P, es importante tener una idea del comportamiento de un cultivar cono-

cido o un buen testigo dado el nivel no ajustado del P disponible en el suelo. Esto puede lograrse fácilmente incluyendo la variedad testigo como un surco simple o bordes entre cada dos parcelas experimentales o el campo puede ser sembrado con anterioridad a la iniciación del trabajo de selección. Esto dará una idea del nivel general de stress, además de servir de ayuda para identificar áreas donde el P es especialmente alto o bajo.

En el caso de un suelo con muy alto stress, puede aplicarse P en cada ciclo de cultivo de acuerdo al nivel de stress deseado. Sin embargo, la práctica agrícola común de fertilizar con P en bandas no se recomienda, simplemente por el hecho de que el efecto de la banda persiste durante varios ciclos e incrementará la variabilidad espacial en el campo. Las bandas de fertilizaciones previas pueden afectar fuertemente plantas individuales o surcos, y por lo tanto incrementar los coeficientes de variabilidad. Nuestra experiencia nos ha mostrado que las aplicaciones al voleo de 5-10 kg de P/ha, incorporadas al suelo con un arado rotativo (rototiller) a una profundidad de 25 a 30 cm, nos da un nivel apropiado de P disponible para hacer selección en un ciclo de cultivo sin efecto residual para el siguiente semestre (dependiendo del tipo de suelo y su capacidad de amortiguación). Donde se determina que el nivel de P en el suelo es muy alto para selección bajo stress, el P disponible en el suelo puede ser reducido sembrando un cultivo extractor tal como maíz o sorgo por uno o más ciclos. Con una relativamente alta aplicación de N y con una alta densidad de siembra de maíz, este podría extraer P desde el suelo de acuerdo a su disponibilidad y tendría el efecto adicional de reducir la variabilidad espacial de la disponibilidad de P.

La heterogeneidad de la intensidad del stress de un nutrimento en el suelo también puede ser tenida en cuenta para el ajuste y análisis experimental. El uso de variedades testigo es una opción obvia. La alta variabili-

dad entre los sitios de selección implica la necesidad de que el testigo ocurra frecuentemente, incrementando considerablemente el tamaño del ensayo. Al momento del análisis de los datos, mucha gente encuentra dificultad en el uso de los testigos para el ajuste de los valores de parcela. El ajuste de los valores de parcela con la media de los "vecinos próximos" ha trabajado bien. El uso de la media de los cuatro vecinos próximos (dos en cada lado) como covariable en el análisis de varianza es generalmente el método más efectivo para parcelas de surco sencillo. Para el mantenimiento de un campo para selección de tolerancia a bajo P en frijol, es muy importante un manejo agronómico apropiado. El cultivo continuo de frijol tiende a favorecer la acumulación de enfermedades (particularmente enfermedades radiculares), nemátodos y poblaciones de insectos plaga. El incremento en las poblaciones de patógenos puede ser especialmente destructivo en este tipo de selección, ya que las plantas con nutrición pobre tienden a ser más susceptibles a patógenos. La solución es simple: rotar cultivos. La inclusión de una rotación de maíz en el sistema anual del cultivo frecuentemente significa que una menor área experimental puede ser sembrada en cada ciclo, pero tiene el doble efecto de reducir patógenos y plagas y también homogeniza el campo en términos de variabilidad espacial del P. Por lo tanto, habrá menor oportunidad de que los resultados experimentales sean afectados adversamente por efectos ambientales.

### **Tolerancia y adaptación**

La tolerancia a problemas relacionados con la fertilidad del suelo es muy afectada por la adaptación de una variedad al ambiente. Por lo tanto genotipos rechazados en un sitio pueden ser tolerantes en otro. Como ejemplo, sitios de bajo P en el este de Africa resultaron inútiles para selección de tolerancia de materiales de gran altitud identificados en Colom-

bia. Este efecto de adaptación en cultivares de frijol hace de la escogencia del sitio de selección algo muy importante. El sitio debe ser representativo del área en la cual característica deseada (tolerancia a bajo P) será aplicada, o los genotipos tendrán que ser seleccionados en el número de sitios diferentes que representen el rango de agro-ambientes donde los cultivares pueden ser cultivados. Los ensayos multi-localidad son una posibilidad, pero dados la complejidad y costo de la selección para tolerancia a bajo P, es limitado el éxito potencial de los ensayos multi-localidad para identificar cultivares potenciales o padres. La cuidadosa elección de un sitio que represente un gran ambiente agroecológico tiene mejor oportunidad de éxito, especialmente si se tiene el cuidado de manejar apropiadamente el sitio. Es esencial en cualquier caso incluir además del tratamiento de bajo P, un tratamiento alto u óptimo de P para determinar la adaptación de los cultivares al ambiente, el potencial estacional y los efectos ambientales sobre la productividad. Por ejemplo, donde la precipitación es una limitación primaria del rendimiento durante una estación en particular, esto será reflejado en la reducción del rendimiento, tanto de los tratamientos en alto como en bajo P, dándonos una útil información a partir de lo que de otra manera hubiera sido un semestre muy pobre. Si un cultivar produce alto rendimiento a alto P pero poco o ninguno a bajo P, este obviamente no es tolerante a bajo P. Pero si el rendimiento a bajo y alto P es bajo, la adaptación puede ser el problema y la variedad puede ser muy tolerante al stress bajo un ambiente diferente.

Los tipos de medidas y muestreos, conducidos para evaluar tolerancia a bajo P, variaran obviamente con los objetivos. Donde la meta es identificar cultivares potenciales para ser liberados por Programas Nacionales, las variedades tolerantes deberían rendir bien bajo stress por bajo P y el rendimiento de semilla sería el principal criterio de selección. En este caso, el diseño experimental debería permitir

---



suficiente área de cosecha para tener en cuenta la variabilidad espacial del stress. Donde están siendo investigados mecanismos para mejorar la eficiencia en la extracción y uso de P con la meta de obtener padres potenciales, puede ser útil muestrear biomasa de planta y/o extracción de P en varios estados. Para medir extracción total de P en la planta (necesario si van a ser calculadas las eficiencias de extracción de P o de uso de P) debe ser cosechada la biomasa aérea de la planta en madurez fisiológica, la muestra uniformemente molida, y submuestreada para digestión y contenido de P. Es esencial que la submuestra contenga la proporción correcta de materiales de hoja, tallo y vainas ya que algunas partes tendrán mayor concentración de P que otras, y un submuestreo pobre resultaría en valores de P total no confiables. Las raíces pueden ser muestreadas efectivamente en el estado de llenado de vainas en frijol, dado su cultivo en un suelo suelto donde la recuperación de las raíces es posible. Hemos encontrado raíces de cerca de 1 m de longitud en este estado de la planta y su extracción completa puede ser tediosa. Debido a la fuerte interacción entre bajo P y la fijación biológica de nitrógeno, puede ser importante anotar presencia y grado de nodulación, en el estado intermedio de la fase de floración. Esto es especialmente importante en suelos bajos en N donde la deficiencia de N debida a una pobre fijación de N puede afectar las evaluaciones para tolerancia a bajo P.

Actualmente estamos en el proceso de evaluar el efecto remanente del crecimiento en condiciones de bajo P sobre el contenido de P en la semilla y como este afecta el crecimiento subsiguiente en suelos de bajo P. Hemos encontrado que en general la semilla procedente de un ambiente bajo en P tiene una concentración muy similar a la de semilla cultivada en alto P, pero la semilla de plantas de bajo P tiende a ser mas pequeña y por lo tanto contiene menos reservas de P total (y de otros nutrimentos). Hemos encontrado que el efecto

de tamaño de semilla es importante para algunas características para la extracción de P (tal como masa radicular) hasta floración, pero tal correlación desaparece en el estado de llenado de vainas. Sin embargo, recomendamos usar semilla cultivada en condiciones de alto P hasta que este efecto remanente pueda ser caracterizado.

### **Esfuerzos cooperativos de selección**

Debido a que las discusiones están actualmente enfocadas en el desarrollo de un esfuerzo regional Centroamericano para la selección para tolerancia a bajo P en frijol, se describe el ejemplo del BILFA (Bean Improvement for Low Fertility soils in Africa). El BILFA es un esfuerzo pan-Africano de selección para tolerancia a baja disponibilidad de los mas importantes nutrimentos del suelo para el crecimiento del frijol, principalmente P y N pero incluyendo el complejo de bajo pH y Ca, por selección independiente para cada uno de los tres "stresses" mas que para tolerancia a complejos de "stresses". Entradas de buen tipo agronómico y/o reacción conocida a problemas de fertilidad de suelos son colectadas de los programas nacionales y de los programas de mejoramiento de CIAT para ser seleccionadas para los "stresses". La selección de aproximadamente 300 entradas es hecha en sitios primarios (dos por cada "stress" mayor en dos ambientes diferentes) por dos ciclos, rechazando 50% de las entradas basandose en los resultados del primer ciclo y otro 30-40% basandose en los resultados del segundo ciclo. La prueba de confirmación de los materiales remanentes es hecha en sitios de stress adicionales. La selección se efectúa a niveles de stress moderados que permitan 40-50% del rendimiento bajo condiciones sin stress, debido a la expresión de rendimiento potencial y buena adaptación, junto con tolerancia.

En una reciente reunión de trabajo (Wortmann, 1995) se reorientó el flujo de se-

**Cuadro 1.** Procedimiento recomendado para evaluación de germplasma frijol a tolerancia a bajo fertilidad en suelos. El objetivo de la etapa I es a identificar genotipos tolerante para ser liberados; la etapa II puede operar concurrente con la etapa I, para estudios sobre mecanismos. Wortmann, 1994.

Estación	Detalles	Tamaño parcela/repes	Nivel stress
<b>Etapa I</b>			
A	360 entradas, solo sitios primarios. Criterio: rendimiento bajo stress. Selecciona mejor 50%	Surcos indiv, 2 reps	Moderado
B	180 entradas, sitios primarios. Criterio: rendimiento bajo stress. Selecciona 40-50 líneas	parc de 2 surcos, 2 reps	Moderado
C	50 líneas, sitios primarios y secundarios. Criterio: rendimiento	parc de 2-4 surcos, 3 reps	Moderado y sin stress
D	20-35 líneas, sitios primarios y secundarios. Criterio: rendimiento, biomasa a madurez, extracción total de nutrientes	parc de 4 surcos, 3 reps	Moderado y sin stress
<b>Etapa II</b>			
C2	50 líneas, sitios primarios. Criterio: rendimiento, biomasa, extracción total de nutrientes	parc de 2-4 surcos, 3 reps	Alto stress

lección como se muestra en el Cuadro 1 para incluir identificación de padres potenciales en los esfuerzos de mejoramiento. Durante la primera etapa, variedades de buen tipo agronómico son identificadas con lo cual quedan disponibles como cultivares o como padres en mejoramiento. En la segunda etapa, los materiales promisorios son evaluados a altos niveles de stress para identificar padres superiores para mejoramiento. La primera etapa requiere de cuatro ciclos, mientras que la segunda etapa requiere solamente un ciclo adicional, pero este puede ser hecho concurrentemente con el tercer o cuarto ciclo de la etapa 1.

## LITERATURA CITADA

- ADAMS, F. 1984. Soil Acidity and Liming. pp 358-365. ASA No.12. Madison.
- CIAT. 1995. Programa Frijol Informe Anual.
- COOPERBAND, L.R.; LOGAN, T.J. 1994. Measuring the changes in labile soil phosphorus using anion-exchange membranes. Soil Sci. Soc. Am. J. 58:105-114.
- STEWART, J.W.B.; TIESSEN, H. 1987. Dynamics of soil organic phosphorus. Biogeochemistry 4:41-60.

TIESSEN, H.; STEWART, J.W.B.; OBERSON, A. 1994. Innovative phosphorus availability indices. *In*: SSSA (ed.) Soil testing: Prospects for improving nutrient recommendations SSSA Spec. Publication.

WORTMANN, C.S. 1994. Bean Improvement for Low Fertility Soils in Africa: Proceedings of a Working Group Meeting, Kampala, Uganda, 23-26 May, 1994. Network on Bean Research in Africa, Workshop Series No. 25, CIAT.