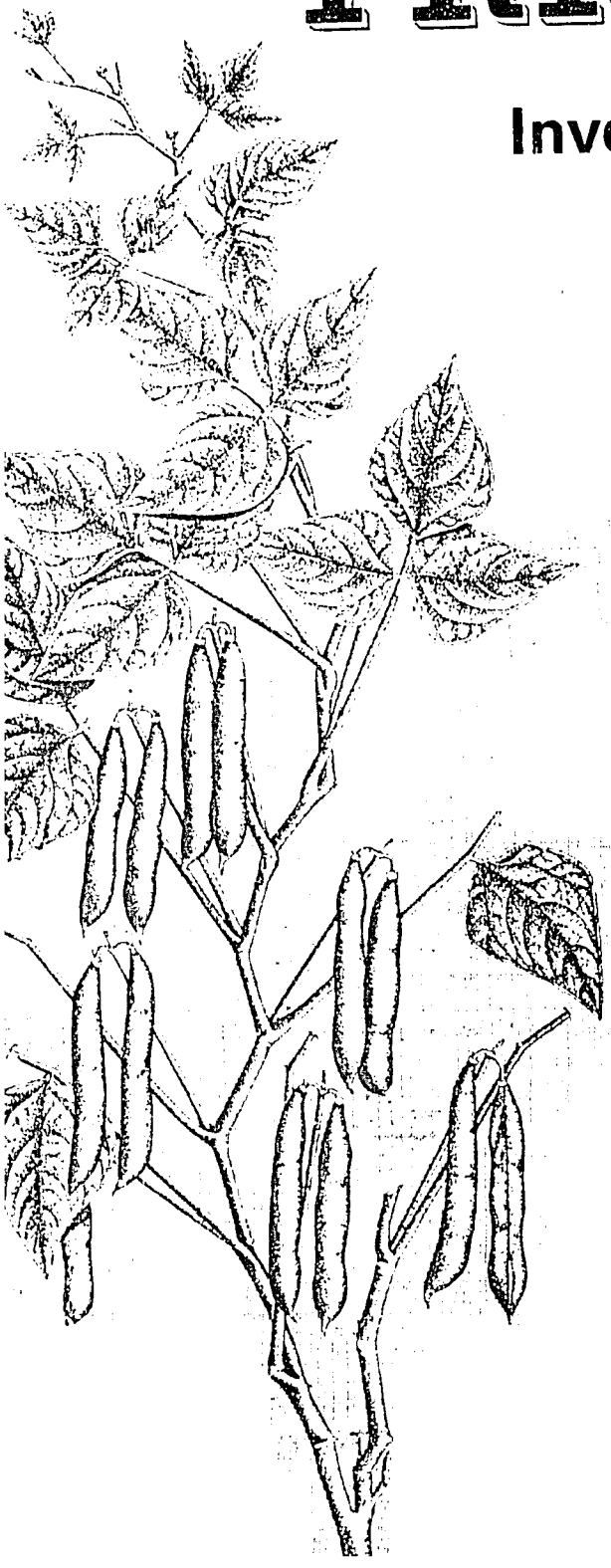
PN-ABF-466

FRIJOL:

Investigación y Producción



PNUD

CIAT

El CIAT es una institución sin ánimo de lucro, dedicada al desarrollo agrícola y económico de las zonas tropicales bajas. Su sede principal se encuentra en un terreno de 522 hectáreas, cercano a Cali, Colombia. Dicho terreno es propiedad del gobierno colombiano, el cual, en su calidad de anfitrión, brinda apoyo a las actividades del CIAT. Este dispone, igualmente, de dos subestaciones propiedad de la Fundación para la Educación Superior (FES): Quilichao, con una extensión de 184 hectáreas, y Popayán, con 73 hectáreas, y de una subestación de 30 hectáreas—CIAT-Santa Rosa— ubicada en terrenos cedidos por la Federación de Arroceros de Colombia (FEDEARROZ), cerca a Villavicencio. Junto con el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), el CIAT administra el Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias Carimagua, de 22,000 hectáreas, en los Llanos Orientales y colabora con el mismo ICA en varias de sus otras estaciones experimentales en Colombia. El CIAT también lleva a cabo investigaciones en varias sedes de instituciones agrícolas nacionales en otros países de América Latina.

Los programas del CIAT son financiados por un grupo de donantes en su mayoría pertenecientes al Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional (CGIAR). Durante 1985 tales donantes incluyen los gobiernos de Australia, Bélgica, Brasil, Canadá, España, Estados Unidos de América, Francia, Holanda, Italia, Japón, México, Noruega, el Reino Unido, la República Federal de Alemania, la República Popular de la China, Suecia y Suiza. Las siguientes organizaciones son también donantes del CIAT en 1985: el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), el Banco Internacional para Reconstrucción y Fomento (BIRF), el Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (CIID), la Comunidad Económica Europea (CEE), el Fondo Internacional para el Desarrollo Agrícola (IFAD), la Fundación Ford, la Fundación Rockefeller, la Fundación W. K. Kellogg, y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

La información y las conclusiones contenidas en esta publicación no reflejan, necesariamente, el punto de vista de las entidades mencionadas anteriormente.

Esta publicación ha sido realizada con el apoyo financiero del Programa de las Naciones Unidas para el desarrollo a través del Proyecto RLA/83/004/A/01/99 sobre raíces y tubérculos PNUD/CIAT.

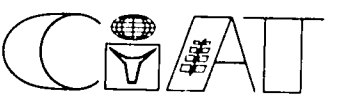
FRIJOL:

Investigación y Producción

Referencia de los cursos de Capacitación sobre Frijol dictados por el Centro Internacional de Agricultura Tropical

Compilado y Editado por:

Marceliano López
Fernando Fernández
Aart van Schoonhoven



1985

CAPACITACION - FRIJOL

FRIJOL: INVESTIGACION Y PRODUCCION

			Página
PRESENTACION			VII
I. INTRODUCCION			
1.	El Programa de Frijol.....	A.v. Schoonhoven	3
2.	Morfología de la planta de frijol común.....	D. Debouck R. Hidalgo	7
3.	Conceptos básicos de fisiología del frijol.....	J. White	43
4.	Etapas de desarrollo de la planta de frijol.....	F. Fernández P. Gepts M. López	61
II. MEJORAMIENTO			
1.	Conceptos básicos de genética de frijol.....	J. Davis	81
2.	Mejoramiento del frijol por introducción y selección.....	O. Voysest	89
3.	Conceptos básicos para el mejoramiento del frijol por hibridación.....	S. Singh	109
4.	Interacciones de genotipos por sistema de cultivo en frijol y maíz.....	J. Davis	127
III. ENFERMEDADES QUE ATACAN AL CULTIVO DE FRIJOL			
1.	Conceptos básicos sobre patología de frijol.....	M.A. Pastor C.	145
2.	Técnicas, materiales y métodos utilizados en la evaluación de frijol por su reacción a las enfermedades	M.A. Pastor C.	157
3.	Enfermedades causadas por hongos..	M.A. Pastor C.	169
	A - Enfermedades de las partes aéreas: Roya Antracnosis		

Mancha Angular
Mustia Hilachosa
Mancha Foliar
por Ascochyta
Pudrición gris
(Macrophomina)

B - Enfermedades de las partes subterráneas..... M.A. Pastor C. 197

Pudriciones radicales

Rhizoctonia
Fusarium
Phytium

Amarillamiento por Fusarium

4. Enfermedades causadas por bacterias..... M.A. Pastor C. 207

Añublo de halo

Añublo bacteriano común

5. Enfermedades causadas por virus... F. Morales 217

Mosaico común
Mosaico amarillo
Mosaico dorado
Mosaico clorótico
Mosaico rugoso

IV. PLAGAS QUE ATACAN AL CULTIVO DE FRIJOL

1. Conceptos básicos de entomología y manejo de plagas..... T. Zúñiga 231

2. Metodología de investigación en entomolcgía de Frijol..... C. Cardona T. Zúñiga 241

3. El control químico de plagas de frijol..... G. Hallman 247

4. Plagas que atacan la plántula..... A.v. Schoonhoven C. Cardona 257

Hylemya
Elasmopalpus
Babosas
Grillo
Phyllophaga
Agrotis

5. Plagas que atacan el follaje..... A.v. Schoonhoven, C. Cardona 263

Crisomélidos
Empoasca
Epilachna
Trichoplusia
Bemisia
Afidos
Tetranychus
Polyphagotarsonemus
Minadores

6. Plagas que atacan la vaina..... A.v. Schoonhoven, C. Cardona 275

Apion
Epinotia
Maruca
Heliothis

7. Plagas que atacan granos de frijol almacenados..... A.v. Schoonhoven 279

Acanthoscelides
Zabrotes

V. SUELOS Y AGRONOMIA

1. Revisión de algunos criterios sobre la recomendación de fertilizantes en frijol..... C.A. Flor 287

2. Tamizado para identificar frijoles que se adaptan a suelos ácidos.... M. Thung, J. Ortega, O. Erazo 313

3. Manejo de la acidez y encalamiento de los suelos..... J. Ortega 347

4. Principios básicos de la asociación de cultivos..... S. García 363

5. Metodología del diagnóstico de la producción de frijol..... N.de Londoño, D. Pachico 371

VI. LA EXPERIMENTACION EN FRIJOL

1. El diagnóstico de problemas en frijol..... C.A. Flor 385

2. Planeación de los experimentos.... J. Escobar 401

3. Tamaño de parcela..... O. Voysest 409

INDICE DE AUTORES 419

PRESENTACION

El Programa para el Desarrollo de Capacidad Científica en Investigación para la Producción de Frijol del CIAT incluye, dentro de la Especialización Posgrado, la Fase Multidisciplinaria Intensiva o Curso Corto. Se ofrece normalmente en los meses de febrero a marzo de cada año y está orientada a capacitar a los participantes en forma integral y con un enfoque multidisciplinario sobre la tecnología existente y la que el CIAT y los programas nacionales de los países están generando, para resolver los problemas mas importantes del cultivo de frijol.

Durante esta fase, los científicos del Programa de Frijol, dictan aproximadamente 50 conferencias con sus correspondientes prácticas de campo, laboratorio e invernadero.

Obviamente, un grupo reducido de investigadores, los que participan en esta fase, son los que tienen acceso y oportunidad de compartir sus experiencias con científicos del CIAT. Pero actualmente con la liberación de nuevas variedades en los países colaboradores, ha aumentado la demanda por información actualizada. Por tal razón el CIAT se ha visto en la necesidad de compartir sus experiencias con un número mayor de profesionales. Para ello se vienen realizando en cada país cursos sobre frijol con énfasis en los problemas locales o de la región. Con este mismo propósito, el de satisfacer a una audiencia mas amplia, Capacitación Científica y el Programa de Frijol del CIAT, presentan esta publicación como otra alternativa a las necesidades de información de profesionales que se dedican a la investigación y producción de frijol.

Como no es práctico reunir 50 conferencias en un solo volumen, los editores tuvimos que seleccionar aquellos materiales que en cada disciplina del Programa de Frijol han tenido mayor aceptación por los participantes en los cursos realizados en CIAT. Por otra parte, cuando fué posible se reunieron dos o mas conferencias en una sola. De esta manera el material se agrupó en seis capítulos que incluyen temas sobre la morfología y fisiología de la planta (INTRODUCCION); genética de frijol, métodos de mejoramiento y consideraciones acerca del mejoramiento en los sistemas frijol-maíz (MEJORAMIENTO); conceptos básicos de patología, técnicas de diagnóstico, descripción y control de enfermedades (ENFERMEDADES QUE ATACAN AL CULTIVO DE FRIJOL); igual para plagas (PLAGAS QUE ATACAN AL CULTIVO DE FRIJOL); criterios para fertilizar, métodos y principios para el manejo de la acidez y la asociación de cultivos (SUELOS Y AGRONOMIA); y por último, diagnóstico y técnicas experimentales para buscar la solución a los problemas observados en el campo (LA EXPERIMENTACION EN FRIJOL).

Como se puede observar, esta publicación aunque contiene información actualizada, no alcanza a ser completa. Tiene vacios que esperamos llenar en futuras ediciones teniendo en cuenta las sugerencias de nuestros lectores.

Editores:

Marceliano López G. Fernándo Fernández Aart van Schoonhoven

AGRADECIMIENTO

Los editores agradecen a todos los autores y a las personas que colaboraron en la revisión de los artículos, levantamiento de textos, elaboración de ilustraciones e impresión de esta publicación, especialmente a Ana Milena López, Janet Rojas, Lucy de Borrero, Alcira Arias y al personal de Artes Gráficas y Publicaciones de la Unidad de Servicios de Comunicación e Información del CIAT.

CAPITULO I
INTRODUCCION

PAGINA

EL PROGRAMA DE FRIJOL..... 3
A. v. Schoonhoven

MORFOLOGIA DE LA PLANTA DE FRIJOL COMUN..... 7
D. Debouck, R. Hidalgo

CONCEPTOS BASICOS DE FISIOLOGIA DEL FRIJOL..... 43
J. White

ETAPAS DE DESARROLLO DE LA PLANTA DE FRIJOL..... 61
F. Fernández, P. Gepts, M. López

EL PROGRAMA DE FRIJOL

Aart van Schoonhoven

El objetivo del Programa de Frijol consiste en desarrollar en estrecha colaboración con programas nacionales, la tecnología que aumentará la producción y productividad del frijol.

El principal productor de frijol es un agricultor con escaso capital, acceso limitado al crédito y a la información de extensión. En la mayoría de los países los rendimientos de frijol son bajos y están estancados. Los factores responsables por los bajos rendimientos son: la alta presión de enfermedades y de insectos; la sequía; la baja densidad de plantas; y la renuencia de los agricultores a invertir debido al riesgo o a la falta de acceso al dinero para inversión.

Por lo tanto, el equipo de frijol concluyó que debe darse prioridad al mejoramiento genético para obtener frijol de más alto y más estable rendimiento por medio del desarrollo de germoplasma con resistencia múltiple a enfermedades e insectos y con una mejor tolerancia a la sequía. Los objetivos a largo plazo incluyen: tolerancia a suelos moderadamente ácidos, habilidad genética para fijación simbiótica de nitrógeno; e incremento del potencial de rendimiento.

Las variedades más estables, y de más alto rendimiento están disponibles a los agricultores con la tecnología complementaria para su manejo. El equipo de frijol desarrolla tecnología de escala neutral posiblemente inclinada hacia el pequeño agricultor.

Las nuevas variedades de frijol no sólo deben producir más altos rendimientos a nivel de finca sino también tener el tamaño de grano apropiado, el color requerido, y acomodarse a los sistemas de producción de los agricultores que frecuentemente incluyen maíz en asociación directa o en relevo.

Como el Programa de Frijol debe hacer mejoramiento para muchos sistemas de cultivo y zonas ecológicas, es evidente que se necesitan actividades descentralizadas de fitomejoramiento en las cuales los programas nacionales deben jugar un papel importante. Esto sólo se puede lograr por medio de un esfuerzo concentrado de adiestramiento. Por lo tanto, el adiestramiento es la segunda actividad más importante después de mejoramiento varietal.

Las actividades de mejoramiento genético se dividen por región de producción (la cual automáticamente incluye la separación por grupos de color y tamaño de grano, prioridad en complejos de enfermedad, y muchas veces por sistema de cultivo). Así, el programa trabaja en fitomejoramiento para un complejo de requisitos para cada región de producción, atendiendo por zonas las restricciones a la producción.

En algunos casos, la variabilidad genética para características específicas no se expresa a niveles suficientemente altos para resolver los impedimentos a la producción. Por lo tanto, cada fitomejorador, aunque desarrolla principalmente cultivares, también coopera con las disciplinas particulares para desarrollar niveles máximos de expresión de caracteres, por ejemplo, resistencia al mosaico dorado del frijol (BGMV), tolerancia a sequía, tolerancia a saltahojas, resistencia a la

mancha foliar por Ascochyta, la habilidad para fijar nitrógeno, el potencial para alto rendimiento, la arquitectura de la planta, etc. Entonces, líneas con alta expresión de caracteres específicos se usan para obtener recombinaciones con factores múltiples en las actividades de mejoramiento de cultivares.

Una vez que una línea del programa de mejoramiento es considerada superior y uniforme en la expresión de caracteres, tipo de planta, de grano y de madurez, y es resistente a BCMV (el mosaico común de frijol), ésta entra al primer vivero uniforme de evaluación - VEF. En este vivero, se evaluan aproximadamente 1.000 entradas por su resistencia a enfermedades y a insectos y su adaptación a los ambientes de Palmira y de Popayán. Las entradas que son superiores pueden entrar nuevamente a los bloques de cruzamiento como progenitores, pasar a viveros de programas nacionales, y/o entrar a la segunda etapa de la evaluación, el Vivero Preliminar de Rendimiento - EP, que típicamente contiene aproximadamente 300 entradas. En este vivero se confirma la resistencia a enfermedades y se hacen muchas otras evaluaciones incluyendo rendimiento (bajo condiciones de altos y bajos insumos en Palmira y Popayán), habilidad para fijar N y evaluación por calidad de semilla. Las evaluaciones específicas para algunas características se hacen fuera de Colombia en los viveros VEF y EP (con tipos de grano de interés específico a un programa nacional particular), se envían mediante solicitud.

Aproximadamente, 60 de las mejores líneas del EP pasan al IBYAN (el Vivero Internacional de Rendimiento y Adaptación de Frijol) para ser evaluadas mundialmente. Para cada vivero sucesivo, se produce semilla en localidades aisladas bajo condiciones cuidadosamente controladas con el fin de asegurar que la semilla esté libre de enfermedades. Las entradas en cada uno de los tres viveros se cambian el primero de enero de cada año. Los programas nacionales son estimulados a incluir sus mejores líneas híbridas en este procedimiento abierto de evaluación, para así proveer transferencia horizontal de germoplasma.

Antes de su envío a otros países, el laboratorio de sanidad de semilla, en la Unidad de Recursos Genéticos, saca muestras del germoplasma para asegurarse que la semilla esté libre de patógenos.

Como resultado de los esfuerzos intensivos de adiestramiento, se están descentralizando las actividades de mejoramiento genético. Actualmente, para muchas áreas de producción se seleccionan los candidatos del VEF basado en la evaluación en estas áreas. Los programas nacionales proveen mucho más material, y se explota la selección por adaptación local.

De la anterior filosofía y práctica, es obvio que el Programa de Frijol enfatiza fuertemente el mejoramiento varietal y considera que las prácticas agronómicas mejoradas se investigan mejor al nivel del programa nacional y deben ser implementadas cuando está disponible una nueva variedad. En este proceso el agrónomo de sistemas de cultivo (investigación a nivel de finca) y el economista aseguran que los fitomejoradores se familiaricen con los sistemas a los cuales las nuevas variedades deben adaptarse, y retro-alimentan sobre el comportamiento de las líneas.

Los programas nacionales desarrollan la tecnología complementaria adecuada a las nuevas variedades en regiones específicas.

Después del mejoramiento genético, el programa ha dado alta prioridad al adiestramiento. El programa nacional deberá ser autosuficiente en investigación. Así lo exigen la diversidad de sistemas de cultivos, los limitantes a la producción y los requerimientos de los consumidores. Por otra parte no es posible para CIAT atender todas las necesidades. Los resultados de adiestramiento para la auto-suficiencia en la investigación, se han hecho visibles y muestran una evolución en la estrategia de adiestramiento del programa. Por ejemplo (1) anteriormente el VEF era exclusivamente un vivero del CIAT, ahora frecuentemente incluye materiales de la selección en la etapa pre-VEF de áreas de producción importantes. (2) la selección descentralizada a partir de la generación F2 se ha vuelto cada vez más importante.. (3) Los cursos en el CIAT se han reemplazado por cursos dentro de los países. (4) Una red de investigación se ha desarrollado por medio de un esfuerzo intensivo de adiestramiento.

El equipo espera que, a través de adiestramiento posgrado se desarrolle liderazgo y experiencia, en los programas nacionales a tal nivel que la red llegue a ser un programa de investigación colaborativo e interdependiente. Tradicionalmente esta red ha sido limitada a América Latina, sin embargo, desde que el primer científico de frijol fué colocado en Africa en 1983, la expansión de la red a este continente se ha convertido en un objetivo importante. También se inició el primer esfuerzo para incluir al Medio Oriente en la red de investigación en frijol.

MORFOLOGIA DE LA PLANTA DE FRIJOL COMUN

Daniel G. Debouck
Rigoberto Hidalgo

Introducción

Dentro del grupo de las leguminosas comestibles, el frijol común es una de las más importantes debido a su amplia distribución en los 5 continentes y por ser complemento nutricional indispensable en la dieta alimenticia principalmente en Centro y Suramérica. México ha sido aceptado como el más probable centro de origen, o al menos, como el centro de diversificación primaria.

El cultivo del frijol es considerado uno de los más antiguos; hallazgos arqueológicos en su posible centro de origen y en Suramérica indican que era conocido por lo menos unos 5.000 años antes de la era cristiana (Fig. 1).

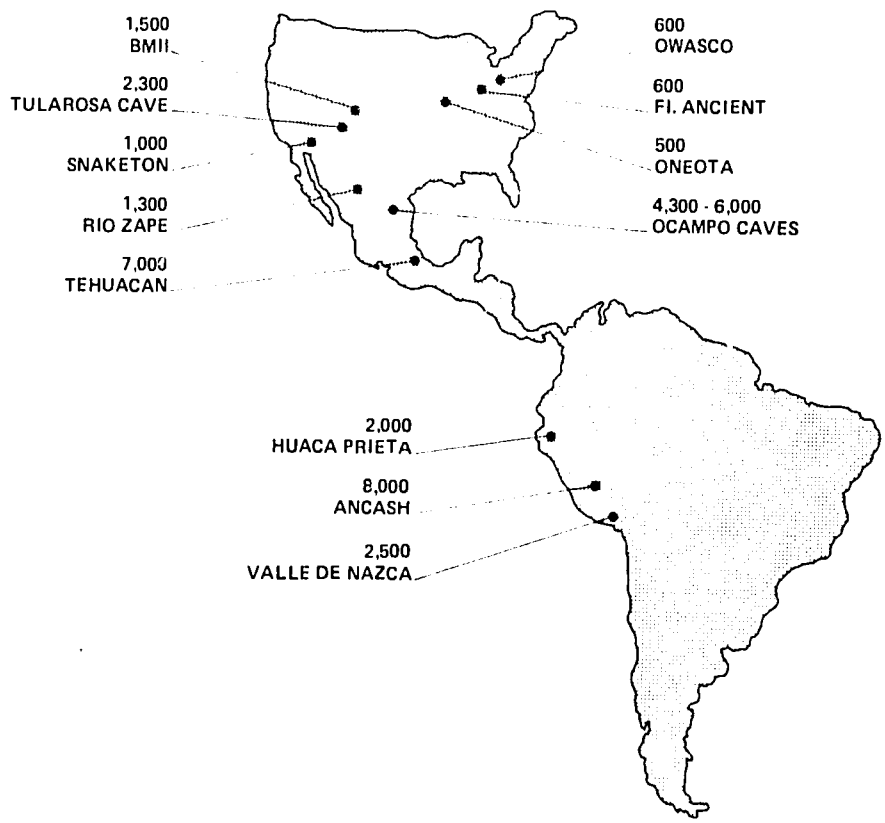


Figura 1. Antigüedad (años), y localización de los hallazgos arqueológicos de *Phaseolus vulgaris* L.

Debido al interés del hombre por esta leguminosa, las selecciones realizadas por culturas precolombinas originaron un gran número de formas diferentes, y en consecuencia diversas denominaciones comunes o vernáculas. Es así como el frijol se conoce con los nombres de Poroto, Alubia, Judía, Frixol, Fuña, Habichuela, Vainita, Caraota y Feijão, para citar algunos.

La planta de frijol es anual, herbácea, intensamente cultivada desde el trópico hasta las zonas templadas, (Fig. 2), aunque es una especie termófila, es decir, que no soporta heladas; se cultiva esencialmente para obtener las semillas, las cuales tienen un alto contenido de proteínas, alrededor de un 22% y más, contenido éste calculado con base en materia seca. Las semillas pueden ser consumidas tanto inmaduras como secas. También puede consumirse la vaina entera inmadura y las hojas.

Taxonomía

Sólo en las dos últimas décadas se han establecido bases sólidas universales en la taxonomía de Phaseolus. Este género ha sido bien diferenciado de otros como Vigna y Macropcilium, con los cuales se tenían confusiones respecto a su clasificación y se le reconoce como de origen exclusivamente americano.

Figura 2. Distribución mundial aproximada (sombreado) del cultivo del frijol común.

Desde el punto de vista taxonómico esta especie es el prototipo del género Phaseolus y su nombre científico es Phaseolus vulgaris L. asignado por Linneo en 1753. Pertenece a la tribu Phaseoleae de la subfamilia Papilionoideae dentro del orden Rosales (Fig. 3).

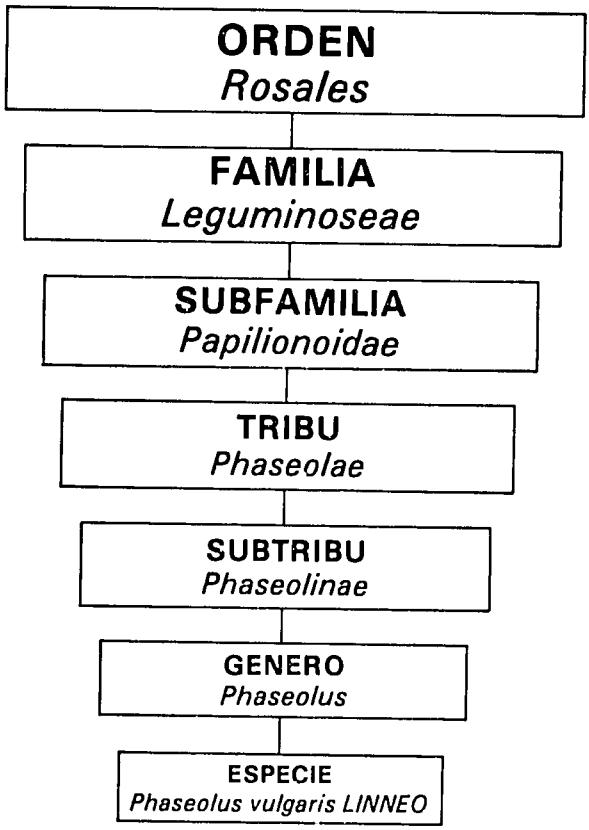


Figura 3. **Clasificación taxonómica del frijol común.**

El género Phaseolus incluye aproximadamente 35 especies, de las cuales cuatro se cultivan. Son ellas:

P. vulgaris L.
P. lunatus L.
P. coccineus L.
P. acutifolius A. Gray var. latifolius Freeman

Morfología

La morfología estudia los caracteres de cada órgano, visibles a escala macroscópica y microscópica. El examen de cada uno separadamente, facilita la comprensión de la planta en su totalidad.

Los caracteres de la morfología de las especies se agrupan en caracteres constantes y caracteres variables; los constantes son aquellos que identifican al taxon, es decir la especie, o la variedad; generalmente son de alta heredabilidad. Los caracteres variables reciben la influencia de las condiciones ambientales; podrían ser considerados como la resultante de la acción del medio ambiente sobre el genotipo (Fig. 4).

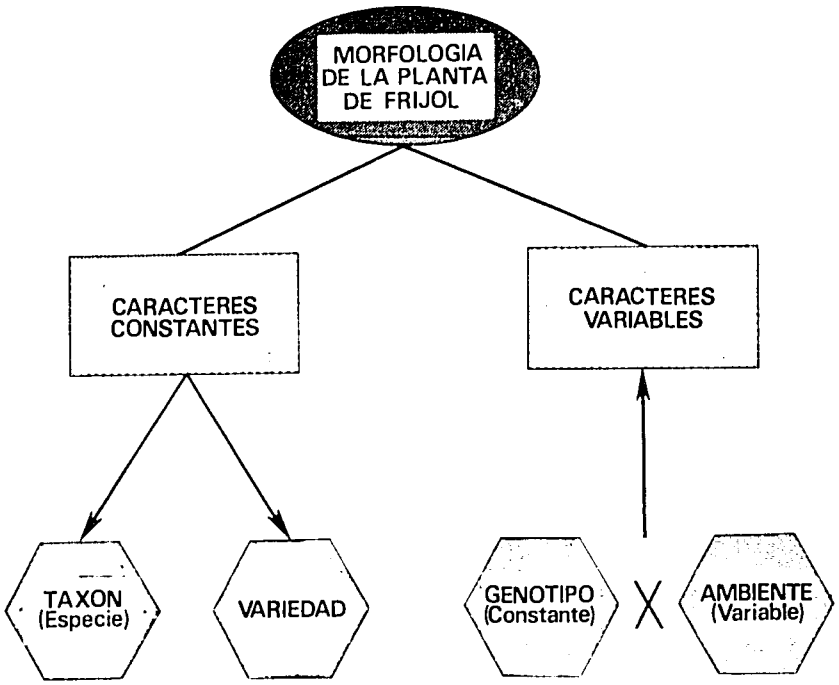


Figura 4. Caracteres de la morfología del frijol.

El estudio de la morfología de frijol, se hará en el siguiente orden:

1. Raíz
2. Tallo
3. Ramas y complejos axilares
4. Hojas
5. Inflorescencia
6. Flor
7. Fruto
8. Semilla

Raíz

En la primera etapa de desarrollo el sistema radical está formado por la radícula del embrión la cual se convierte posteriormente en la raíz principal o primaria, es decir, la primera identificable.

A los pocos días de la emergencia de la radícula es posible ver las raíces secundarias, que se desarrollan especialmente en la parte superior o cuello de la raíz principal (Fig. 5); se encuentran de 3 a 7 de estas raíces en disposición de corona y tienen un diámetro un poco menor que la raíz principal. Se denominan secundarias debido a que su desarrollo ocurre a partir de la raíz principal o primaria. Existen otras raíces secundarias que aparecen un poco más tarde y más abajo sobre la raíz principal. Sobre las raíces secundarias se desarrollan las raíces terciarias y otras subdivisiones como los pelos absorbentes, los cuales además se encuentran en todos los puntos de crecimiento de la raíz. La raíz principal se puede distinguir entonces por su diámetro y mayor longitud. En general el sistema radicales superficial ya que el mayor volumen de la raíz se encuentra en los primeros 20 cms de profundidad del suelo.

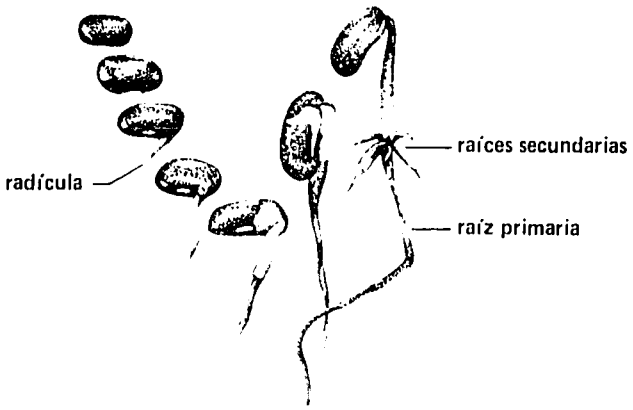


Figura 5. **Sistema radical inicial.**

Las raíces terciarias aparecen lateralmente sobre las raíces secundarias y las cuaternarias sobre las terciarias (Fig. 6). Con una lupa se puede observar la última subdivisión constituída por los pelos absorbentes, órganos epidérmicos localizados principalmente en las partes jóvenes de las raíces, que juegan un papel muy importante en la absorción de agua y nutrimentos.

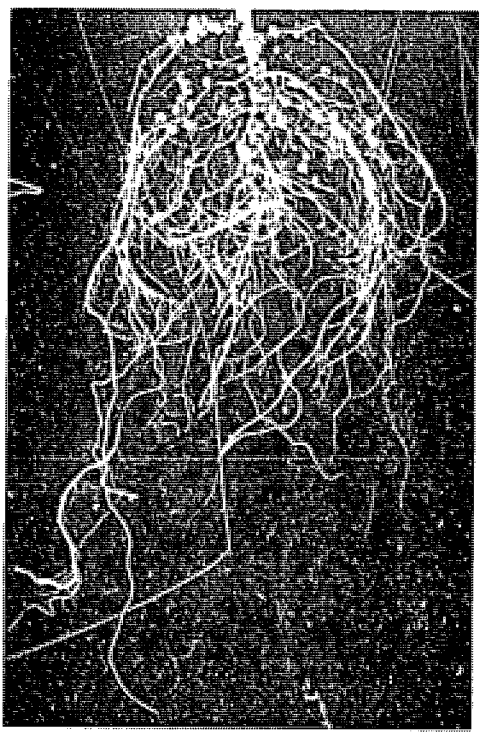


Figura 6. **Raíz completamente desarrollada.**

Aunque generalmente se distingue la raíz primaria, el sistema radical tiende a ser fasciculado, fibroso en algunos casos, pero con una amplia variación, incluso dentro de una misma variedad (Fig. 7). El tipo pivotante auténtico, se presenta en un bajo porcentaje.

Como miembro de la subfamilia Papilionoideae, Phaseolus vulgaris L. presenta nódulos distribuidos en las raíces laterales de la parte superior y media del sistema radical (Fig. 8).

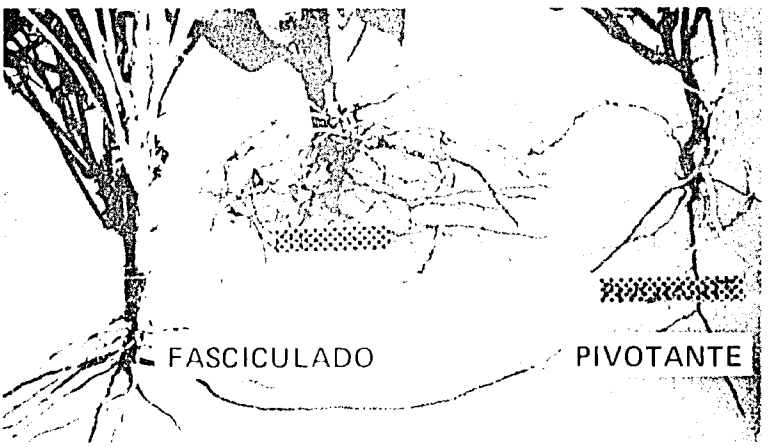


Figura 7. Tipos de raíces.

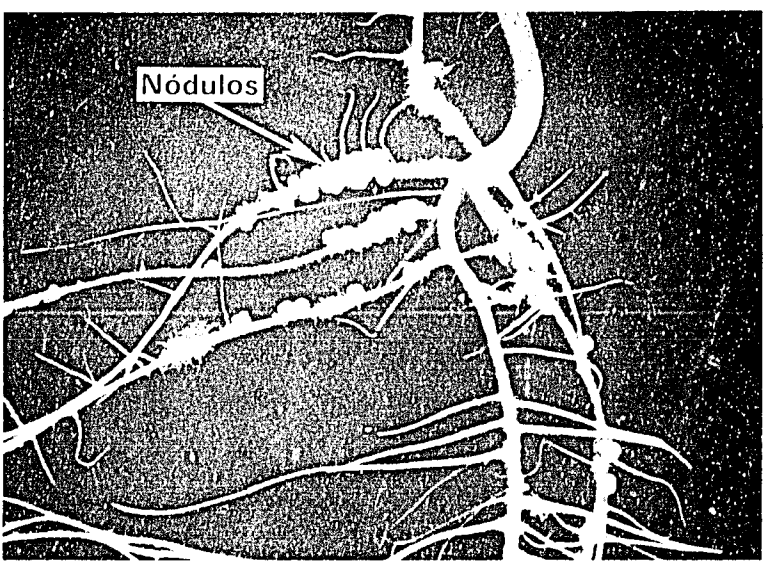


Figura 8. Nodulación del frijol.

Estos nódulos tienen forma poliédrica y un diámetro aproximado de 2 a 5 mm. Son colonizados por bacterias del género Rhizobium, las cuales fijan nitrógeno atmosférico.

El nitrógeno fijado contribuye a satisfacer los requerimientos de este elemento en la planta.

Características del suelo tales como la estructura, la porosidad, el grado de aireación, la capacidad de retención de humedad, la temperatura, el contenido de nutrimentos, y varias otras, pueden ser muy importantes en la conformación del sistema radical y su tamaño. Es necesario recordar, sin embargo, que el sistema radical se concentra generalmente cerca de la base del tallo, casi en la superficie del suelo. En condiciones muy favorables, las raíces pueden alcanzar más de un metro de longitud. En casos de excesos de humedad (inundaciones por ejemplo), el hipocótilo puede desarrollar raíces adventicias.

Tallo

El tallo puede ser identificado como el eje central de la planta el cual está formado por una sucesión de nudos y entrenudos (Fig. 9). Se origina del meristema apical del embrión de la semilla; desde la germinación y en las primeras etapas de desarrollo de la planta, este meristema tiene una fuerte dominancia apical y en su proceso de desarrollo genera nudos. Un nudo es el punto de inserción de las hojas (o de los cotiledones) en el tallo. El ángulo formado entre el pecíolo de las hojas y la prolongación del tallo se denomina axila; en las axilas aparece un complejo de yemas que luego se desarrollan como ramas laterales y/o como inflorescencias (Fig. 22).

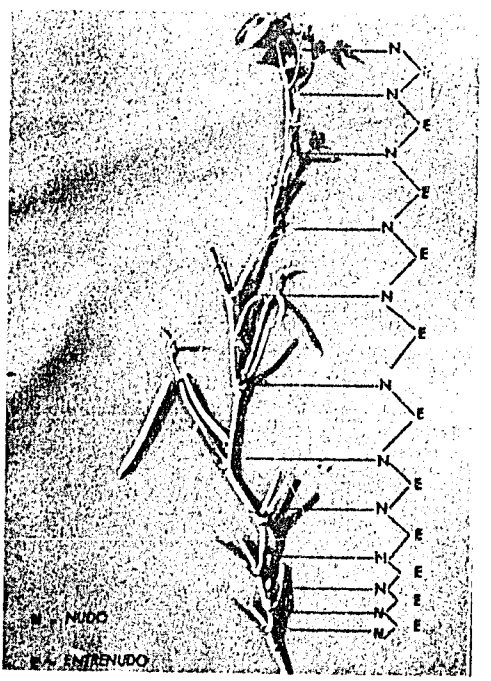


Figura 9. Tallo.

El tallo es herbáceo y con sección cilíndrica o levemente angular, debido a pequeñas corrugaciones de la epidermis.

El tallo es el resultado de un proceso dinámico de construcción por parte de un grupo de células situadas en su parte final, llamada meristemo terminal, en proceso de división activa desde sus primeros estados de crecimiento. Este proceso de construcción incluye así mismo, la formación de otros órganos en los nudos y la de los entrenudos. El entrenudo es la parte del tallo comprendida entre dos nudos.

El tallo tiene generalmente un diámetro mayor que las ramas. Puede ser erecto, semipostrado o postrado, según el hábito de crecimiento de la variedad; pero en general, el tallo tiende a ser vertical ya sea que el frijol crezca solo o con algún soporte.

Algunas características de la planta relacionadas con el tallo son utilizadas en la identificación de variedades. Dentro de éstas se pueden mencionar: el color, la pilosidad, el tamaño, el número de nudos, el carácter de la parte terminal, el diámetro, la longitud de los entrenudos, la aptitud para trepar, la filotaxia y los ángulos de inserción de diferentes órganos.

La pilosidad y el color varían según la parte del tallo, la etapa de desarrollo de la planta, la variedad de frijol y las condiciones ambientales como sequía y luz.

En cuanto a la pilosidad, el tallo puede ser subglabro y pubescente. Se pueden encontrar pelos cortos o pelos largos, o de ambos tamaños; pero siempre se encuentran unos pelos pequeños en forma de gancho, llamados pelos uncinulados fácilmente observables en las partes jóvenes (Fig. 10).

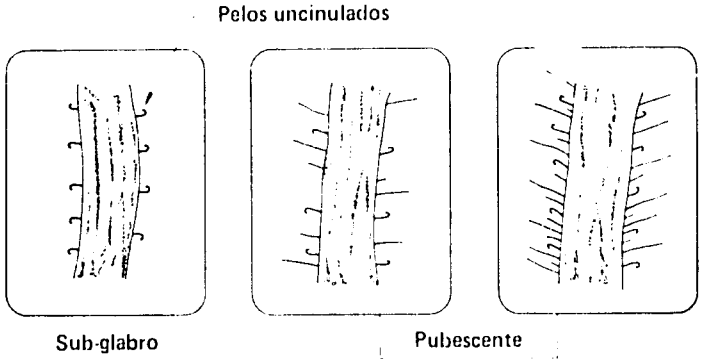


Figura 10. Tipos de pilosidad (esquema amplificado).

Existe una variación en lo que respecta a la pigmentación del tallo; pueden encontrarse derivaciones de tres colores fundamentales: verde, rosado y morado. El patrón de distribución de los colores en el tallo es también muy variable. En algunos casos el tallo y el peciolo son del mismo color.

Puede ocurrir que el color se concentre solamente cerca de los nudos. Estas características de color en el tallo pueden ser usadas en mejoramiento como un marcador genético.

Además de estas características cualitativas, existen otras cuantitativas, más relacionadas con la estructura misma del tallo. Una muy utilizada es el número de nudos y por lo tanto el número de entrenudos.

El tallo empieza en la inserción de las raíces. En orden ascendente, el primer nudo que se encuentra es el de los cotiledones; éste se caracteriza por tener dos inserciones opuestas correspondiente a los cotiledones. La primera parte del tallo comprendida entre la inserción de las raíces y el primer nudo, se llama hipocótilo. El hipocótilo tiene una longitud apreciable porque el frijol común es de germinación epígea (Fig. 11).

Los cotiledones permanecen adheridos al tallo durante las primeras etapas de desarrollo. Después de unas dos semanas caen quedando dos cicatrices en el tallo.

El siguiente nudo es el de las hojas primarias, las cuales son opuestas. Entre el nudo de los cotiledones y el de las hojas primarias, se encuentra un entrenudo real llamado epicótilo (Fig. 11).

Los dos primeros nudos, el de los cotiledones y el de las hojas primarias son formados durante la embriogénesis; por lo tanto existen ya en la semilla.

En el tallo se encuentran presentes, a nivel de cada nudo otros órganos como las hojas, las ramas, las vainas, los racimos y las flores (Fig. 12).

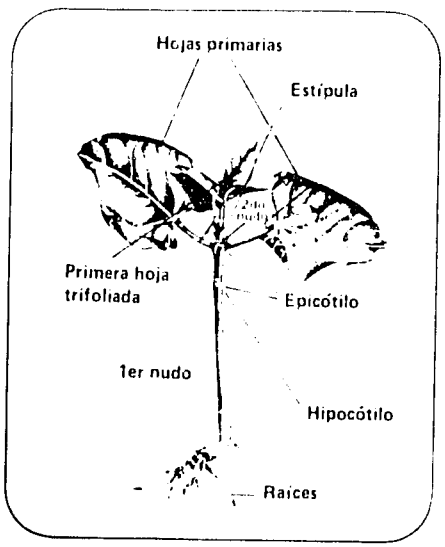


Figura 11.
Plántula de frijol.

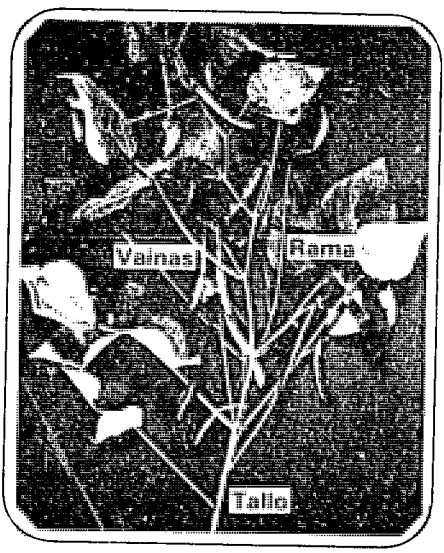


Figura 12.
Diferentes estructuras en una planta de frijol.

El tallo se puede distinguir fácilmente ya que está compuesto por una sucesión de nudos y entrenudos; en cada nudo se encuentra una estípula, una hoja y entre el pecíolo de la hoja y la prolongación del tallo, es decir en las axilas, se encuentran estructuras vegetativas como las ramas o reproductivas como las inflorescencias.

Los nudos del tallo se numeran en forma ascendente en tal forma que el primer nudo corresponde al de los cotiledones, el segundo al de las hojas primarias, el tercero a la primera hoja trifoliada y así sucesivamente.

Al inicio de la fase reproductiva de la planta, el tallo presenta a lo largo de su estructura diferentes niveles de desarrollo de los órganos vegetativos y/o reproductivos. En general se observa:

1. Un cambio en la disposición de las ramas, es decir en la ramificación a partir de los dos primeros nudos, el de los cotiledones y el de las hojas primarias cuyas ramas están dispuestas en forma opuesta (disposición decusada). A partir del tercer nudo la disposición de las ramas y/o inflorescencias es alterna (disposición dística).

2. Un desarrollo característico de la parte terminal, dependiendo del hábito de crecimiento de la variedad. Relacionado con este punto existen dos posibilidades:

   a. Que el tallo termine en una inflorescencia (racimo) cuyas inserciones se desarrollan primero en flores y después en vainas. Al aparecer esta inflorescencia el tallo normalmente cesa su crecimiento. En este caso, la planta es de hábito de crecimiento determinado* (Fig. 13a).

   b. La otra posibilidad es que el tallo presente en su parte terminal un meristema vegetativo que le permite eventualmente continuar creciendo, es decir, formar más nudos y entrenudos. En este caso la planta es de hábito de crecimiento indeterminado (Fig. 13b).

Cuando la planta es de hábito de crecimiento determinado, normalmente el tallo posee un bajo número de nudos y termina en la inserción de la última hoja trifoliada.

En las plantas de hábito indeterminado, el número de nudos del tallo es mayor que en las plantas de hábito determinado ya que en la fase reproductiva, el tallo continúa creciendo.

Para facilitar el conteo y establecer comparaciones, el número de nudos se debe determinar en una etapa específica del desarrollo de la planta como por ejemplo a la floración y a la maduración.

Bajo condiciones similares de ambiente, el número de nudos del tallo de un material genéticamente depurado se puede considerar como un carácter de poca variación (Cuadro 1).

---

* El término determinado está usado aquí bajo la reserva del significado dado en el glosario.

Al contar el número de nudos se conoce directamente el número de entrenudos. El número y la longitud de cada entrenudo determinan la longitud del tallo y por ende la altura de la planta. Se debe anotar que esta longitud varía de un entrenudo a otro del tallo, situación que depende de las correlaciones de crecimiento entre las diferentes partes de la planta. Para una misma variedad puesta en las mismas condiciones ambientales, se pueden definir rangos de variación en longitud para cada entrenudo.

Cuadro 1. Número de nudos de algunas variedades de frijol bajo las condiciones ambientales de CIAT.

Variedad	Hábito de crecimiento	Número de nudos
DIACOL Calima	I	8
Pompadour	I	10
Canario	I	9
ICA Tui	II	15
Nep 2	II	13
Porrillo Sintético	II	12
Puebla 152	III	12
Aysekadin	III	16
Rico 23	III	15
Cargamanto	IV	18
Ecuador 299	IV	18
Great Northern/1 Sel-27	IV	16

Fuente: Línea descriptiva de germoplasma de Phaseolus sp.

La longitud del entrenudo, el diámetro promedio y la capacidad de torsión determinan otro carácter: la aptitud para trepar (Fig. 14).

Las características mencionadas se utilizan en esta unidad para describir el tallo; algunas de ellas se pueden utilizar eventualmente en la descripción de variedades. Así mismo son útiles en la caracterización del hábito de crecimiento.

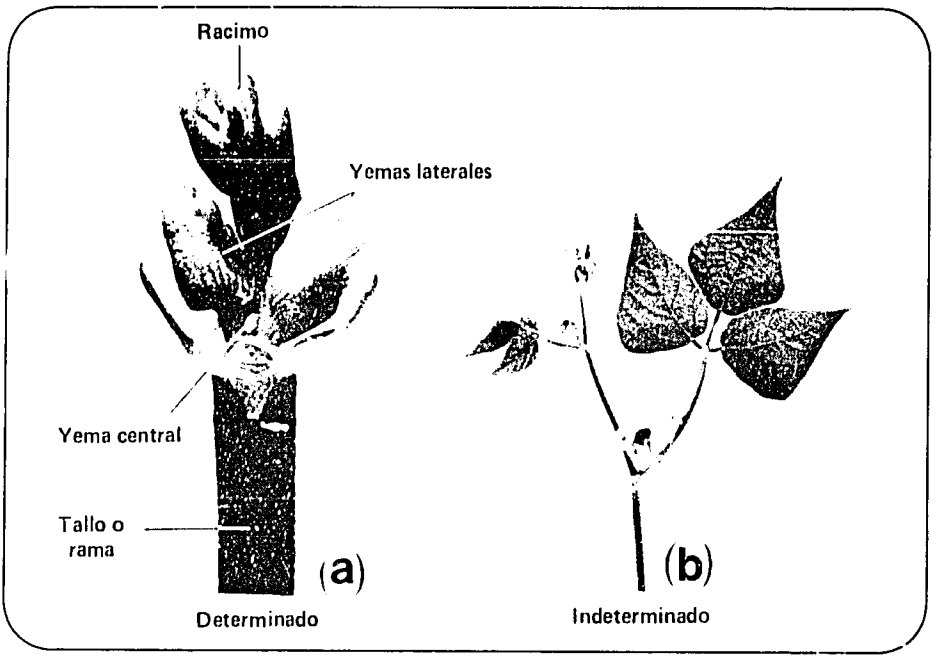


Figura 13. Características de la parte terminal del tallo.

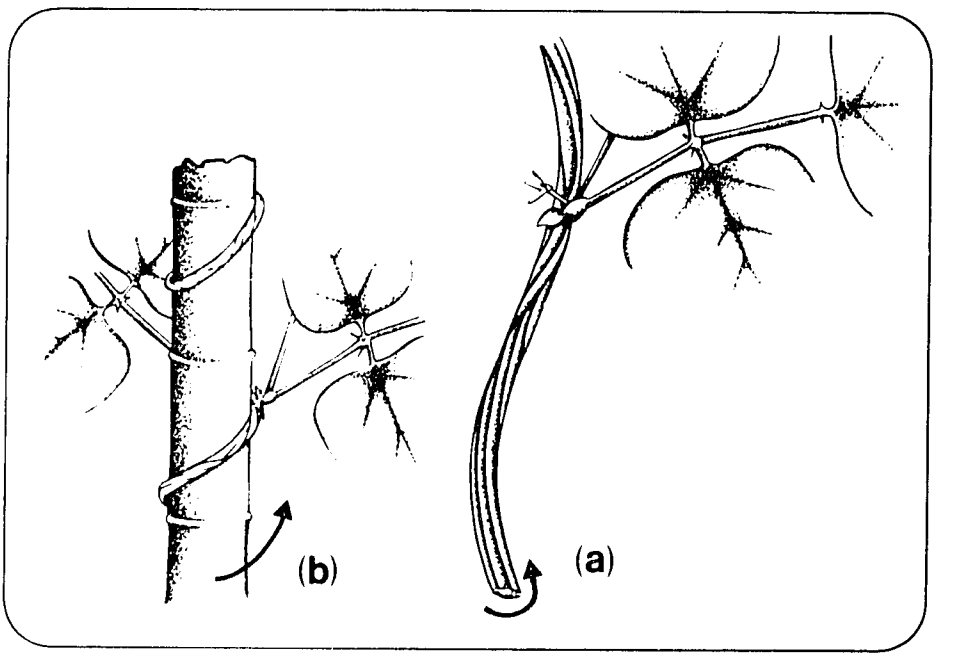


Figura 14. a. Torsión primaria del tallo sobre sí mismo.
b. Torsión secundaria del tallo sobre el tutor.

Hábito de crecimiento

Los principales caracteres morfo-agronómicos que ayudan a determinar el hábito de crecimiento son:

1. El tipo de desarrollo de la parte terminal del tallo: determinado o indeterminado.

2. El número de nudos.

3. La longitud de los entrenudos y en consecuencia, la altura de la planta. Adicionalmente hay que considerar la distribución de las longitudes de los entrenudos a lo largo del tallo.

4. La aptitud para trepar.

5. El grado y el tipo de ramificación. Es necesario incluir el concepto de guía definido como la parte del tallo y/o las ramas que sobresalen por encima del follaje del cultivo.

Los primeros cuatro caracteres están especialmente relacionados con el tallo pero es posible tenerlos en cuenta para el caso de las ramas originadas en cualquier nudo. Se debe revisar entonces lo concerniente al grado de ramificación.

La planta de frijol común es por naturaleza muy ramificada. Las ramas principales puden tener a su vez ramas laterales; lo anterior multiplica los lugares potenciales de floración.

Cada uno de los nudos del tallo posee una hoja trifoliada a excepción del nudo cotiledonar y el nudo de las hojas primarias. En las ramas los dos primeros nudos (difícilmente diferenciables) poseen una estructura foliácea de forma triangular denominada prófilo. El tercer nudo (1o. visible) presenta una hoja trifoliada del tipo normal.

La ramificación se desarrolla especialmente en los nudos de las hojas trifoliadas inferiores del tallo a partir de las yemas presentes en la axila de dichas hojas. Las yemas de los dos primeros nudos (de los cotiledones y de las hojas primarias) pueden permanecer en estado latente pero tienen el potencial de desarrollo generalmente como ramas axilares. Esto puede suceder con mayor probabilidad cuando el tallo sufre algún daño. Pero cualquiera que sea el hábito de crecimiento, la ramificación es muy reducida en las partes terminales del tallo o de las ramas. En estas partes, el desarrollo de las yemas axilares tiende a ser reproductivo.

Según estudios hechos en el CIAT se consideró que los hábitos de crecimiento podrían ser agrupados en cuatro tipos principales; esta clasificación está sometida a modificaciones posteriores, las cuales seguramente tendrán en cuenta las situaciones particulares e intermedias (Fig. 15).

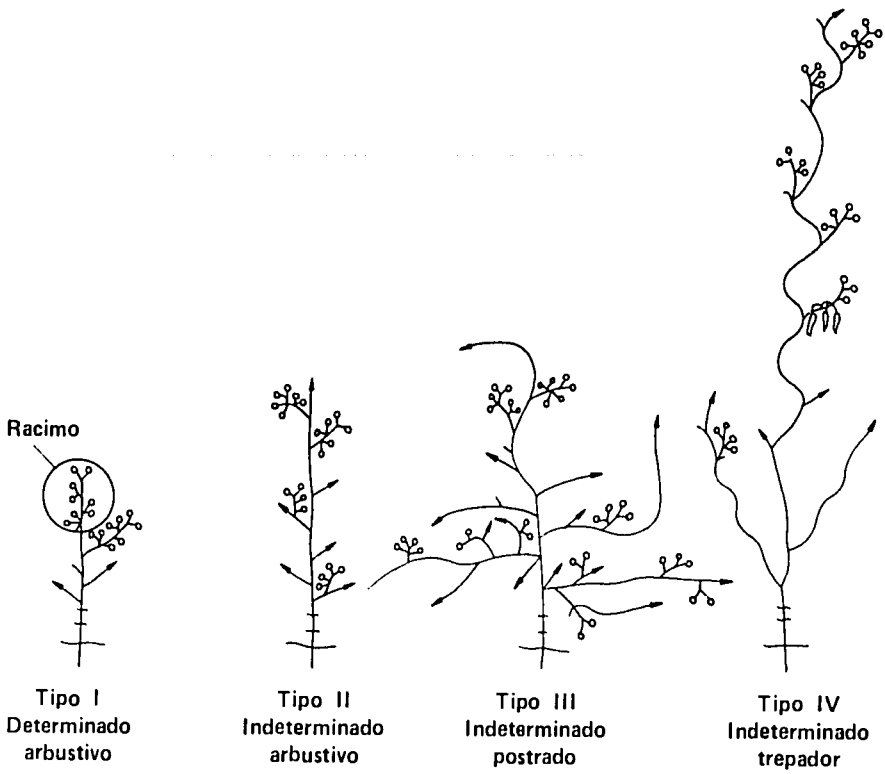


Figura 15. Esquema de los cuatro tipos de hábito de crecimiento.

Hábitos de crecimiento determinado:

Tipo I: Hábito de crecimiento determinado arbustivo (Fig. 16).

Las plantas Tipo I presentan las siguientes características:

1. El tallo y las ramas terminan en una inflorescencia desarrollada. Cuando esta inflorescencia está formada, el crecimiento del tallo y de las ramas generalmente se detiene.

2. En general el tallo es fuerte, con un bajo número de entrenudos, de 5 a 10, comúnmente cortos.

3. La altura puede variar entre 30 y 50 cm. Sin embargo hay casos de plantas enanas (15 a 25 cm).

4. La etapa de floración es corta y la madurez de todas las vainas ocurre casi al mismo tiempo.

5. Sin embargo se debe hacer notar la presencia de una variación dentro del hábito de crecimiento determinado; en la cual los entrenudos son más largos, pueden ser más numerosos (más de 8) y en algunos casos con aptitud trepadora.

Figura 16. Esquema de una planta de hábito de crecimiento determinado arbustivo (Tipo I).

Hábitos de crecimiento indeterminado:

Tipo II. Hábito de crecimiento indeterminado arbustivo (Fig. 17).

Figura 17. Esquema de una planta de hábito de crecimiento indeterminado arbustivo (Tipo II).

Pertenecen a este Tipo, las plantas con las siguientes características:

1. Tallo erecto sin aptitud para trepar, aunque termina en una guía corta. Las ramas no producen guías.

2. Pocas ramas, pero en número superior al tipo I y generalmente cortas con respecto al tallo.

3. El número de nudos del tallo es superior al de las plantas del tipo I; generalmente más de 12.

4. Como todas las plantas de hábito de crecimiento indeterminado, éstas continúan creciendo durante la etapa de floración, aunque a un ritmo menor.

Tipo III: Hábito de crecimiento indeterminado postrado (Fig. 18).

Figura 18. Esquema de una planta de hábito de crecimiento indeterminado postrado (tipo III).

Las características más sobresalientes de las plantas de hábito de crecimiento Tipo III, son:

1. Plantas postradas o semipostradas con ramificación bien desarrollada.

2. La altura de las plantas es superior a la de las plantas del Tipo I y II (generalmente mayor de 80 cm).

3. Lo anterior se debe a que el número de nudos del tallo y de las ramas es superior al de los tipos I y II; así mismo, la longitud de los entrenudos es superior respecto a los hábitos anteriormente descritos y tanto el tallo como las ramas terminan en guías.

4. El desarrollo del tallo y el grado de ramificación originan variaciones en la arquitectura del tipo III. Algunas plantas son postradas desde las primeras etapas de la fase vegetativa. Otras son arbustivas hasta prefloración y luego son postradas. Dentro de estas variaciones se puede presentar aptitud trepadora especialmente si las plantas cuentan con algún soporte en cuyo caso suelen llamarse semitrepadoras.

Tipo IV: Hábito de crecimiento indeterminado trepador (Fig. 19).

Se considera que las plantas de este tipo de hábito de crecimiento son las del típico frijol trepador. Este es el tipo de hábito de crecimiento que se encuentra generalmente en la asociación maíz-frijol.

Se caracteriza por:

1. A partir de la primera hoja trifoliada el tallo desarrolla la doble capacidad de torsión lo que se traduce en su habilidad trepadora.

2. Ramas muy poco desarrolladas (exceptuando algunas), a consecuencia de la dominancia apical.

3. El tallo puede tener de 20 a 30 nudos y alcanzar más de dos metros de altura con un soporte adecuado.

4. La etapa de floración es significativamente más larga que la de los otros hábitos de tal manera que en la planta se presentan a un mismo tiempo las etapas de floración, formación de las vainas, llenado de las vainas y maduración.

Por lo general hay de 10 a 20 nudos en el tallo principal de las plantas de los tipos II y III; este número de nudos se considera intermedio lo mismo que la altura de la planta si se comparan con las plantas de los tipos I y IV.

Finalmente es importante señalar que hay variedades que tienen hábitos de crecimiento que no se pueden incluir en ninguno de estos cuatro tipos, pues son hábitos intermedios entre cualquiera de los descritos anteriormente.

Además, algunos de los parámetros componentes del hábito de crecimiento han evolucionado, por ejemplo el tipo de ramificación, debido a la selección de fenotipos adecuados a necesidades locales o regionales. Esto ha dado origen a subclasificaciones de gran utilidad en el proceso de mejoramiento.

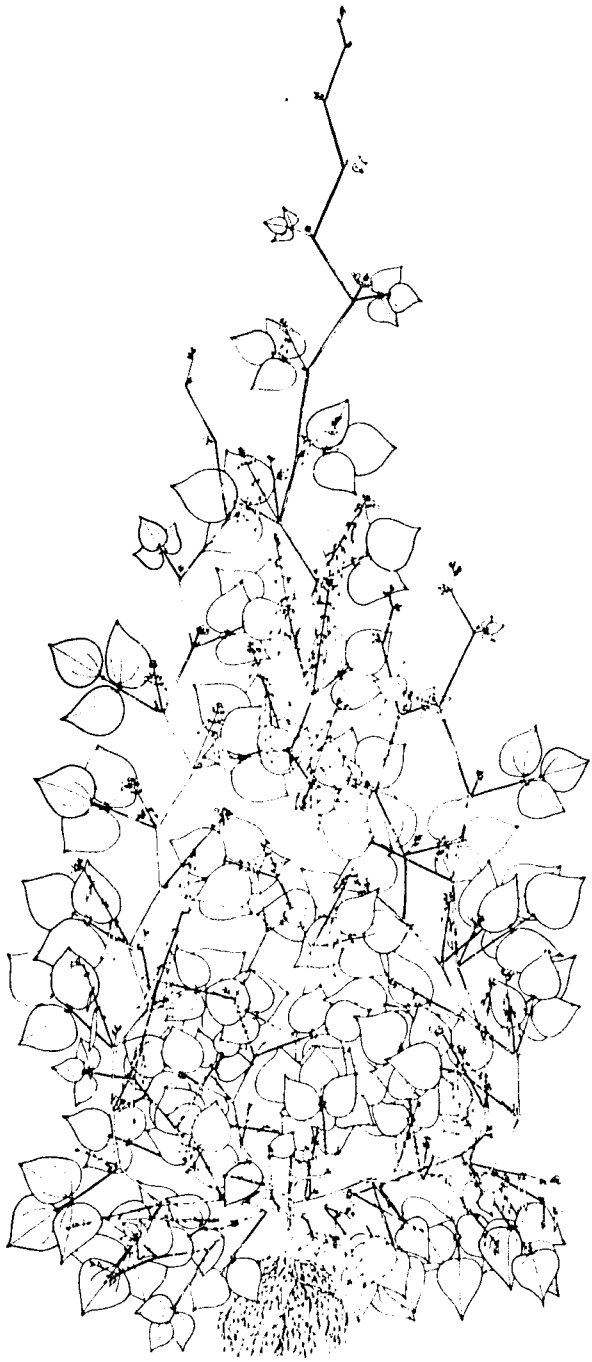


Figura 19. Esquema de una planta de hábito de crecimiento indeterminado trepador (Tipo IV).

Por ejemplo en el tipo III existen plantas postradas denominadas IIIa, mientras que otras tienen el tallo y las ramas con aptitud trepadora, aunque no muy desarrollada y se denominan IIIb (Fig. 20).

En el Tipo IV se hacen subdivisiones según la distribución de las vainas en la planta; por ejemplo, cuando las vainas se distribuyen uniformemente a lo largo de la planta se denomina IVa y si las vainas se concentran en la parte superior de la planta se denomina IVb (Fig. 20).

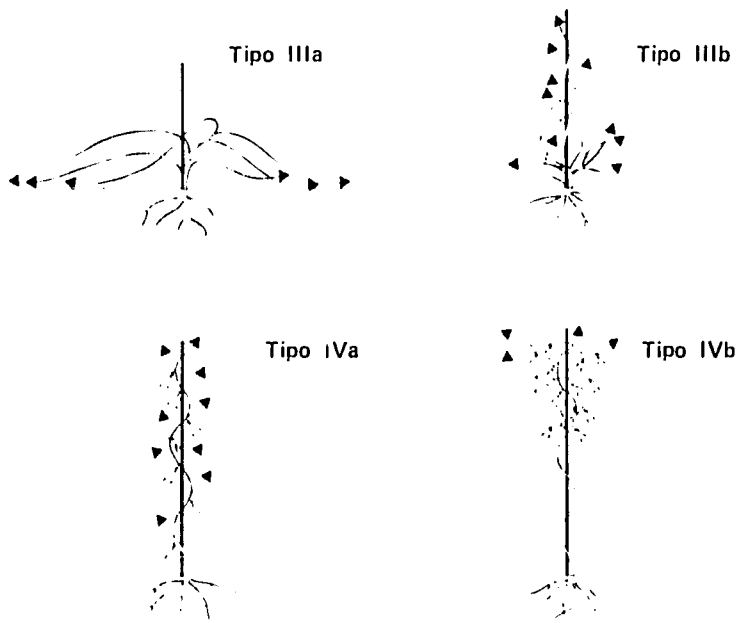


Figura 20. Esquema de subclasificaciones de los tipos III y IV.

También es necesario tener en cuenta que las condiciones ambientales influyen en la expresión del hábito de crecimiento, por ésto, en diferentes ambientes una variedad puede presentar variaciones en la expresión de este carácter.

Por ejemplo, algunas variedades de hábito de crecimiento Tipo III bajo las condiciones ambientales del CIAT, pueden tener hábitos semejantes a los tipos del suelo, la densidad de población, la presencia de tutores, el sistema de cultivo, etc.

Sin embargo las diferencias entre los hábitos determinados e indeterminados son estables y más claras, ya que el funcionamiento de los meristemas es completamente diferente, además de que existen diferencias notorias en las correlaciones entre las partes de la planta. El sentido de la floración, constituye una diferencia importante entre estos hábitos ya que en los determinados es descendente, es decir de las partes apicales hacia la parte inferior de la planta, mientras que en los indeterminados es al contrario (Fig. 21).

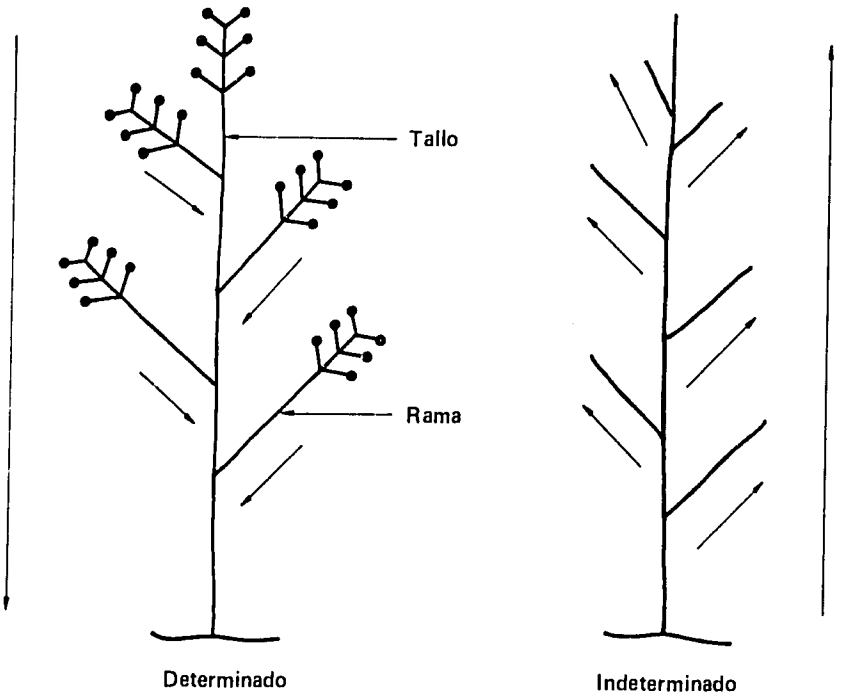


Figura 21. **Sentido de la floración en plantas de hábito de crecimiento determinado e indeterminado.**

Ramas y complejos axilares

Las ramas se desarrollan a partir de un complejo de yemas localizado siempre en la axila de una hoja o en la inserción de los cotiledones. Este es el denominado complejo axilar que generalmente está formado por tres yemas visibles desde el inicio de su desarrollo.

Una rama en sus primeros estados de desarrollo se puede distinguir porque las estípulas de la primera hoja trifoliada de esa rama, cubren casi totalmente dicha estructura. Estas estípulas tienen forma triangular y aplanada; además son visibles los ápices de los folíolos de dicha hoja.

De este complejo axilar, además de ramas se pueden desarrollar otras estructuras como las inflorescencias; el predominio de ramas y/o inflorescencias depende del hábito de crecimiento y de la parte de la planta considerada.

Estas tres yemas forman un complejo axilar llamado Tríada (Fig. 22). Las yemas pueden tener tres tipos de desarrollo:

1. Caso 1, desarrollo completamente vegetativo.

2. Caso 2, desarrollo floral y vegetativo.

3. Caso 3, desarrollo completamente floral.

El tipo de desarrollo depende especialmente de la posición del complejo axilar sobre la planta.

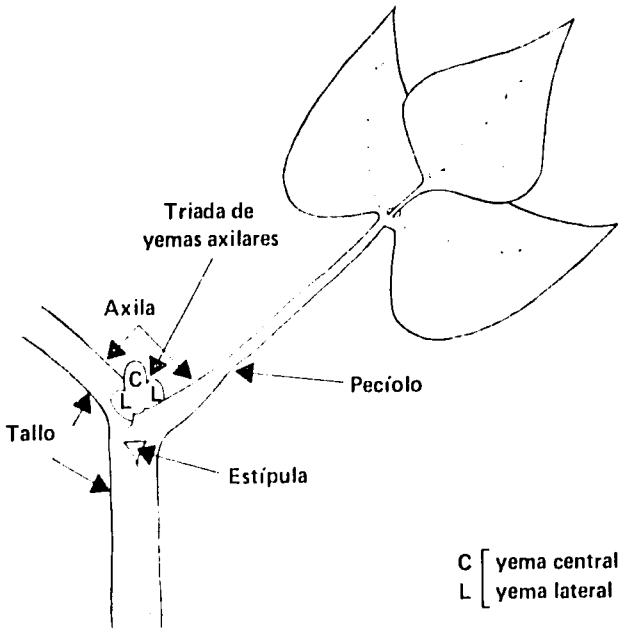


Figura 22. **Localización esquemática de la triada de yemas axilares.**

Caso 1; Desarrollo completamente vegetativo.

Se denomina vegetativo porque las yemas que se desarrollan en el complejo axilar producen exclusivamente ramas en cuyo primer nudo visible se encuentra una hoja trifoliada (Fig. 23).

La yema central se desarrolla primero, formando la rama central. Las dos yemas laterales tienen el potencial para desarrollarse como ramas pero generalmente se desarrolla una sola. Tanto en la rama central como en las laterales el desarrollo después del primer nudo visible es en última instancia dependiente del genotipo y por lo tanto puede o no existir similitud en el desarrollo de las ramas a partir de dicho nudo.

Como consecuencia, se encontrará generalmente la rama central bien desarrollada y una lateral produciendo al menos un nudo visible con una hoja trifoliada. En algunos casos una rama lateral puede tener a su vez dos ramas, es decir, una en cada lado y así sucesivamente.

Este tipo de desarrollo, completamente vegetativo, ocurre generalmente en la parte baja de la planta, o sea, en el nudo cotiledonar, el de las hojas primarias y en los nudos de las primeras hojas trifoliadas del tallo y de las ramas cualquiera que sea el hábito de crecimiento.

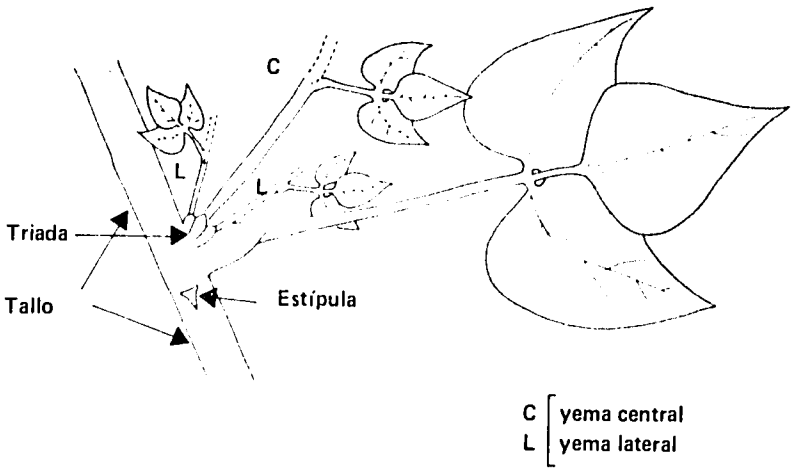


Figura 23. Desarrollo de las yemas. Caso 1: desarrollo completamente vegetativo.

Caso 2: Desarrollo floral y vegetativo.

Se denomina floral porque la yema central, que es la primera en desarrollarse, produce tempranamente una inflorescencia; de las otras 2 yemas al menos una produce una rama (Fig. 24).

La yema central se desarrolla en una inflorescencia, es decir un racimo, lo que significa que en esta axila se va a observar primero el racimo floral y después las vainas. Las dos yemas laterales permanecen inicialmente en estado latente.

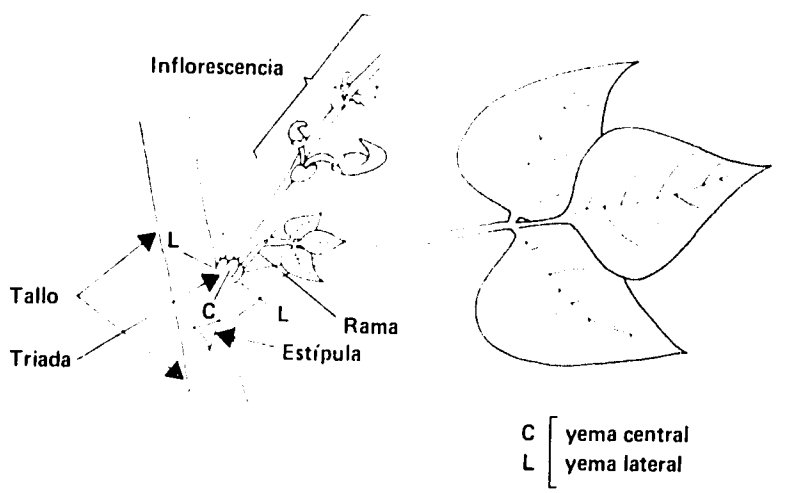


Figura 24. Desarrollo de las yemas. Caso 2: desarrollo floral y vegetativo.

Sin embargo, muchas veces después de la formación de las vainas en la inflorescencia central, o debido a cualquier accidente ocurrido en este racimo central, las dos yemas laterales o una solamente, pueden salir del estado latente e iniciar un desarrollo vegetativo, produciendo al menos un nudo con una hoja trifoliada.

Este tipo de desarrollo se encuentra generalmente en la parte media y superior de los tallos.

Caso 3: Desarrollo completamente floral.

Se denomina floral porque las yemas del complejo axilar se desarrollan como órganos reproductivos. Las dos yemas laterales, generalmente se convierten directamente en botones florales (flores solitarias) (Fig. 25).

Este tipo de desarrollo se encuentra generalmente en la parte superior del tallo y de las ramas.

Las ramas potencialmente podrían desarrollarse como el tallo, pero en la realidad su desarrollo es más reducido; esta similitud en el crecimiento y desarrollo, no se debe al azar; es el resultado de correlaciones que tienen un control genético-fisiológico.

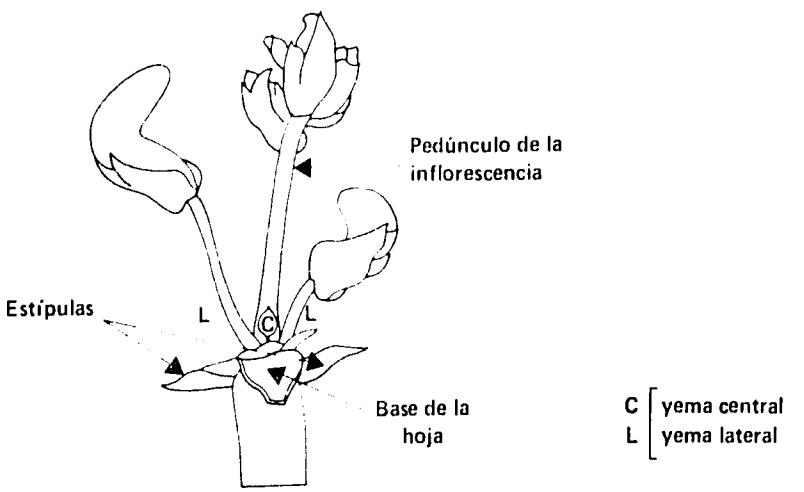


Figura 25. Desarrollo de las yemas. Caso 3: desarrollo completamente floral.

Hojas

Las hojas del frijol son de dos tipos: simples y compuestas (Fig. 26). Están insertadas en los nudos del tallo y las ramas. En dichos nudos siempre se encuentran estípulas que constituyen un carácter importante en la sistemática de las leguminosas.

En la planta de frijol sólo hay dos hojas simples: las primarias; aparecen en el segundo nudo del tallo y se forman en la semilla durante la embriogénesis. Son opuestas, cordiformes, unifoliadas, auriculadas, simples y acuminadas. Estas caen antes de que la planta esté completamente desarrollada. Las estípulas son bífidas al nivel de las hojas primarias. (Fig. 27).

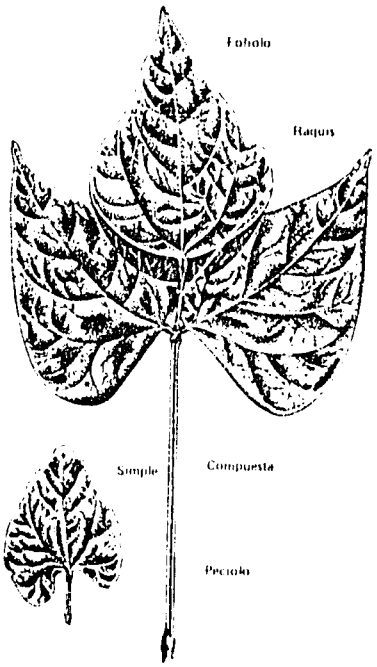


Figura 26. Tipos de hojas de la planta de frijol.

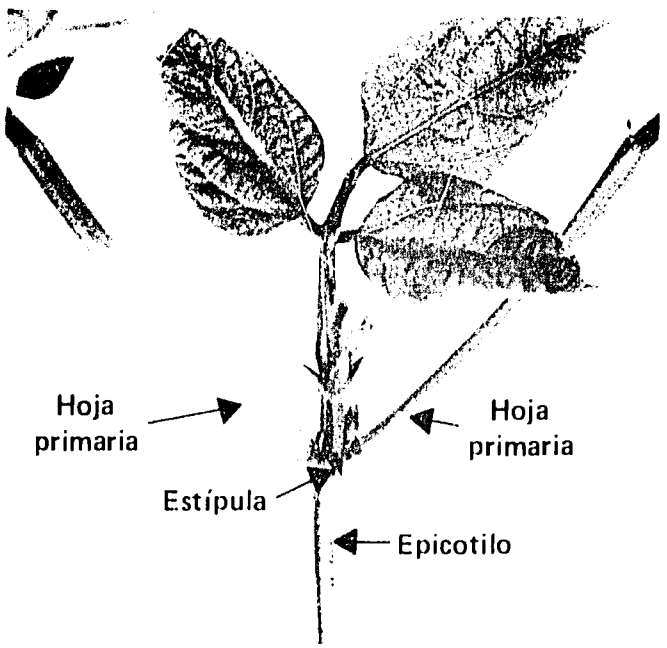


Figura 27. Disposición de hojas primarias.

Las hojas compuestas (Fig. 26), trifoliadas, (trifolioladas), son las hojas típicas del frijol. Tienen tres folíolos, un pecíolo y un raquis. Tanto el pecíolo como el raquis son acanalados. El folíolo central o terminal es simétrico y acuminado; los dos laterales son asimétricos y también acuminados.

Los folíolos son enteros; la forma tiende a ser de ovalada a triangular, principalmente cordiformes, pero sin aurículas; son glabros o subglabros.

Los folíolos tienen peciolulos que pueden ser considerados como pulvínulos y poseen estipelas; dos en el folíolo central y una en cada folíolo lateral, colocadas en la base de los peciolulos.

En la base del pecíolo cerca del tallo ó de las ramas están el pulvínulo; los pulvínulos están relacionados con los movimientos nictinásticos de las hojas. En la inserción de las hojas trifoliadas hay un par de estípulas de forma triangular y de inserción basi-fija que siempre son visibles (Fig. 28).

En condiciones normales existe una gran variación en cuanto al color y pilosidad de las hojas la cual está relacionada con la variedad, con la posición de la hoja en el tallo y la edad de la planta. Estos caracteres pueden o no tener relación con el color y la pilosidad del tallo y de las ramas.

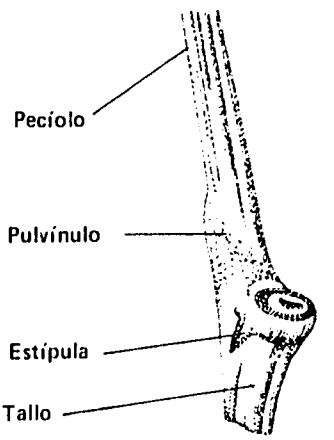
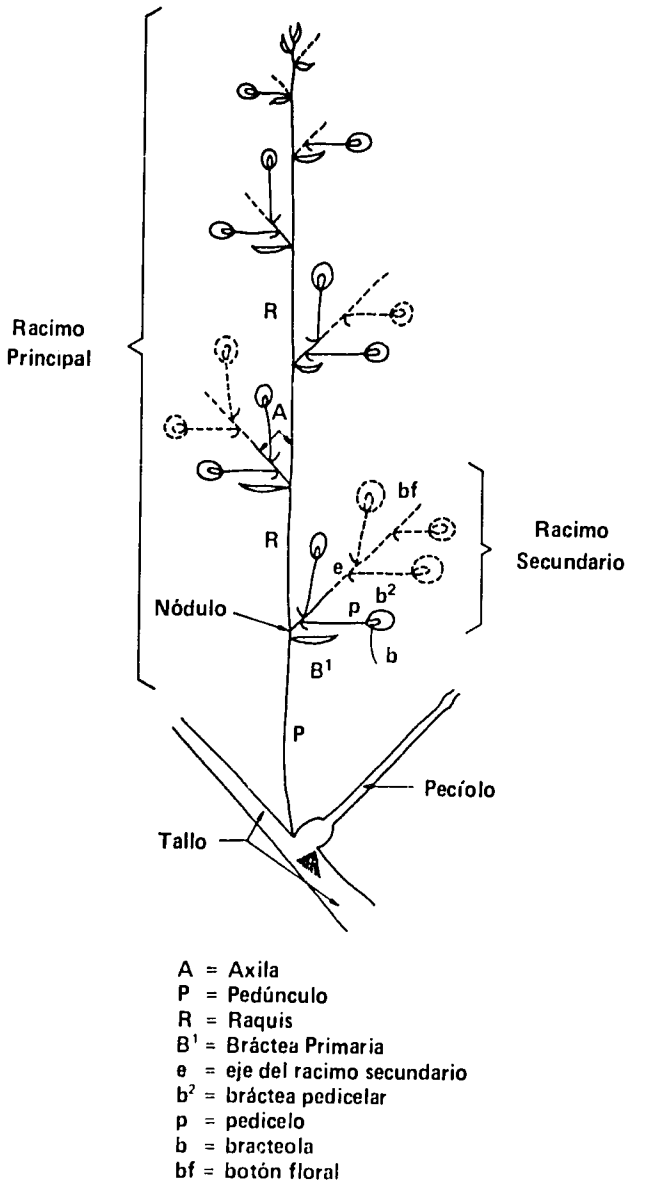


Figura 28. Parte basal de la hoja trifoliada.

Inflorescencia

Las inflorescencias pueden ser axilares o terminales. Desde el punto de vista botánico se consideran como racimos de racimos: es decir, un racimo principal compuesto de racimos secundarios, los cuales se originan de un complejo de tres yemas (tríada floral) que se encuentra en las axilas formadas por las brácteas primarias y la prolongación del raquis (Fig. 29).



A = Axila
P = Pedúnculo
R = Raquis
B^1 = Bráctea Primaria
e = eje del racimo secundario
b^2 = bráctea pedicelar
p = pedicelo
b = bracteola
bf = botón floral

Figura 29. Desarrollo de una inflorescencia. (Líneas punteadas desarrollo teórico).

El racimo se distingue en su estado inicial porque la forma del conjunto tiende a ser cilíndrica o esférica y está cubierto principalmente por dos estructuras foliáceas de forma triangular, es decir las brácteas primarias de las primeras inserciones florales de la inflorescencia; en dicho conjunto también se pueden distinguir las bracteolas redondeadas y multinerviales de las primeras flores.

La inflorescencia tiene tres partes principales: el eje de la inflorescencia que se compone de pedúnculo y de raquis, las brácteas primarias y los botones florales. Antes de abrir las primeras flores, el pedúnculo de la inflorescencia se alarga rápidamente. El raquis es una sucesión de nudos. Los nudos se distinguen porque en ellos se localizan las brácteas primarias.

El pedúnculo y el raquis pueden tener colocación y pubescencia características según la variedad, pero siempre tienen pequeños pelos uncinulados. Los nudos del raquis no son notorios y no tienen glándulas pedicelares (nectarios) comunes en muchos géneros afines.

Las brácteas del raquis son permanentes, de triangulares a redondas y multinerviales. En la axila de cada bráctea primaria existe un complejo de yemas denominado tríada floral. El concepto tríada puede ser utilizado de nuevo, pues se tiene un complejo axilar floral formado por tres yemas las cuales, con propiedades distintas, intervienen en el desarrollo reproductivo.

En cada tríada floral cada una de las dos yemas laterales generalmente produce una flor; estas dos yemas laterales son las dos primeras que aparecen sobre el eje del racimo secundario, en sucesión alterna (Fig.30). En cambio la yema central no se desarrolla directamente; como el eje es muy reducido, las dos flores parecen estar al mismo nivel. En algunos casos, especialmente cuando las vainas producto del desarrollo de las flores están ya desarrolladas, la yema central puede producir un pequeño eje con otra tríada floral. De esta nueva tríada puede resultar una tercera flor (Fig. 30). El desarrollo a partir de la tercera flor está limitado por fenómenos de competencia ya que al madurar las vainas de las dos primeras yemas, la planta generalmente está en la etapa de maduración y por lo tanto presenta disminución de su actividad fotosintética y normalmente esta flor no se desarrolla.

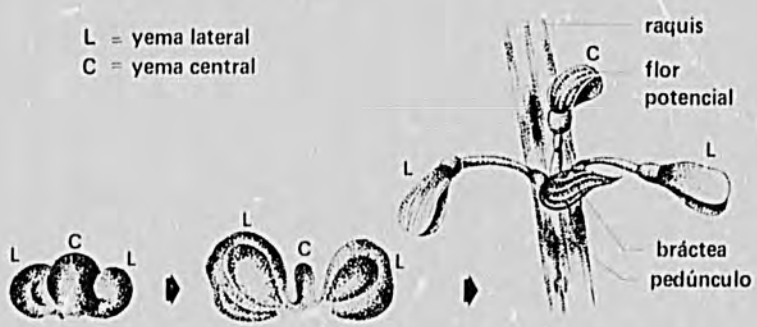


Figura 30. Desarrollo de la tríada floral.

El desarrollo y la estructura de la tríada se repite en todas las inserciones de la inflorescencia; teóricamente se pueden esperar más de dos o tres inserciones florales por racimo en el raquis, y más de dos vainas por cada inserción (Fig. 31). Sin embargo, como ya se explicó el completo desarrollo de esta estructura está limitado por procesos fisiológicos, especialmente de competencia, resultantes de la formación y llenado de vainas.

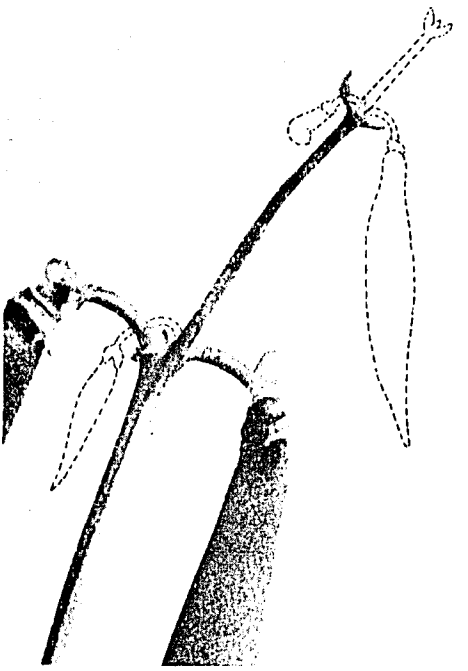


Figura 31. Desarrollo teórico de la inflorescencia e inserciones florales.

Flor

La flor del frijol es una típica flor papilionácea. En el proceso de desarrollo de dicha flor se pueden distinguir dos estados; el botón floral y la flor completamente abierta.

El botón floral, bien sea que se origine en las inserciones de un racimo o en el desarrollo completamente floral de las yemas de una axila, en su estado inicial está envuelto por las bracteolas que tienen forma ovalada o redonda. En su estado final, la corola que aún está cerrada sobresale y las bracteolas cubren sólo el cáliz.

Cuando ocurre el fenómeno de antesis la flor se abre. La flor tiene simetría bilateral con las siguientes características (Fig. 32).

1. Un pedicelo glabro o subglabro con pelos uncinulados y en su base una pequeña bráctea no persistente, unilateral, llamada bráctea pedicelar.

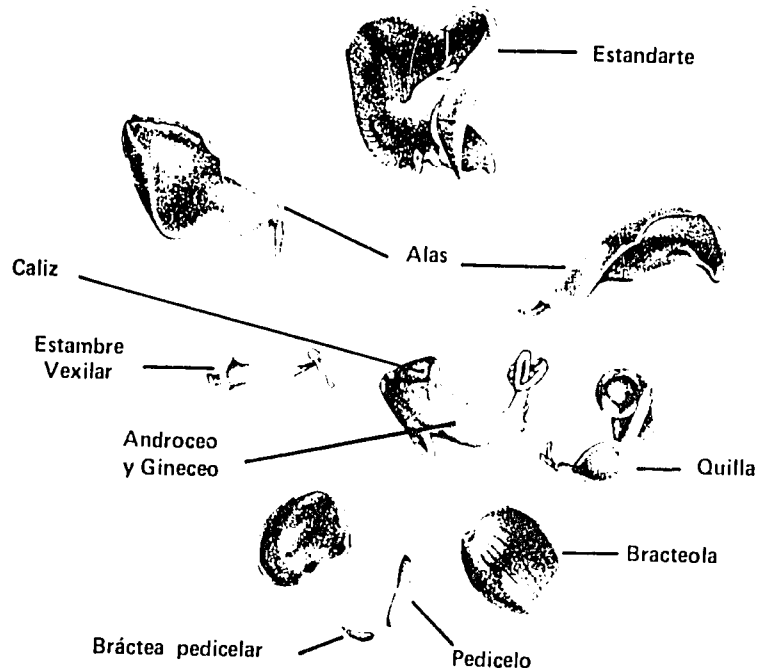


Figura 32. Componentes de la flor.

2. El cáliz es gamosépalo, campanulado, con cinco dientes triangulares dispuestos como labios en dos grupos, en la siguiente forma: dos en la parte alta completamente soldados y tres mas visibles en la parte baja. En la base del cáliz hay dos bracteolas ovoides y multinerviales que persisten hasta poco después de la floración; ordinariamente de un tamaño equivalente a dos veces la longitud del cáliz.

3. La corola es pentámera y papilionácea, con dos pétalos soldados por su base y tres no soldados. En ella se pueden distinguir:

   - El pétalo más sobresaliente corresponde al estandarte y es uno de los no soldados; es glabro, simétrico, con un apéndice ancho y difuso en la cara interna. Puede ser de color blanco, verde, rosado o púrpura, pero nunca amarillo. En la mayoría de las flores de colores claros la corola se torna amarillenta después de la fecundación.

   - Dos alas cuyo color puede ser muy variado: blanco, rosado o púrpura. En general las alas son más oscuras que las otras partes de la corola; pero puede ocurrir también lo contrario, que el estandarte sea de un color más intenso que las alas.

   - La quilla presenta forma de espiral muy cerrada, es asimétrica y está formada por dos pétalos completamente unidos. La quilla envuelve completamente el androceo y el gineceo.

El androceo está formado por nueve estambres soldados por su base en un tubo y por un estambre libre llamado vexilar que se encuentra al frente del estandarte (Fig. 34).

El gineceo es supero e incluye el ovario comprimido, el estilo encorvado y el estigma interno lateral terminal. Debajo del estigma se puede observar una agrupación de pelos en forma de brocha (Fig. 33).

La morfología floral de Phaseolus vulgaris L. favorece el mecanismo de autopolinización. En efecto, las anteras están al mismo nivel que el estigma y además ambos órganos están envueltos completamente por la quilla. Cuando se produce la dehiscencia de las anteras (antesis) el polen cae directamente sobre el estigma.

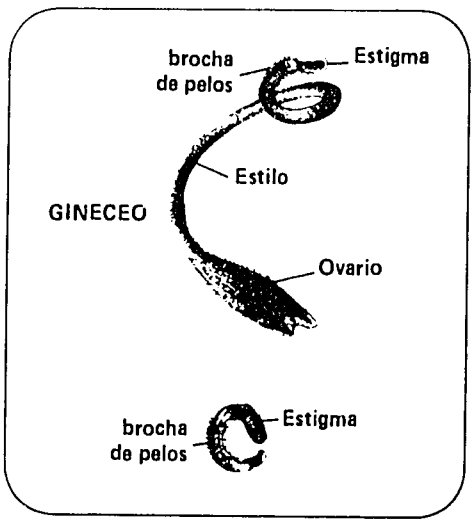


Figura 33. Componentes del gineceo.

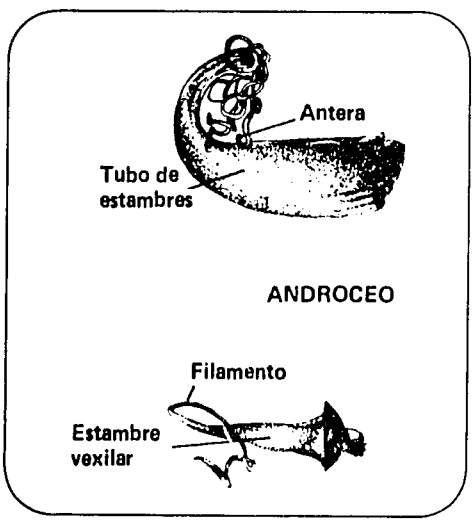


Figura 34. Componentes del androceo.

Fruto

El fruto es una vaina con dos valvas, las cuales provienen del ovario comprimido. Puesto que el fruto es una vaina, esta especie se clasifica como leguminosa.

Dos suturas aparecen en la unión de las dos valvas: una es la sutura dorsal, llamada placental; la otra sutura se denomina sutura ventral (Fig. 35).

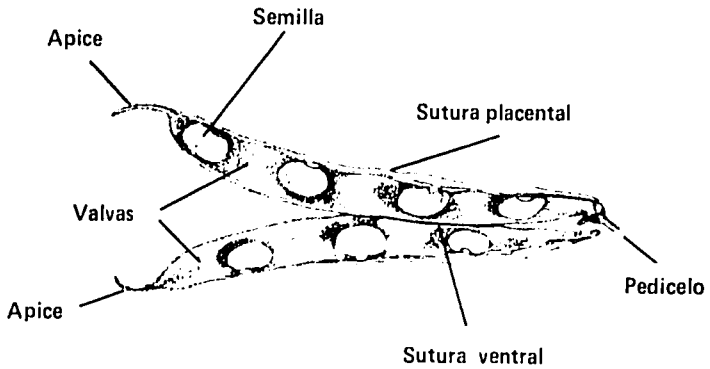


Figura 35. Fruto de la planta de frijol.

Los óvulos, que son las futuras semillas, alternan en la sutura placental; en consecuencia, las semillas también alternan.

Las vainas son generalmente glabras o subglabras con pelos muy pequeños; a veces la epidermis es pilosa (Fig. 36). Pueden ser de diversos colores, uniformes con rayas, existiendo diferencias entre las vainas jóvenes o estado inmaduro, las vainas maduras y las vainas completamente secas. El color depende de la variedad.

Dehiscencia

La presencia de fibra en las suturas y en las capas pergaminosas adheridas a la superficie interna de las valvas determina la dehiscencia, carácter morfo-agronómico usado algunas veces para clasificar las variedades de frijol. La textura de la vaina permite considerar tres tipos de dehiscencia (Cuadro 2).

1. El tipo pergaminosa posee fibras fuertes y orientadas en la capa pergaminosa, induce una fuerte dehiscencia en la maduración. Las variedades con este tipo de dehiscencia son cultivadas exclusivamente para la cosecha de granos secos.

2. El tipo coriáceo es aquel en el cual se separan las dos suturas levemente sin que haya separación total de las dos valvas. Estas vainas se pueden consumir como habichuelas cuando están inmaduras, o como frijoles secos cuando están maduros.

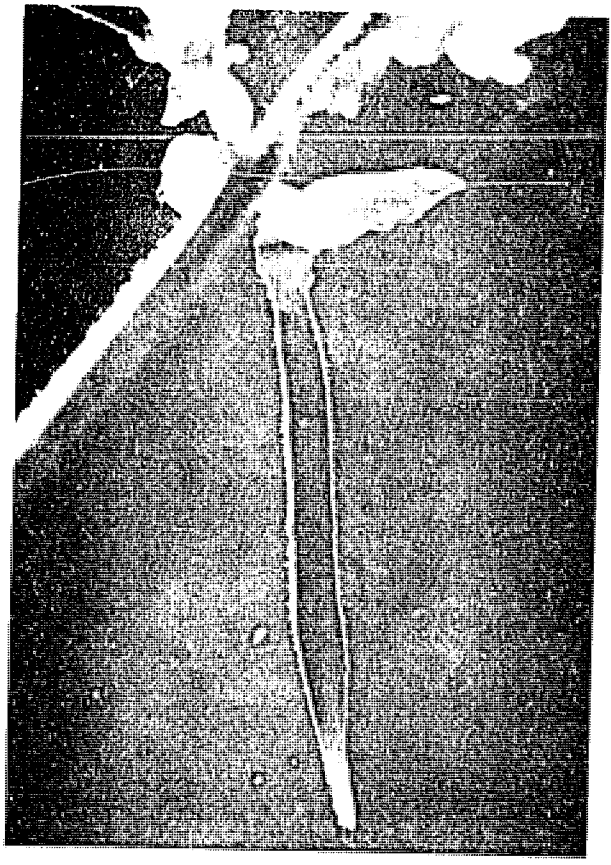


Figura 36. Pilosidad de la vaina.

Cuadro 2. Tipos de dehiscencia de acuerdo a la presencia de fibra.

Tipo Dehiscencia	Presencia de Fibra	
	Capa pergaminosa	Sutura
Pergaminosa	+	+
Coriáceo	+	-
Carnoso	-	-

3. En el tipo carnoso o no fibroso la vaina es casi indehiscente, las valvas no poseen fibra y se consumen como habichuela, ya que no presenta separación de las valvas a lo largo de las suturas.

Semilla

La semilla es exalbuminosa es decir que no posee albumen, por lo tanto las reservas nutritivas se concentran en los cotiledones. Se origina de un óvulo compilótropo (Fig. 37). Puede tener varias formas: cilíndrica, de riñón, esférica u otras.

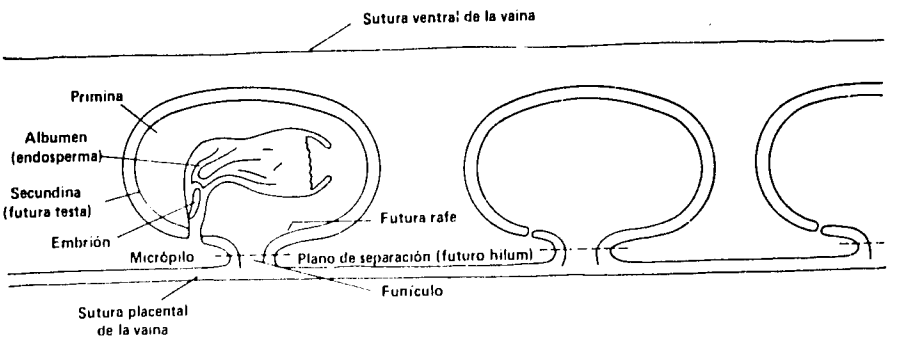


Figura 37. Esquema del óvulo campilótropo.

Las partes externas más importantes de la semilla son (Fig. 38):

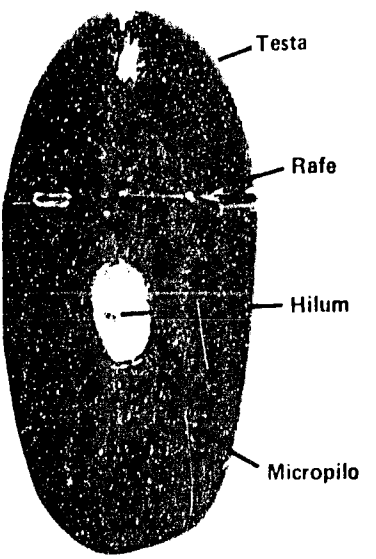


Figura 38. Partes externas de la semilla de frijol.

1. La testa o cubierta, que corresponde a la capa secundina del óvulo.

2. El hilum, o cicatriz dejada por el funículo, el cual conecta la semilla con la placenta.

3. El micrópilo que es una abertura en la cubierta o corteza de la semilla cerca del hilum. A través de esta abertura se realiza principalmente la absorción del agua.

4. La rafe, proveniente de la soldadura del funículo con los tegumentos externos del óvulo campilótropo.

Respecto a la posición de la semilla en la vaina, los micropilos están dispuestos en la dirección del ápice de la vaina y las rafes en la dirección del pedicelo.

Internamente la semilla está constituída solamente por el embrión el cual está formado por la plúmula, las dos hojas primarias, el hipocótilo, los dos cotiledones y la radícula (Fig. 39).

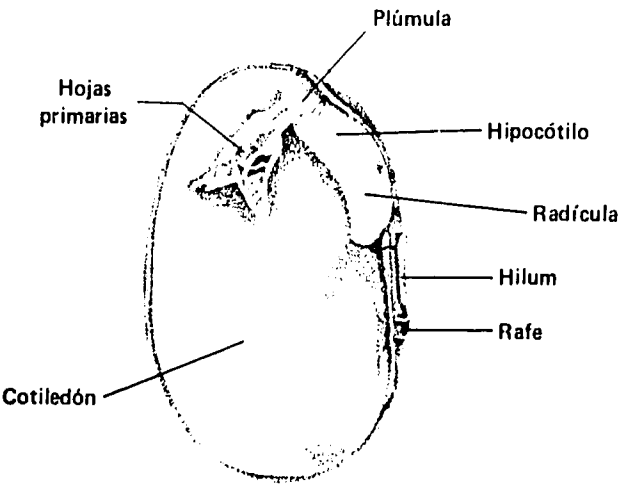


Figura 39. Composición interna de la semilla.

El complejo plúmula-radícula está situado entre los cotiledones, al lado ventral del grano de tal manera que la radícula está en contacto con el micrópilo. En el grano seco el complejo plúmula-radícula, ocupa solamente una parte muy reducida del espacio libre entre los cotiledones.

Calculado en base a materia seca de la semilla, la testa representa el 9%, los cotiledones 90% y el embrión el 1%.

La semilla tiene una amplia variación de color (blanco, rojo, crema, negro, café, etc.), de forma y de brillo. La combinación de colores también es muy frecuente. Esta gran variabilidad de los caracteres externos de la semilla se tiene en cuenta para la clasificación de variedades de frijol como consecuencia de la gran diversidad genética que existe dentro de esta especie.

CONCEPTOS BASICOS DE FISIOLOGIA DEL FRIJOL

Jeffrey W. White

Introducción

Como parte del estudio de procesos de desarrollo y crecimiento de plantas, los temas fisiológicos son discutidos tanto en investigaciones básicas de factores de rendimiento del frijol como en trabajos de agronomía, tolerancia a plagas o enfermedades y en casi cualquier otra rama del estudio del cultivo del frijol. Por esto es útil entender los procesos fisiológicos que determinan el crecimiento del frijol y algunos términos empleados en trabajos fisiológicos.

A- PROCESOS ELEMENTALES

Fotosíntesis

Los cimientos del crecimiento del frijol están constituídos por el proceso que hace mover al mundo: la fotosíntesis. Reducida a su descripción mas sencilla, la fotosíntesis es:

$$CO_2 + H_2O \xrightarrow{\text{Luz}} CH_2O + O_2 ,$$

donde CH2O es una clave para identificar la unidad básica de azúcares, almidones y celulosa, es decir, carbohidratos.

Varios estudios indican que, bajo condiciones óptimas, la tasa máxima de fotosíntesis del frijol es del orden de 2 g de CO2 fijado por hora por m2 de hojas. Si hacemos algunas aproximaciones, esto nos permite ver el papel que juegan otros procesos en el crecimiento del frijol:

2 g/h/m2 x 12 horas/día = 24 g/día/m2 de hojas

Si una planta tiene 3 unidades de área foliar por área de terreno ocupado, entonces:

24 g/día/m2 de hojas x 3 m2 de hojas/m2 de plantas = 72 g/día/m2 de plantas.

Y reevaluando la tasa de fotosíntesis en términos de gramos de CH2O producido 1 g CO2 fijado = 0.68 CH2O Producido):

72 g de CO x 0.68 g de CH 2O/g de CO2 = 49 g de CH 2O/día/m2 de plantas.

Suponiendo que el cultivo mantiene sus hojas unos 80 días, encontramos que:

49 g CH2O/día x 80 días = 4000 g/ciclo/m2 de plantas = 40.000 kg/ha/ciclo.

Esto quiere decir que, si fotosíntesis fuera el único proceso, si el cultivo siempre creciera en condiciones óptimas, y si el producto fuese solamente carbohidratos, estaríamos cosechando unas 40 toneladas de materia seca por hectárea.

Obviamente el crecimiento incluye otros procesos. Es la suma de fotosíntesis, respiración y distribución de carbohidratos y nutrientes, e incluye caída de flores, hojas, etc. y efectos de plagas y enfermedades. También hay que reconocer que cada proceso varía en intensidad según las condiciones ambientales.

Respiración

Es conveniente dividir la respiración en dos componentes, uno de mantenimiento y uno de crecimiento. La separación es artificial en términos bioquímicos, pero ayuda mucho en nuestra concepción del crecimiento del frijol.

El componente de mantenimiento corresponde a todas las actividades necesarias para mantener la planta, sin considerar ni crecimiento ni degradación de tejidos. Se supone que esto representa la respiración resultante de los procesos necesarios para mantener membranas y renovar enzimas, y es comparable al metabolismo basal de fisiología animal. La tasa de respiración para mantenimiento varía según el tipo de tejido y es muy sensible a temperatura. Datos para el frijol son escasos, pero los de Austin y MacLean (1972) presentados en la Figura 1, sugieren que tasas de 2 a 10 mg CO_2/hora/g tejido son típicas de este cultivo.

Es fácil ver la necesidad de considerar un componente de respiración para crecimiento cuando uno recuerda que para cualquier proceso de síntesis en base a carbohidratos, hay una pérdida de energía normalmente asociada con la liberación de CO_2. La cantidad de respiración dependerá del compuesto que está siendo sintetizado por la planta. Los valores estimados por ecuaciones de biosíntesis para varias clases de compuestos son:

Celulosa y almidones	0.86 g producido/g CH_2O utilizado
Aceites	.36
Lignina	.46
Proteína	.47

Para varios órganos del frijol, estos gastos pueden ser totalizados según su composición química.

Hoja	0.67 g/g CH_2O
Tallo	.76
Raíz	.78
Vaina	.66

Se supone que estos gastos no son afectados ni por el genotipo ni por el ambiente aparte de la variación debida a cambios en la composición de los órganos.

Un punto esencial que debe tomarse en cuenta acerca de este componente de respiración, es que cuesta más producir semillas de frijol, con un contenido de 22% de proteína, que producir granos de arroz o de trigo que tienen sólo un 12%. Esto nos permite comprender que, aún suponiendo que las otras variables sean muy parecidas (duración del cultivo, capacidades fotosintéticas, efectos de plagas y enfermedades...), el frijol nunca rendirá igual que el trigo, pero en cambio debe rendir un poco más que la soya, la cual produce semillas con niveles más altos de proteína y aceite.

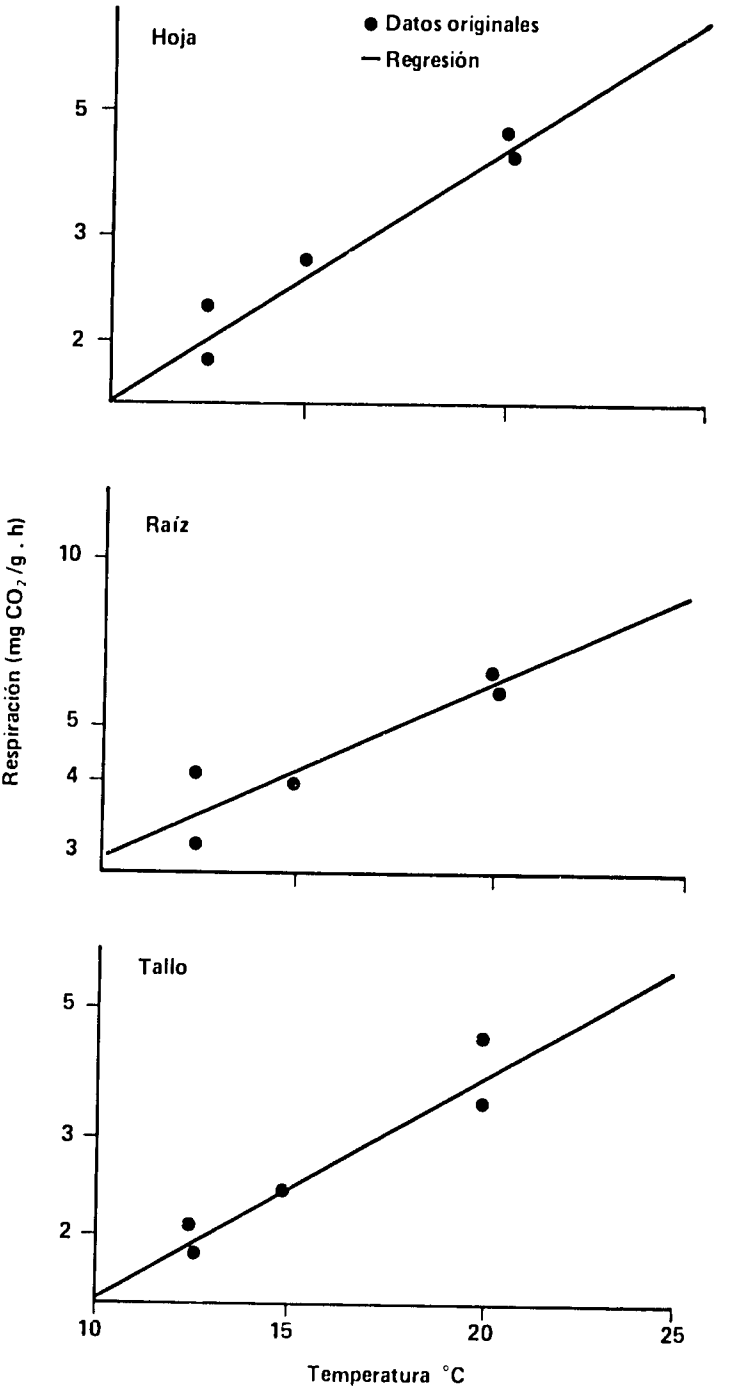


Figura 1. Tasa de respiración de tres clases de tejidos, en relación de temperatura.

Distribución de materia seca

Hasta ahora la planta de frijol ha sido considerada como una "caja negra" que produce materia seca en un ambiente ideal. Para completar el esquema también es necesario considerar la distribución de materia seca entre las diferentes partes de la planta. El modelo más difundido de distribución de carbohidratos y minerales funciona en base a cuatro reglas:

1. Las diferentes partes de la planta compiten por recursos que casi siempre están en cantidades limitantes.

2. Diferentes órganos tienden a competir por estos recursos según ciertas prioridades. Los tejidos reproductivos (flores y vainas) tienen prioridad máxima; les siguen las hojas y raíces, y finalmente, los tallos. El proceso de fijación de nitrógeno que se da en determinadas circunstancias, requiere bastante energía y tiene la misma prioridad que las raíces.

3. Las prioridades también dependen de los pesos relativos de los tejidos. Si un cultivo tiene un desarrollo foliar demasiado abundante, éste puede provocar una demanda suficientemente alta como para inhibir el crecimiento reproductivo.

4. Bajo condiciones de demanda muy alta, puede ocurrir remoción de nutrientes de un órgano hacia otro. Un ejemplo común es la remoción de carbohidratos de tallos hacia vainas.

Desgraciadamente, estas hipótesis múltiples no son fáciles de probar, y las técnicas para describir la dinámica de distribución de materia seca tienden a ser muy cuantitativas y difíciles de aplicar en trabajos rutinarios. Sin embargo, hay algunas medidas sencillas que tienen utilidad en el sentido del cultivo del frijol.

Indice de cosecha: Quizás la medida más familiar de distribución de materia seca sea el índice de cosecha, que es simplemente la proporción del peso seco de una planta madura que corresponde a su rendimiento.

$$I.C = \frac{\text{Rendimiento}}{\text{Peso seco total}}$$

Los valores para el frijol normalmente están en un rango de 0.5 a 0.6. Indices bajos pueden indicar mala adaptación que resulta en pobre formación de vainas en relación al desarrollo vegetativo del cultivo. En cultivos con buena adaptación y desarrollo, la correlación entre el I.C. y el rendimiento puede ser significativa, pero generalmente es menor que la correlación entre rendimiento y peso seco total (1).

Componentes de rendimiento: Otra clase de parámetros usados para describir distribución de peso seco son los componentes de rendimiento. Estos pueden ser definidos en varias formas, pero todas se basan en series de factores que multiplicados en conjunto equivalen al rendimiento. El siguiente es un ejemplo:

Peso de una semilla x
Semillas/vaina x
Vainas/nudo x
Nudos/m2 = Rendimiento

Muchos estudios en frijol y en otros cultivos han intentado determinar si es posible seleccionar un solo componente para aumentar el rendimiento, pero generalmente han fracasado debido al fenómeno de compensación de componentes: al aumentar un componente, los demás son reducidos. Por ejemplo, un aumento en Vainas/Nudo provocaría reducciones en Semillas/Vainas y Peso de Semillas. Esto también se detecta comparando diferentes líneas donde la variación en componentes frecuentemente muestra que existe una relación muy estrecha entre ellos (Fig. 2).

Efectos del ambiente

Para entender mejor la relación entre los procesos básicos descritos en un mundo hipotético donde todo es "óptimo", es necesario ver cómo los factores ambientales puden afectar el crecimiento de un cultivo de frijol.

Temperatura

La planta de frijol crece bien entre temperaturas promedio de 15 a 27°C (Fig. 3), pero es importante reconocer que hay un gran rango de tolerancia entre variedades diferentes. En términos generales, bajas temperaturas retardan el crecimiento, mientras que altas temperaturas causan una aceleración (Fig. 4). Pero vale notar que los extremos pueden producir problemas adicionales - falta de floración o problemas de esterilidad. Una planta es capaz de soportar temperaturas extremas (5°C ó 40°C) por cortos períodos, pero si es mantenida a tales extremos por un tiempo prolongado, ocurren daños irreversibles.

Casi cualquier proceso de crecimiento está influenciado por la temperatura debido a la sensibilidad de las reacciones bioquímicas a este factor. Se supone que los danos permanentes causados por extremos se deben a la disociación de proteínas enzimáticas y membranas celulares. La variación genética que exista para tolerancia a extremos de temperatura depende entonces de variaciones en las proteínas y membranas que las hacen más estables y eficientes para un rango definido de temperatura.

Luz

Obviamente el papel principal de la luz está en la fotosíntesis. Pero la luz también afecta la fenología y morfología de una planta por medio de reacciones de fotoperíodo y elongación (etiolación), y a intensidades altas puede afectar la temperatura de la planta.

La radiación que viene del sol tiene ondas de 290 mm (1 mm = 10-9 m) hasta 3000 mm de largo, pero los pigmentos de clorofila solamente captan ondas de 380 mm a 740 mm --- lo cual corresponde solamente al 50% de la energía total que recibe la planta. La eficiencia máxima de conversión de esta energía a energía química es aproximadamente 12%, pero aún en un cultivo sin limitaciones de agua ni de nutrientes, la eficiencia puede ser reducida una cantidad adicional debido a la reducción en intensidad de la luz dentro del follaje del cultivo: las hojas superiores tienden a recibir mas luz de la que pueden utilizar, mientras que adentro las hojas inferiores están bajo sombra. Para un cultivo con hojas pequeñas distribuídas al azar, la intensidad de la luz declina en una forma exponencial:

$$I = Io \times e^{-K \times L \times 0.86}$$

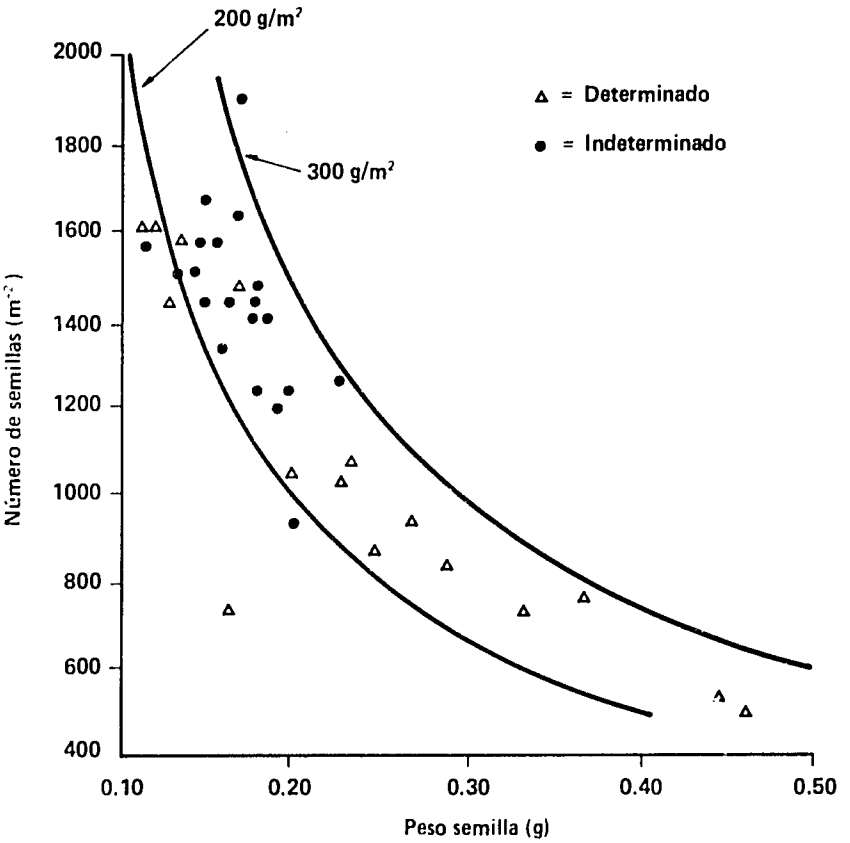


Figura 2. Compensación entre componentes de rendimiento. 38 líneas. Las curvas representan niveles de rendimiento constante.

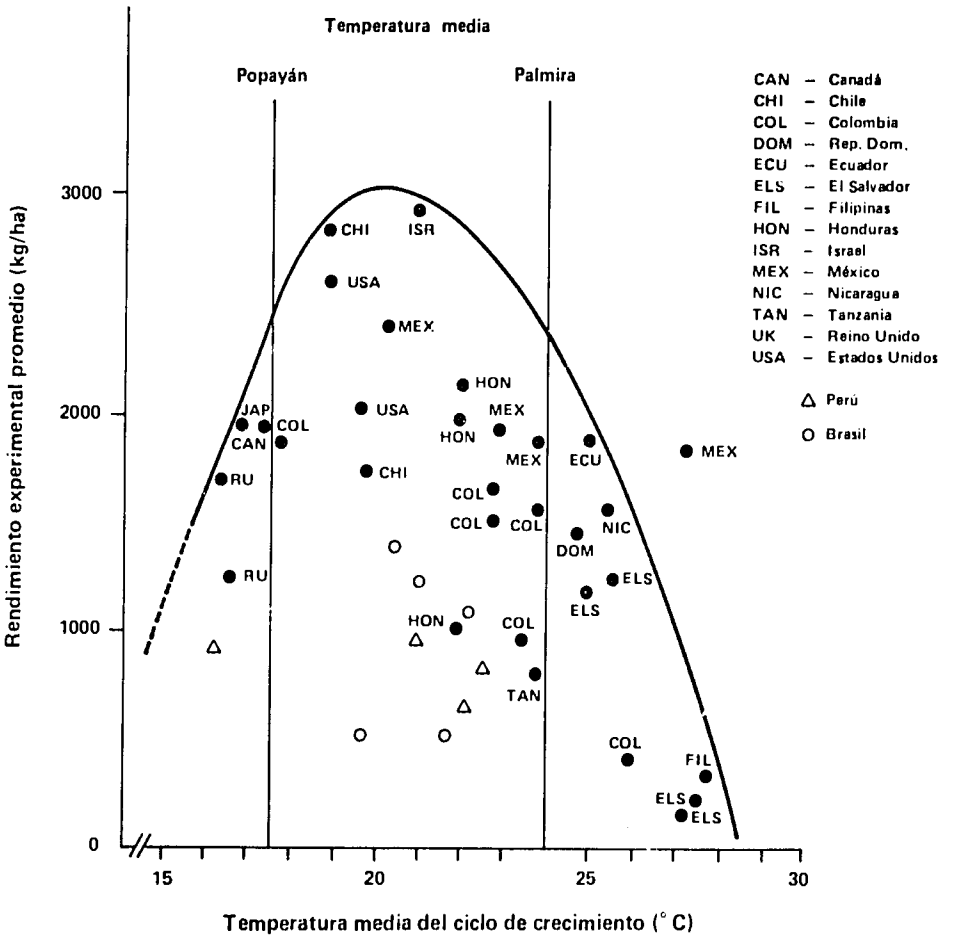


Figura 3. Rendimiento promedio de 20 accesiones comunes, en el IBYAN de 1976, versus la temperatura media del ciclo de crecimiento para cada una de las 41 localidades de las cuales se dispone de datos sobre temperatura. Los datos para Brasil y Perú se identifican separadamente. Chile e Israel presentan los niveles de rendimiento más altos. Los otros países se identifican por sus tres primeras letras.

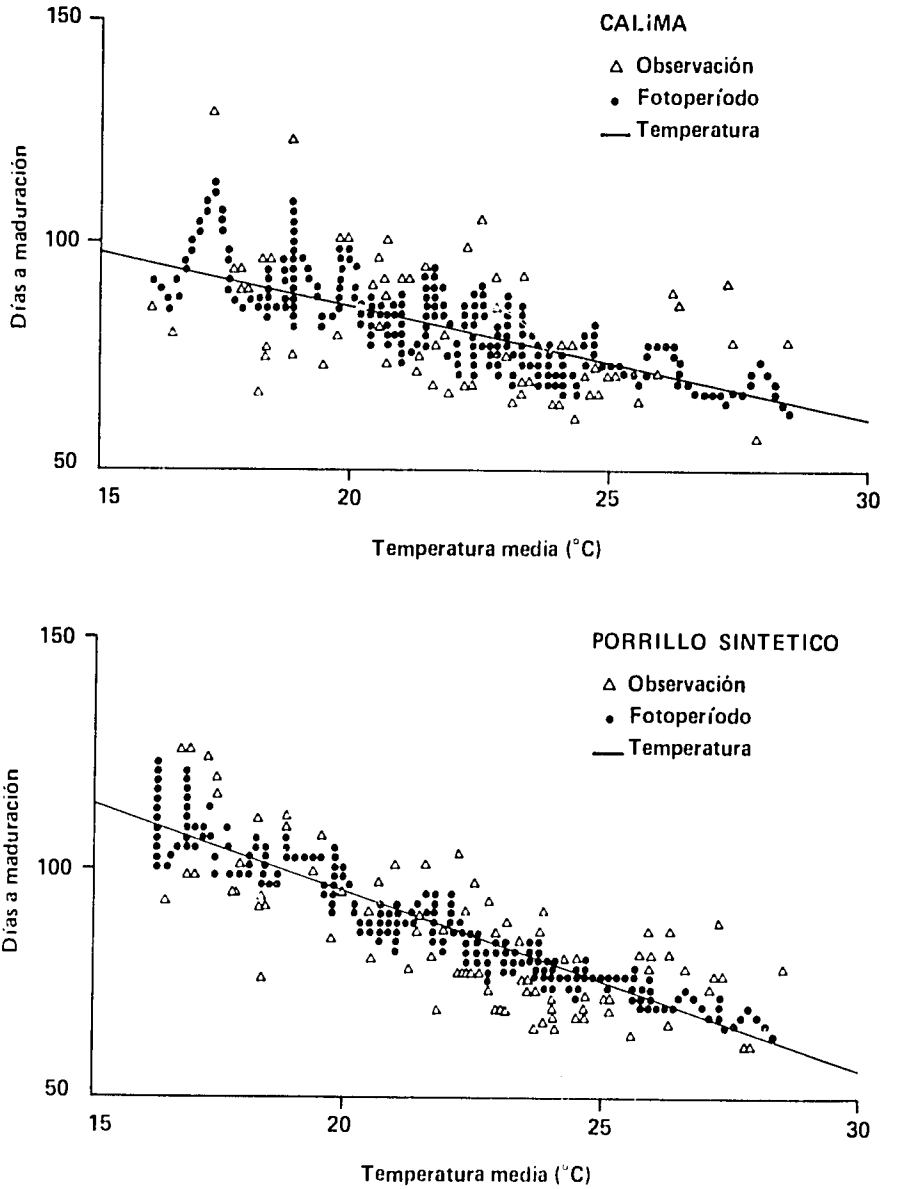


Figura 4. Relación entre temperatura media y días a maduración. El modelo de temperatura indica el efecto predominante de temperatura en determinar tiempo a madurez. El modelo de fotoperíodo indica efectos combinados de fotoperíodo y temperatura.

donde I es la intensidad después de que la luz ha penetrado en un área L de hojas, Io es la intensidad de luz por encima de la copa, y K es una constante característica de la estructura de la copa. En el caso del frijol, esta relación tiende a ser teórica porque la orientación de las hojas es regulada por la movilidad de los folíolos, y porque la estructura de la copa puede ser no-randomizada debido a factores como cultivos asociados, baja densidad de plantas y volcamiento.

La luz también juega un papel muy importante en la regulación del desarrollo de la planta, principalmente por medio de efectos de fotoperíodo. Esta reacción es muy importante para trabajos de adaptación de nuevas líneas, y puede causar cambios dramáticos en el patrón de crecimiento.

Siendo el frijol una especie de días cortos, días largos tienden a causar demoras en floración y madurez. Hay mucha variabilidad genética para sensibilidad a fotoperíodo, pero en términos generales se puede decir que cada hora más de luz en el día puede retardar la maduración de 2 a 6 días.

Se especula que el mismo sistema de pigmentos que controla respuesta a fotoperíodo regula la elongación de tallos bajo condiciones de sombra o iluminación, usando luz con un fuerte componente de rojo (tal como la luz de un foco o bombilla incandescence).

Agua

El agua es tan importante para el crecimiento de cualquier planta, que no sorprende que el crecimiento y rendimiento final de un cultivo de frijol dependan mucho de la disponibilidad de agua. Dentro de los papeles principales del agua se incluyen su uso como reactivo de fotosíntesis, elemento estructural, medio de transporte y regulador de temperatura. Desgraciadamente, se estima que más del 60% de los cultivos de frijol en el tercer mundo sufren de falta de agua, es decir, sequía.

Bajo condiciones locales en el CIAT-Palmira, hay líneas que muestran buena tolerancia dando rendimientos muy aceptables aún cuando no se aplique agua pasados 14 días después de la siembra (Cuadro 1). Sin embargo, esta "tolerancia" parece estar basada principalmente en la mayor capacidad de extracción de agua de capas profundas del suelo (80-130 cm) a la vez debida a mayor crecimiento radicular (Fig.5a) y asociado con diferencias marcadas en temperatura de hojas y resistencia estomatal.

En suelos que no permitan un desarrollo radicular muy profundo, como es el caso de los suelos ácidos del CIAT-Quilichao, este mecanismo no funciona (Fig. 5b). Otros mecanismos que pueden influir en la tolerancia a sequía incluyen capacidad de orientación de las hojas, ajustes osmóticos y características que reducen la pérdida de agua como área foliar reducida y baja densidad de estomas.

Vale anotar que la planta de frijol tampoco tolera excesos de agua. Cuando las raíces están en un ambiente completamente saturado con agua, el oxígeno llega a ser un factor limitante y el funcionamiento de las raíces sufre notablemente.

Cuadro 1. Rendimiento de parcelas bajo sequía (kg/ha) de 4 ensayos internacionales de sequía (BIDYT).

Línea	Hab.	Color Sem.	Peso 100 sem.	localidad				Prom. Ajust.
				Palm.	Quil.	Pop.	Chic.	
V 8025	4	black	21	1790	1600	1340	704	1568
BAT 477	3	cream	24	1870	1270	1190	915	1532
BAT 1289	3	red	21	1970	1720	990	742	1456
G 4523	1	red m	40	1570	1230	1280	452	1325
G 4830	2	black	19	1780	1820	690	631	1245
A 195	1	cream	52	1650	1240	1090	488	1258
BAT 1393	1	cream	36	1580	1590	710	680	1201
BAT 336	2	cream	21	1890	1540	600	694	1190
G 5201	2	black	18	1510	1500	730	688	1187
BAT 85	2	cream	22	1960	1360	650	605	1154
BAT 1298	3	pink	21	1730	1260	620	585	1075
BAT 868	2	brown	25	1470	1300	460	716	1017
G 4454	2	black	21	1740	1070	680	425	1003
A 97	2	cream	23	1460	1500	370	596	956
A 59	2	brown	27	1710	860	320	648	871
BAT 798	3	black	23	1770	1190	0	812	849
San Crist. 83	3	pink	26	2150	1080	0	705	842
G 5059	2	cream	23	1180	2000	0	502	777
G 4446	3	brown	28	1830	1240	0	544	753
BAT 125	2	cream	23	1550	1340	30	561	751
A 170	2	cream	20	2000	1290	0	444	746
A 54	2	cream	19	1510	1670	0	430	735
EMP 105	2	red	20	1660	1040	0	561	696
Testigo Local 1				1660	1760	690	783	
Testigo Local 2				1570	1640	530	505	
Promedio				1700	1403	519	617	1060
E.E.				267	316	372	286	

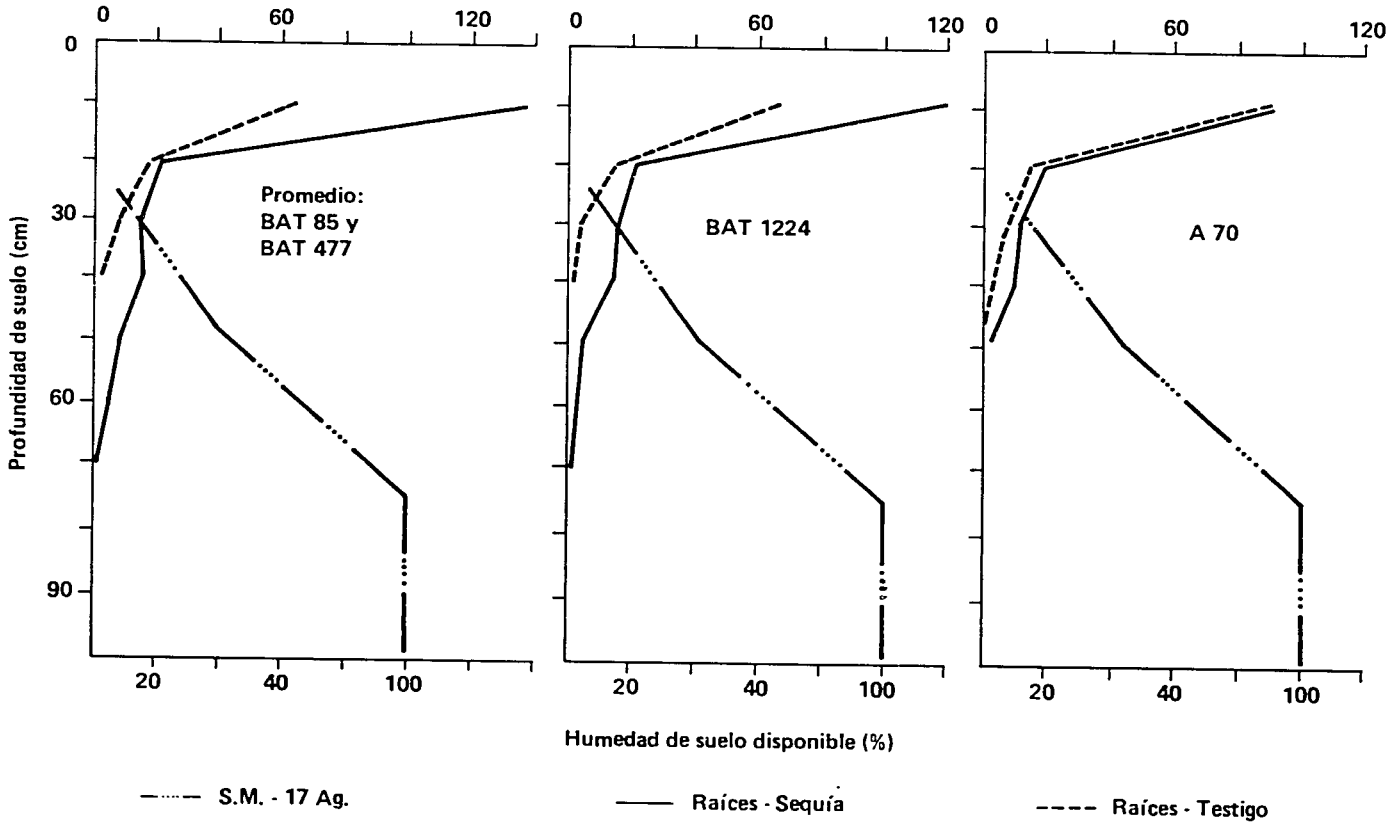


Figura 5a. Relación entre crecimiento radicular y disponibilidad de agua para dos líneas tolerantes a sequía (BAT 85 y BAT 477) y dos susceptibles (BAT 1224 y A 70). Palmira.

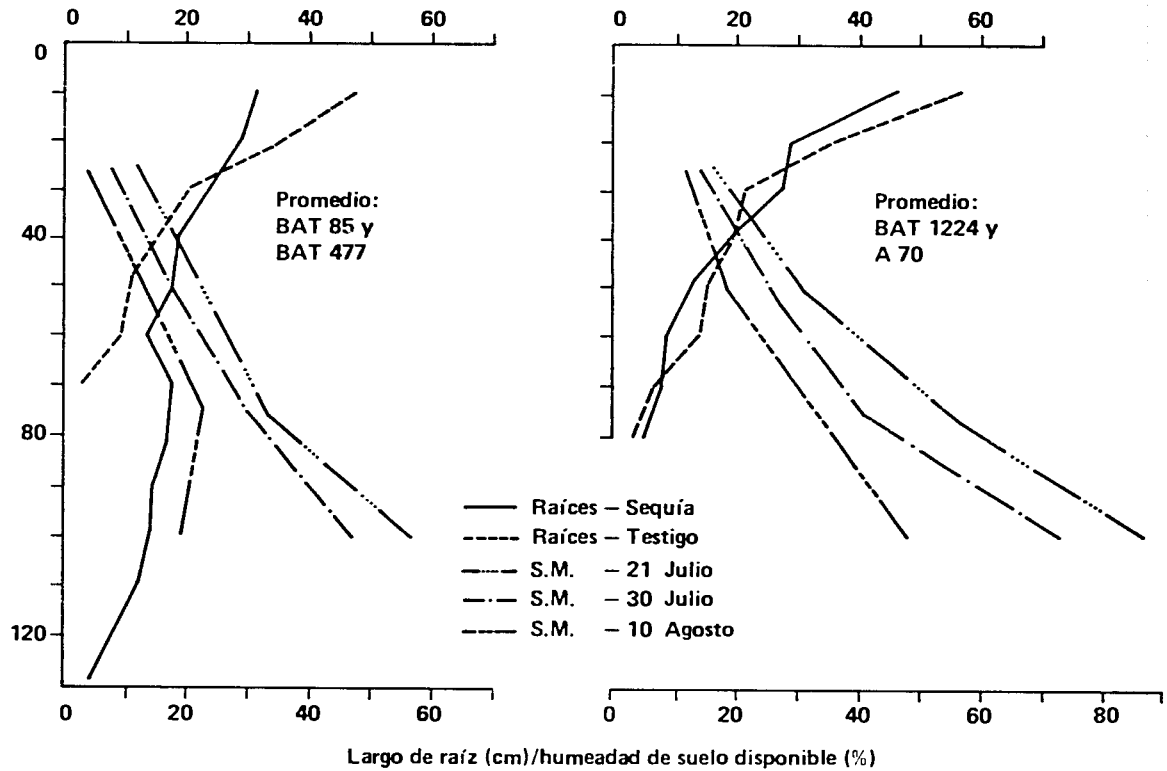


Figura 5b. Relación entre crecimiento radicular y disponibilidad de agua para dos líneas tolerantes a sequía (BAT 85 y BAT 477) y dos susceptibles (BAT 1224 y A 70). Quilichao.

Síntesis final

Para resumir este discurso demasiado breve es conveniente volver a nuestro objetivo principal --- mayor rendimiento en frijol--- y preguntarnos qué factores o procesos parecen determinar el rendimiento del cultivo. Si excluimos complicaciones debido a plagas, enfermedades y otros factores de "stress", la variable más relacionada con rendimiento es sin ninguna duda el tiempo para alcanzar madurez fisiológica, o sea, la duración del cultivo (Cuadro 2). Además, el tiempo a madurez está fuertemente ligado a medidas de crecimiento tales como biomasa (peso seco a madurez) y la duración del área foliar. Esto sugiere que para una variedad con buena adaptación, el crecimiento total --- no importa cómo se mida --- es lo que determina rendimiento. En contraste, la medida más sencilla de distribución --- el índice de cosecha tiene una relación muy pobre con rendimiento. De igual manera, la variación de la eficiencia en rendimiento medida como rendimiento por día, es mínima. Estas conclusiones se pueden extender a otras especies de leguminosas y entonces se explica porqué, bajo buenas condiciones, el frijol rinde a niveles muy competitivos con otros cultivos de semillas parecidas.

Si nos preguntamos qué pasa en el mundo real donde hay plagas, deficiencias de nutrientes y otros desafíos para el frijol, hay que reconocer que estas conclusiones pueden cambiar dramáticamente. Altas temperaturas pueden provocar una alta tasa de aborto de flores, dando como resultado que materiales malos tienen un índice de cosecha muy bajo.

Las variedades tardías pueden volverse inútiles bajo fuerte sequía porque no hay suficiente agua para alcanzar su potencial de crecimiento. Sin embargo, los patrones que se presentan casi siempre pueden ser explicados considerando el balance entre los procesos de crecimiento y los de distribución de carbohidratos y nutrientes.

B- DATOS FISIOLOGICOS

En muchos estudios es útil analizar la respuesta del cultivo mediante datos fisiológicos. Intentaremos aquí definir los de mayor utilidad e indicar algunas recomendaciones sobre la manera de colectarlos y analizarlos.

Análisis de crecimiento

El crecimiento del cultivo de frijol puede ser recopilado mediante datos de peso seco, número de nudos y ramas, largos de tallo y área foliar. Estos datos necesariamente representan un resumen de los procesos descritos anteriormente y por eso tienden a esconder el efecto de procesos individuales; a pesar de esto, siguen siendo muy útiles para un gran rango de estudios sobre el frijol.

El muestreo

El tamaño de muestra puede variar desde 5 plantas hasta 1 m2 ó más según el número de muestras que se desee tomar, la técnica de análisis estadístico y los fines del estudio. La frecuencia de muestreo puede variar desde cada 2 ó 3 días hasta solamente 4 ó 5 veces durante todo el ciclo del cultivo. Normalmente se cortan las plantas a nivel del suelo y solamente se incluyen raíces en estudios donde se emplean técnicas

Cuadro 2. Correlaciones con rendimiento para índice de cosecha, biomasa y días a madurez fisiológica.

Ensayo	Indice de cosecha	Biomasa	Días a madurez	Duración de área fol.
10 líneas, Tipos I y II	.51	.94 **	.75 **	.88 **
38 líneas, Tipos I, II y III	.46 **	.87 **	.41 **	.42 **
Porrillo Sintético 12 experimentos	.28	.96 **	.85 **	.87 **
9 especies de leguminosas	.50	.91 **	.86 **	.93 **

** Altamente significativo

especiales para sacar muestras representativas de las raíces. El patrón de muestreo y el área de borde de plantas usada dependerán de varios factores. Siempre será muy deseable que la toma de muestras se haga de una manera randomizada y que se deje un borde de un mínimo de 0.5 m entre muestras de materiales arbustivos y 1.0 m para materiales trepadores.

Análisis de la muestra

Un sistema típico para analizar una muestra consiste en, primero, defoliar y guardar solamente las hojas verdes para determinación de área foliar. Luego se separan las ramas del tallo principal de cada planta para facilitar el conteo de ramas y nudos, y se mide el largo del tallo principal. Si hay flores ó vainas, éstas también se separan. Al final se colocan las diferentes partes de la muestra en bolsas de papel, y se ponen a secar en un horno ventilado a 60 ó 70°C por un mínimo de 48 horas.

Determinación del área foliar

Existen diversos métodos para determinar el área foliar. Sin duda el más conveniente, pero también el más costoso al principio, consiste en utilizar una máquina que mide el área por medio de un sistema óptico. Una alternativa es dibujar el contorno de las hojas, recortar los dibujos, pesar el papel, y calcular una relación entre el peso de los papeles y sus áreas. En vez de dibujar, se pueden usar copias de hojas hechas con un fotocopiador.

También se puede determinar el área foliar usando una escala en base a dibujos de hojas con áreas conocidas. Alternativamente se puede calcular una relación entre área y medidas de ancho y largo de varios folíolos (Area = X + Y x Ancho x Largo). Todos estos métodos requieren mucha labor, siendo casi obligatorio que se determine el área de una submuestra antes de estimar el área total de las hojas por relación con pesos secos de las muestras.

Análisis de los datos

El primer paso consiste en convertir los datos a valores para un metro cuadrado (m2) de cultivo. Después hay que escoger entre un análisis de cálculos sencillos que permitan la determinación de unas pocas características y un análisis de regresión, el cual permitirá definir muchos parámetros a la vez, pero requiere el uso de una calculadora muy buena o de microcomputador.

Si uno escoge el análisis sencillo, los datos más fáciles de estimar son:

1. Indice de Area Foliar (IAF) = Area Foliar / Area de muestra
   Normalmente no tiene unidades porque las unidades de área se cancelan.

2. Duración de Area Foliar (DAF) = Suma de IAF durante todo el ciclo del cultivo. Se puede estimar usando el área bajo la curva de una gráfica de IAF vs tiempo.

3. Tasa de Crecimiento del Cultivo (TCC) = Tasa de cambio en peso seco del cultivo, normalmente expresada como g/día/m2. Una aproximación para TCC es:

$$TCC = \frac{P2 - P1}{T2 - T1}$$

donde los índices suscritos indican dos fechas de muestreo.

Los análisis que usan técnicas de regresión son demasiado complicados como para describirlos aquí, pero hay varios textos que explican los cálculos requeridos.

Datos auxiliares

Aunque no forman parte de los datos clásicos de análisis de crecimiento, hay otros datos sencillos que también tienen utilidad para describir el crecimiento de un cultivo. Estos incluyen:

1. Altura de copa: Medida desde el nivel del suelo hasta la altura promedio de la copa (o sea, la altura máxima ignorando variaciones debido a guías y otras irregularidades).

2. Cobertura de copa: El porcentaje del terreno cubierto por el cultivo.

3. Número de nudos en el tallo principal y en las ramas, número de ramas.

4. Número de flores abiertas, número de vainas (normalmente se cuentan las vainas mayores de 2.5 cm de largo).

5. Largo del tallo principal, largo de entrenudos individuales ó conjuntos de entrenudos (p.e. del primero hasta el quinto).

Rendimiento

El gran número de estudios casi inútiles debido a datos de rendimiento mal tomados justifica unos comentarios acerca de la determinación del rendimiento. Bajo condiciones ideales se recomienda usar parcelas de 10 m2 con bordes de 1 m de plantas a las cabezas de los surcos y dejando un surco de la variedad a cada lado. Para trepadores se prefiere un borde de 2 m a la cabeza y un surco a cada lado. Desgraciadamente es muy común encontrar que los recursos no permiten parcelas tan lujosas, por lo que se puede reducir el tamaño de la muestra si el sacrificio en precisión no es demasiado para los fines del estudio. Reducir los bordes es otra alternativa, pero puede resultar en rendimiento con distorsiones importantes. Al incluir bordes de cabecera se puede aumentar el rendimiento, pero el impacto de incluir bordes laterales hace que el rendimiento varíe en relación a la competencia proveniente de las variedades o tratamientos vecinos.

Al tomar la muestra de rendimiento siempre es aconsejable contar las plantas cosechadas. Después de desgranar, se limpia la semilla y se determina un peso preliminar (P1). Luego se estima la humedad de la semilla (H) y se corrige el peso para llegar a un rendimiento en base a 14% de humedad:

$$R = P1 \times \frac{100 - H}{86}$$

En parcelas grandes el rendimiento total se puede expresar por unidad de área. En parcelas chicas sin bordes muchas veces es preferible expresar los datos como rendimientos por parcela para evitar extrapolaciones ridículas a producción por hectárea. Se recomienda evitar cualquier intento de corregir datos por plantas faltantes o el uso de figuras de rendimiento por planta, salvo en aquellas situaciones donde los efectos de competencia entre plantas estén completamente controlados.

Componentes de rendimiento

La manera de determinar componentes de rendimiento depende de si los análisis incluirán comparaciones entre diferentes clases de componentes (p.e. análisis de correlación). En caso de que sea así, cada componente debe ser determinado independientemente de los demás. Se puede tomar una muestra de 1 m² para estimar número de nudos y vainas/nudo. En otra muestra se colectan 50 vainas para calcular semillas/vaina. El peso por semilla se puede calcular usando semillas de la muestra de rendimiento. La muestra usada para el conteo de nudos también puede ser separada en semillas y partes vegetativas para luego secar y estimar biomasa e índice de cosecha.

Si uno revisa la literatura es fácil encontrar estudios donde los componentes han sido calculados a partir de una sola muestra. Esta práctica resulta en la violación de la asunción de independencia de datos, la cual es base del análisis de regresión o de correlación, de modo que no es recomendable y en años recientes ha dejado de ser aceptable para muchas revistas científicas.

Datos ambientales

Sería interesante encontrar una caja negra para grabar todos los datos ambientales que podrían servir en el manejo de un cultivo, pero hasta ahora no existe tal instrumento y las aproximaciones cuestan de $3000 a $5000 US por unidad, por lo que el científico tiene que escoger otras posibilidades más sencillas. Las que generalmente se consideran más elementales son:

Temperaturas máxima y mínima diarias

Existen termómetros sencillos que dan lecturas máximas y mínimas. Tales datos sirven para calcular temperatura promedio y también pueden ser utilizados para estimar temperaturas durante el transcurso del día. Se recomienda que el termometro sea puesto en una caja o gabinete pintado de blanco, techado y bien ventilado, a una altura de 1 m.

Precipitación

Los modelos de pluviómetros varían desde una taza de plástico hasta instrumentos que registran cantidades de lluvia por períodos de tiempo determinados. Se puede construir un instrumento bien funcional con un embudo y un tubo o frasco. El uso del embudo amplifica las diferencias en volumen de agua facilitando lecturas precisas (con ajustes para las diferencias en área de la boca del embudo y del tubo). Los pluviómetros deben ser colocados con la boca bien nivelada y a una altura de 1 m. Ningún objeto alrededor (poste, árbol, edificio, etc.) debe ser más alto que un ángulo de 45° centrado con el pluviómetro.

Conclusión

Uno no debe pensar que para hacer un buen ensayo hay que tomar la mayor cantidad de datos posible. Una buena medida para evaluar la calidad de un trabajo es estimar si llega a conclusiones concretas con el mínimo de complicaciones. Y una buena manera de evitar tales complicaciones es pensar bien qué datos servirán para lograr el objetivo del trabajo.

ETAPAS DE DESARROLLO EN LA PLANTA DE FRIJOL

Fernando Fernández
Paul Gepts
Marceliano López

Introducción

Hasta el momento se conocen con bastante aproximación los factores climáticos edáficos y bióticos que afectan a la planta de frijol pero no así su morfología. Tal situación ha sido la principal causa para utilizar una escala de tiempo (DDS, días después de la siembra) y referir a ella, entre otras, las observaciones y prácticas que se llevan a cabo en el cultivo. Al respecto es necesario aclarar que el ciclo biológico del frijol cambia según el genotipo y los factores del clima y, por ende, plantas de un mismo genotipo sembradas en condiciones climáticas diferentes (ej., 17 y 25 C) no pueden estar en el mismo estado de desarrollo 40 DDS. Por lo tanto, sin desconocer la utilidad que tiene la escala de tiempo, cada vez cobra mayor importancia el uso de una escala basada en la morfología de la planta y en los cambios fisiológicos que se suceden durante su desarrollo. Esta escala permite referir las observaciones y prácticas de manejo, a etapas del desarrollo fisiológico; por lo tanto esta información ofrecerá mayor consistencia al compararla con datos de la literatura procedente de sitios diferentes.

Conceptos generales

Durante el desarrollo de la planta se presentan cambios morfológicos y fisiológicos que sirven de base para identificar las etapas de la escala de desarrollo del cultivo. Por ello, es importante dejar claros algunos conceptos, antes de entrar a definir las etapas de desarrollo de la planta de frijol.

Crecimiento

Generalmente, se entiende por crecimiento al cambio en volumen o en peso. Es un fenómeno cuantitativo que puede ser medido con base en algunos parámetros tales como anchura, longitud, acumulación de materia seca, número de nudos, índice de área foliar, etc.

Desarrollo

El desarrollo es cualitativo; se refiere a procesos de diferenciación o cambios estructurales y fisiológicos conformados por una serie de fenómenos o eventos sucesivos. Por ejemplo, el evento de la aparición de botones florales o racimos, marca el cambio de la fase vegetativa a la fase reproductiva de la planta.

Características generales del desarrollo de la planta de frijol

El ciclo biológico de la planta de frijol se divide en dos fases sucesivas: la fase vegetativa y la fase reproductiva.

1. Fase vegetativa

   La fase vegetativa se inicia cuando se le brinda a la semilla las condiciones para iniciar la germinación y termina cuando aparecen los

primeros botones florales en las variedades de hábito de crecimiento determinado, o los primeros racimos en las variedades de hábito de crecimiento indeterminado. En esta fase se desarrolla la estructura vegetativa necesaria para iniciar la actividad reproductiva de la planta (Fig. 1). En la fase vegetativa el desarrollo de los meristemas terminales del tallo y de las ramas produce nudos en los cuales se forman complejos axilares susceptibles de un desarrollo posterior.

2. Fase reproductiva

Esta fase se encuentra comprendida entre el momento de la aparición de los botones florales ó los racimos y la madurez de cosecha. En las plantas de hábito de crecimiento indeterminado continúa la aparición de estructuras vegetativas cuando termina la denominada fase vegetativa, lo cual hace posible que una planta esté produciendo simultáneamente hojas, ramas, tallo, flores y vainas.

Etapas de desarrollo

En el desarrollo de la planta de frijol se han identificado 10 etapas, las cuales están delimitadas por eventos fisiológicos importantes (Fig. 1). El conjunto de estas diez etapas forma la ESCALA DE DESARRROLLO DE LA PLANTA DE FRIJOL. Cada etapa comienza en un evento del desarrollo de la planta con cuyo nombre se le identifica y termina donde se inicia la siguiente etapa y así sucesivamente.

La identificación de cada etapa se hace con base en un código que consta de una letra y un número. La letra corresponde a la inicial de la fase a la cual pertenece la etapa; es decir, V si la etapa pertenece a la fase vegetativa o R si pertenece a la reproductiva. El número del 0 al 9 indica la posición de la etapa en la escala (Fig. 1).

1. Factores que influyen en la duración de las etapas

Los factores más importantes que afectan la duración de las etapas de desarrollo del frijol incluyen el genotipo (cuyas características, hábito de crecimiento y precocidad pueden variar), y el clima. Existen otros factores tales como las condiciones de fertilidad, las características físicas del suelo, la sequía y la luminosidad, entre otros, que causan variación en la duración de las etapas.

Habito de crecimiento: Las plantas de frijol pueden ser de hábito de crecimiento determinado o indeterminado, lo cual está definido fundamentalmente por las características de la parte terminal del tallo y de las ramas. Si al empezar la fase reproductiva el tallo y las ramas terminan en un racimo, la planta es de hábito determinado y si terminan en un meristema vegetativo, la planta es de hábito indeterminado.

En el CIAT se han definido cuatro tipos de hábito de crecimiento con base en las características de la parte terminal del tallo, el número de nudos, la longitud de los entrenudos y la aptitud para trepar: Tipo I, determinado arbustivo; Tipo II, indeterminado arbustivo; Tipo III, indeterminado postrado; y Tipo IV, indeterminado trepador.

En la Figura 2 se presenta un ejemplo que ilustra las variaciones en la duración de las etapas del desarrollo y, por consiguiente, del

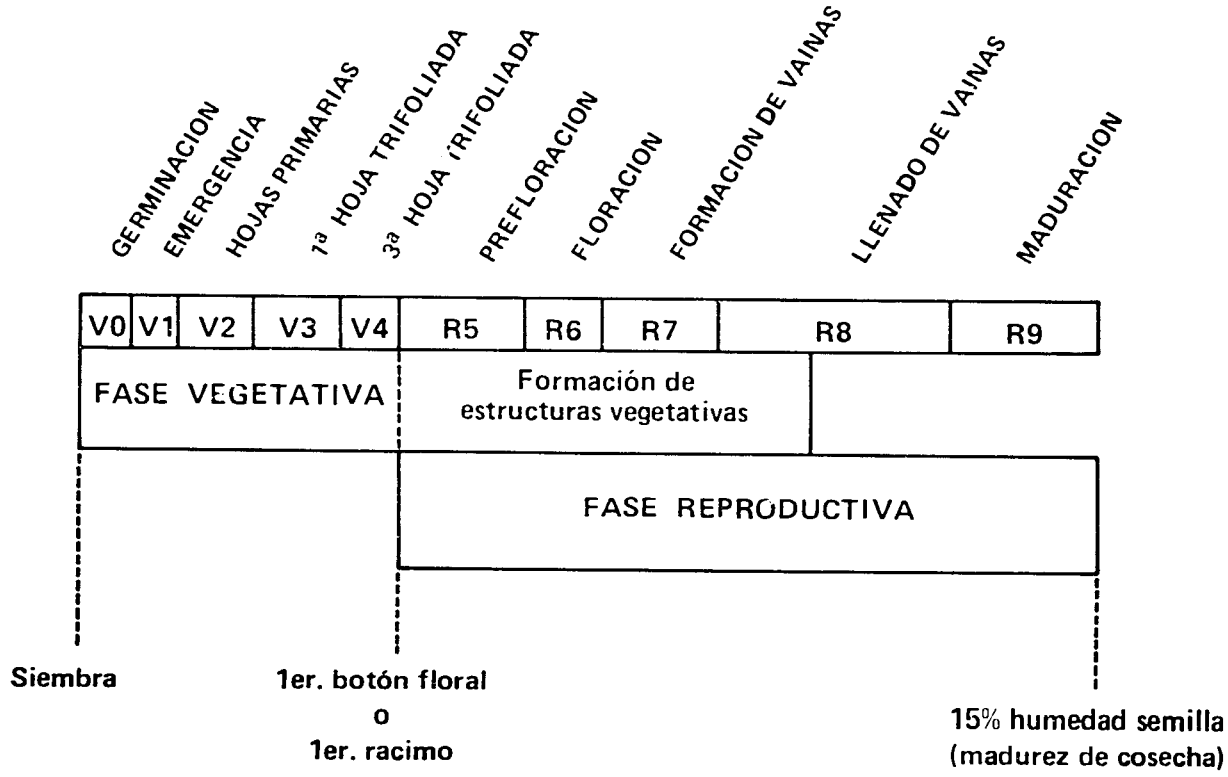


Figura 1. Etapas de desarrollo de una planta de frijol (variedad Porrillo Sintético, hábito II, en condiciones de Palmira, Colombia).

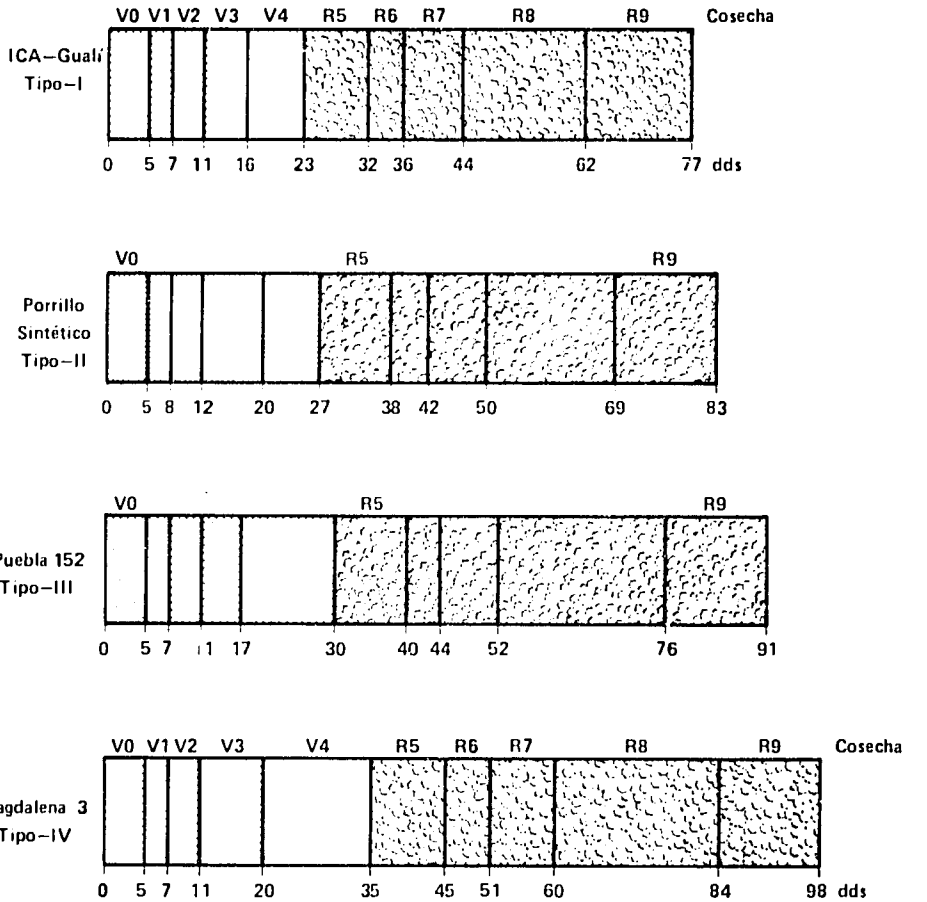


Figura 2. Días después de la siembra para las etapas de desarrollo en cuatro variedades de frijol de los distintos tipos de hábito de crecimiento bajo las condiciones del CIAT-Palmira (24° C).

ciclo vegetativo de variedades de los diferentes tipos de hábitos de crecimiento, en las condiciones del CIAT.

Precocidad: La precocidad es otro factor que influye en la duración de las etapas de desarrollo, ya que es causa de diferencias importantes en el desarrollo de las plantas, aún en las pertenecientes a un mismo tipo de hábito de crecimiento; por ejemplo, en el Cuadro 1 se observan las diferencias en el número de días a la iniciación de la floración de cuatro variedades de un mismo hábito de crecimiento.

Cuadro 1. Número de días hasta la iniciación de la floración en cuatro variedades de hábito de crecimiento Tipo I en condiciones de CIAT - Palmira (temperatura media de 24 C).

Variedad	Días a iniciación de la floración (R6)
ICA - Guali	30
Pompadour	31
Bayomex	35
Turrialba 4N	40

Clima: Los factores climáticos que más inciden en la duración de las etapas de desarrollo son la luz y la temperatura; tanto los promedios de estos factores como las variaciones diarias y estacionales de la temperatura desempeñan una función importante en la duración de las etapas del desarrollo. El Cuadro 2 presenta un ejemplo del efecto de la temperatura anual promedio en el número de días de germinación hasta la iniciación de la floración (Etapa R6).

Cuadro 2. Promedio de días de germinación hasta la iniciación de la floración (R6) de 20 variedades en diferentes condiciones de temperatura.

Sitio	Temperatura anual promedio	Días a iniciación de la floración (R6)
CIAT - Palmira	24°C	49
CIAT - Popayán	19°C	55
ICA - La Selva	17°C	66
ICA - Obonuco	13°C	99

Descripción de las etapas de desarrollo

Debido a la variabilidad en la duración de las etapas de desarrollo de la planta como consecuencia de las variaciones de los factores mencionados, el CIAT ha definido y delimitado las etapas de desarrollo de la planta con base en las características morfológicas de la planta.

A continuación se describe cada una de las etapas de la escala. La escala puede ser usada en todos los tipos de hábito de crecimiento y con todos los genotipos encontrados dentro de estos tipos. Además, la escala puede ser usada para medir el desarrollo tanto de una planta individual como de un cultivo.

Etapas de la fase vegetativa

La fase vegetativa incluye cinco etapas de desarrollo: germinación emergencia, hojas primarias, primera hoja trifoliada y tercera hoja trifoliada (Fig. 1).

1. Etapa V0: germinación

   Al hacer la siembra, la semilla se coloca en un ambiente favorable para la germinación. Se debe tomar como iniciación de la etapa V0, el día en que la semilla tiene humedad suficiente para el comienzo del proceso de germinación; es decir, el día del primer riego, o de la primera lluvia si se siembra en suelo seco.

   La semilla absorbe agua inicialmente y ocurren en ella los fenómenos de división celular y las reacciones bioquímicas que liberan los nutrimentos de los cotiledones.

   Posteriormente emerge la radícula (generalmente por el lado del hilum). Luego ésta se convierte en raíz primaria al aparecer sobre ella las raíces secundarias y las raíces terciarias (Fig. 3). El hipocótilo también crece hasta que los cotiledones quedan al nivel del suelo. Termina en este momento la etapa de germinación.

2. Etapa V1: emergencia

   La etapa V1 se inicia cuando los cotiledones de la planta aparecen al nivel del suelo (Fig. 4), se considera que un cultivo de frijol inicia la etapa V1 cuando el 50% de la población esperada, presenta los cotiledones a nivel del suelo.

   Después de la emergencia, el hipocótilo se endereza y sigue creciendo hasta alcanzar su tamaño máximo. Cuando éste se encuentra completamente erecto, los cotiledones quedan por encima del nivel del suelo, comienzan a separarse y se nota que el epicotilo ha empezado a desarrollarse.

   Luego aparecen y comienza el despliegue de las hojas primarias; las láminas empiezan a separarse y a abrirse hasta desplegarse totalmente.

3. Etapa V2: hojas primarias

   La etapa V2 comienza cuando las hojas primarias de la planta están desplegadas (Fig. 5). Para un cultivo se considera que esta etapa comienza cuando el 50% de las plantas presenta esta característica.

   Las hojas primarias del frijol son unifoliadas y opuestas, están situadas en el segundo nudo del tallo principal y cuando están completamente desplegadas se encuentran generalmente en posición horizontal, aunque no han alcanzado su tamaño máximo.

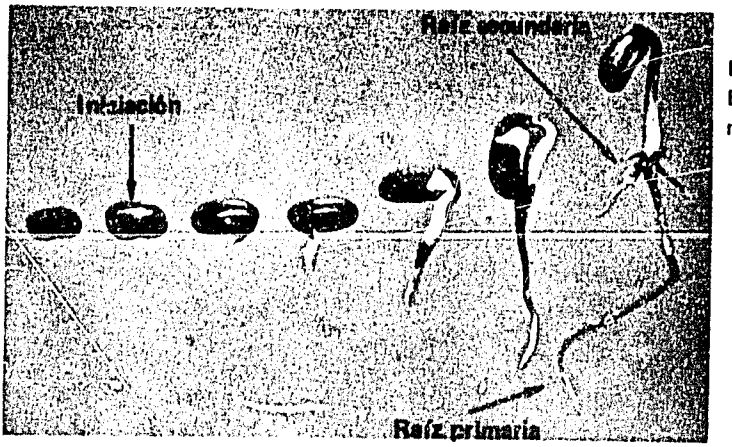


Figura 3.
Etapa V0; germinación.

Figura 4.
Cotiledones de la planta al nivel del suelo; iniciación de la Etapa V1.

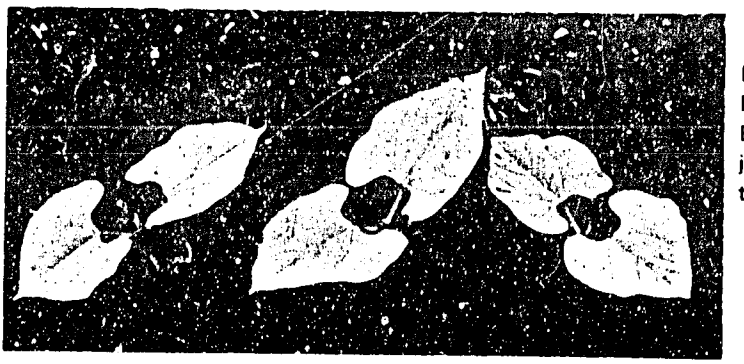


Figura 5.
Iniciación de la Etapa V2; las hojas primarias están desplegadas.

En esta etapa los cotiledones pierden su forma arqueandose y arrugandose. La primera hoja trifoliada comienza su crecimiento (Fig. 6) y continúa su desarrollo hasta desplegarse completamente.

El crecimiento de una hoja trifoliada incluye tres pasos: inicialmente, los folíolos todavía unidos aumentan de tamaño; luego, éstos se separan y, por último, se despliegan y se extienden en un solo plano.

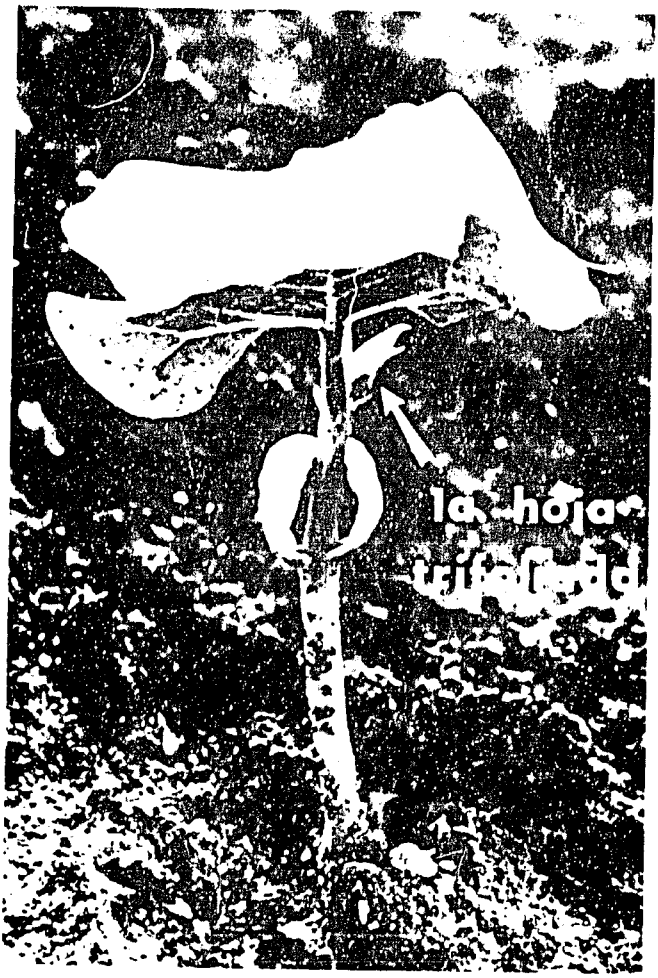


Figura 6. Planta en etapa V2. La primera hoja trifoliada comienza su crecimiento.

4. Etapa V3: primera hoja trifoliada

La etapa V3 se inicia cuando la planta presenta la primera hoja trifoliada completamente abierta y plana (Fig. 7). Cuando el 50% de las plantas de un cultivo presenta la primera hoja trifoliada desplegada, se inicia en éste la etapa V3.

Se considera que la hoja está desplegada cuando las láminas de los folíolos se ubican en un plano. La hoja no ha alcanzado aún su tamaño máximo y son aún cortos tanto el entrenudo entre las hojas primarias y la primera hoja trifoliada, como el pecíolo de la hoja trifoliada; por esta razón, cuando se inicia la etapa V3, la primera hoja trifoliada se encuentra por debajo de las hojas primarias.

Luego el pecíolo y el entrenudo crece y la primera hoja trifoliada se sobrepone a las hojas primarias; la segunda hoja trifoliada ya ha aparecido y los cotiledones se han secado completamente y, por lo general, han caído.

El tallo sigue creciendo, la segunda hoja trifoliada se abre y la tercera hoja trifoliada se despliega.

5. Etapa V4: Tercera hoja trifoliada.

La etapa V4 comienza cuando la tercera hoja trifoliada se encuentra desplegada. En un cultivo se considera que se inicia la etapa V4 cuando el 50% de las plantas presenta esta característica. De igual manera que para la primera y segunda hoja trifoliada, ésta se considera desplegada cuando las láminas de los folíolos se encuentran en un solo plano; se puede observar que la hoja se encuentra aún debajo de la primera y segunda hoja trifoliada (Fig. 8).

Es a partir de esta etapa que se hacen claramente diferenciables algunas estructuras vegetativas tales como el tallo, las ramas, y otras hojas trifoliadas que se desarrollan a partir de las triadas de yemas que se encuentran en las axilas de las hojas de la planta, incluso de las hojas primarias y de los cotiledones. Las yemas de los nudos inferiores de la planta generalmente se desarrollan produciendo ramas. El tipo de ramificación y el número y la longitud de las ramas dependen, entre otros factores, del genotipo y de las condiciones de cultivo.

La primera rama generalmente comienza su desarrollo cuando la planta inicia la etapa V3 o sea cuando la planta tiene la primera hoja trifoliada desplegada. Cuando en el tallo principal se encuentra un promedio de tres o cuatro hojas trifoliadas desplegadas, la primera rama presenta generalmente la primera hoja trifoliada.

En general, esta etapa es la más extensa en la fase vegetativa. Tiene una duración máxima de 15 días bajo las condiciones de Palmira, Colombia. En otros sitios es posible que este período sea mayor teniendo en cuenta: hábito de crecimiento, clima, suelo, genotipo, etc. Por lo tanto, las evaluaciones realizadas en esta etapa necesitarán una mayor precisión. El momento de la observación, entonces, deberá quedar indicado en una sub-etapa de la etapa V4. De

aquí que con el propósito de aumentar la exactitud, las siguientes subetapas pueden ser usadas opcionalmente:

Sub-etapa V 4.4 - Cuarta hoja trifoliada

Esta empieza cuando está desplegada la cuarta hoja trifoliada del tallo principal en la planta o en el 50% de las plantas de un cultivo de frijol.

Sub-etapa V 4.5. - Quinta hoja trifoliada

Esta sub-etapa empieza cuando la quinta hoja trifoliada del tallo principal se ha desplegado.

La sub-etapa V 4.5 empieza en un cultivo de frijol cuando el 50% de las plantas muestra esta característica en el tallo principal. En esta forma se puede identificar sucesivamente las sub-etapas 4.6, 4.7, 4.8, etc. con la sexta, séptima, octava, etc. hoja trifoliada en el tallo principal, hasta la iniciación de R5. La iniciación de R5 indica la terminación de la etapa V4, porque es norma en el uso de esta escala asignar a la planta o al cultivo la etapa que corresponde a las características morfológicas mas avanzadas que muestra la planta o el 50% de las plantas del terreno cultivado.

Etapas de la fase reproductiva

Cuando las yemas apicales de las plantas de hábito de crecimiento determinado se desarrollan en botones florales y en las yemas axilares de las plantas de hábito de crecimiento indeterminado se desarrolla el primer racimo, termina la fase vegetativa y empieza la fase reproductiva de la planta.

En esta fase ocurren las etapas de prefloración, floración, formación de las vainas, llenado de las vainas y maduración. En el hábito de crecimiento indeterminado, el desarrollo de estructuras vegetativas continúa durante esta fase, o sea que la planta produce nuevos nudos, ramas y hojas, mientras que en las plantas de hábito de crecimiento determinado, al empezar la fase reproductiva, cesa el desarrollo de nuevas estructuras vegetativas.

1. Etapa R5: prefloración

La etapa R5 se inicia entonces cuando aparece el primer botón o el primer racimo. En condiciones de cultivo, se considera que éste ha entrado en esta etapa cuando el 50% de las plantas presenta esta característica.

En una variedad de hábito determinado, se nota entonces el desarrollo de botones florales en el último nudo del tallo o la rama. En cambio, en las variedades indeterminadas, al inicio de esta etapa, los racimos se observan en los nudos inferiores (Fig. 9).

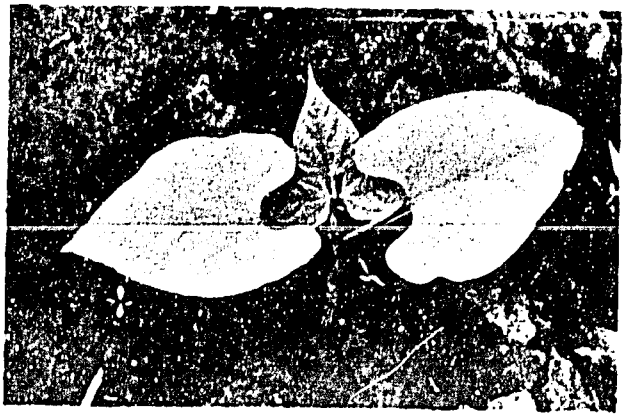


Figura 7.
Iniciación de la Etapa V3; la primera hoja trifoliada está desplegada.

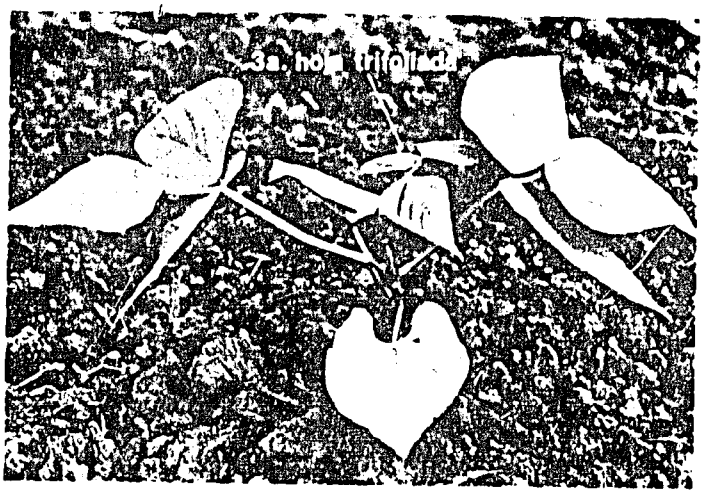


Figura 8.
Iniciación de la etapa V4; la tercera hoja trifoliada está desplegada.

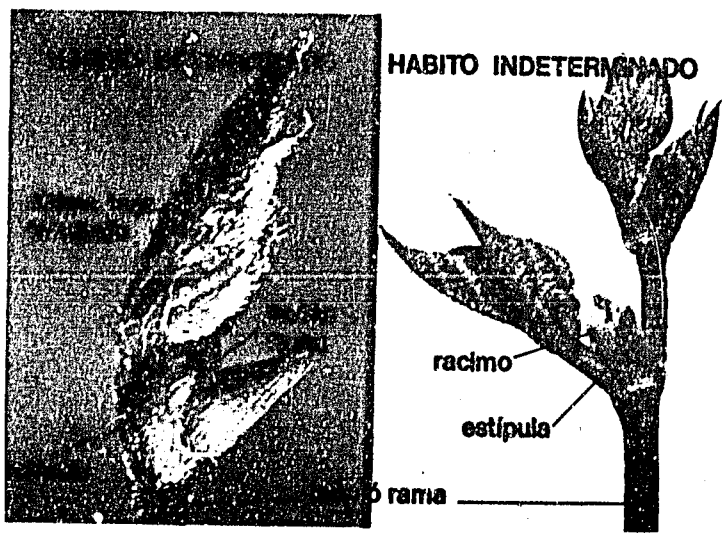


Figura 9.
Iniciación de la Etapa R5 al aparecer los primeros botones florales en una variedad determinada y los primeros racimos en una variedad de hábito de crecimiento indeterminado.

Es necesario hacer énfasis entre lo que ocurre en las variedades de hábito de crecimiento determinado, del Tipo I y las variedades de crecimiento indeterminado de los Tipos II, III y IV. En las primeras, el tallo y las ramas terminan su crecimiento formando una inflorescencia (Fig. 10a). La aparición de la inflorescencia está precedida por el desarrollo de las yemas laterales como botones florales. En las variedades de hábito de crecimiento indeterminado (Fig. 10b), el tallo y las ramas continúan creciendo debido a que presentan en su parte apical no una inflorescencia, sino un meristema vegetativo. Las inflorescencias en las plantas de hábito indeterminado, que resultan del desarrollo de las yemas, se encuentran en las axilas de las hojas trifoliadas. En sus estados iniciales de desarrollo, las inflorescencias pueden confundirse con las ramas.

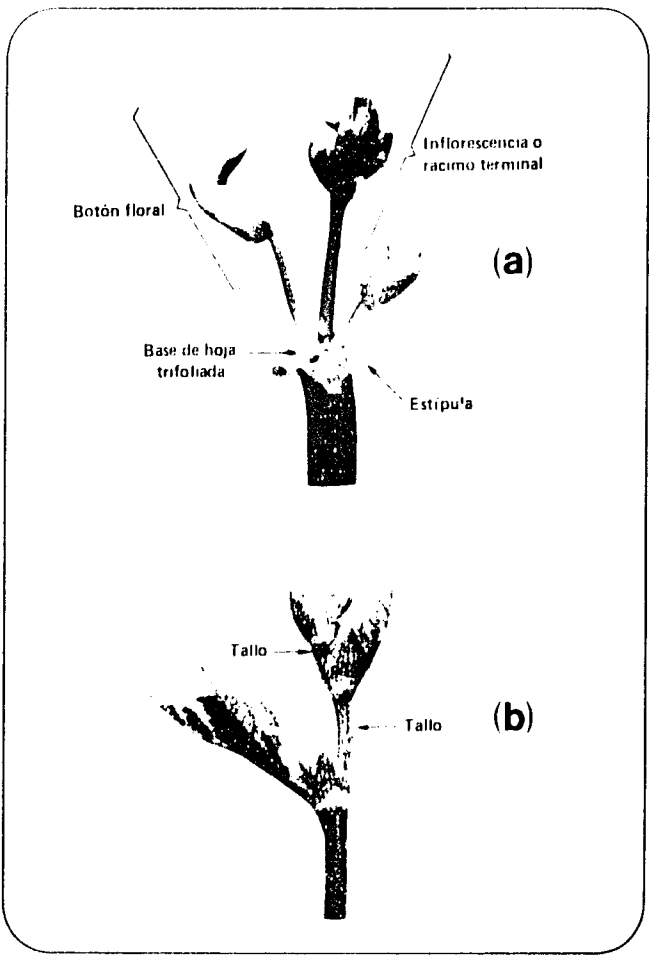


Figura 10. Desarrollo de la parte terminal del tallo o de una rama; (a) en una variedad de hábito de crecimiento determinado; y (b) en una variedad de hábito de crecimiento indeterminado.

Las siguientes características ayudan a diferenciar un racimo recién formado de una rama incipiente. En un racimo, los órganos más notorios son las brácteas de forma triangular y las bracteolas de forma ovalada a redonda. La forma del conjunto de la inflorescencia tiende a ser cilíndrica o esférica. En una rama incipiente, los órganos más notorios son las hojas y las estípulas de forma triangular y plana correspondientes a la primera hoja trifoliada de la rama (Fig. 11).

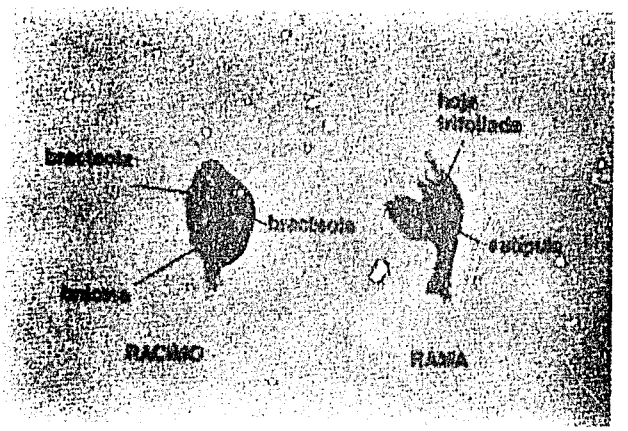


Figura 11. Diferencias entre un racimo y una rama incipiente.

El complejo axilar de las variedades indeterminadas puede presentar un desarrollo floral y vegetativo. Dicho desarrollo se inicia a partir de un determinado nudo del tallo o de una rama, cuya posicion es variable según el genotipo de la planta. En el desarrollo de este complejo axilar la yema central produce un racimo mientras que de las dos yemas laterales, una de ellas generalmente forma una rama y la otra no alcanza a desarrollarse (Fig. 12).

En las variedades determinadas, el complejo axilar del último nudo formado, presenta un desarrollo floral de sus yemas; es decir las dos yemas laterales se desarrollan como botones florales y la yema central permanece en estado latente. Es a partir de este nudo que el ápice del tallo y de las ramas se transforman en racimo terminal (Fig. 10a).

Los racimos se desarrollan produciendo botones, que al crecer adquieren su forma típica y la pigmentación según la variedad.

Un día antes de que ocurra el fenómeno de antesis (es decir, la apertura de la flor), el botón presenta algunos abultamientos característicos. Al final de este proceso se abre la flor.

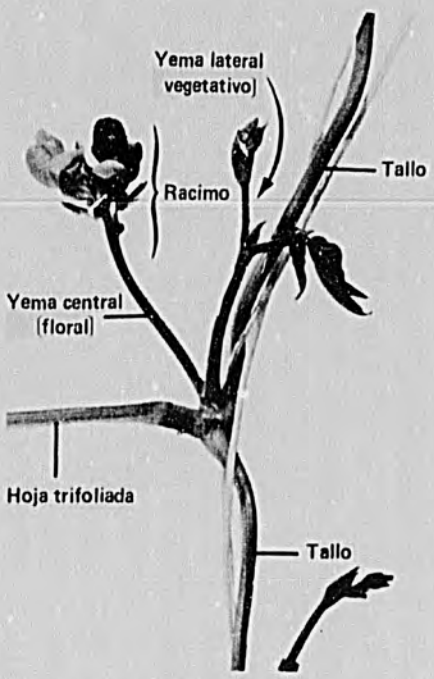


Figura 12. **Desarrollo del complejo axilar de una planta de hábito de crecimiento indeterminado.**

2. Etapa R6: floración

La etapa R6 se inicia cuando la planta presenta la primera flor abierta y, en un cultivo, cuando el 50% de las plantas presenta esta característica (Fig. 13). La primera flor abierta corresponde al primer botón floral que apareció. En las variedades de hábito determinado (Tipo I) la floración comienza en el último nudo del tallo o de las ramas y continua en forma descendente en los nudos inferiores; por el contrario, en las variedades de hábito de crecimiento indeterminado (Tipos II, III y IV), la floración comienza en la parte baja del tallo y continúa en forma ascendente.

La floración en las ramas ocurre en el mismo orden que en el tallo; es decir, es descendente en el hábito determinado y ascendente en el indeterminado. Dentro de cada racimo, la floración empieza en la primera inserción floral y continúa en la siguiente. Una vez que la flor ha sido fecundada y se encuentra abierta, la corola se marchita y la vaina inicia su crecimiento; como consecuencia del crecimiento de la vaina, la corola marchita cuelga o se desprende.

3. Etapa R7: formación de las vainas

La etapa R7 se inicia cuando la planta presenta la primera vaina con la corola de la flor colgada o desprendida, y en condiciones de cultivo, cuando el 50% de las plantas presenta esta característica (Fig. 14).

Figura 13.
Iniciación de la Etapa R6; apertura de la primera flor. Se observa también un botón con abultamientos; es decir, próximo a abrir.

Figura 14.
Iniciación de la Etapa R7. La corola de la flor cuelga de la vaina o recién se ha desprendido.

En las plantas de hábito de crecimiento determinado, las primeras vainas se observan en la parte superior del tallo y las ramas; las demás vainas van apareciendo hacia abajo; por el contrario, en las plantas de hábito de crecimiento indeterminado las primeras vainas se forman en la parte inferior y la aparición de las demás ocurre en forma ascendente.

La formación de la vaina inicialmente comprende el desarrollo de las valvas. Durante los primeros 10 ó 15 días después de la floración ocurre principalmente un crecimiento longitudinal de la vaina y poco crecimiento de las semillas. Cuando las valvas alcanzan su tamaño final (Fig. 15) y el peso máximo, se inicia el llenado de las vainas.

Figura 15. Desarrollo de las valvas.

4. Etapa R8: Llenado de las vainas

En un cultivo, la etapa R8 se inicia cuando el 50% de las plantas empieza a llenar la primera vaina. Comienza entonces el crecimiento activo de las semillas. Vistas por las suturas o de lado, las vainas presentan abultamientos que corresponden a las semillas en crecimiento (Fig. 16).

La Figura 17 presenta tres parámetros del crecimiento de una vaina de la variedad Porrillo Sintético. La vaina se alarga hasta los 10 ó 12 días después de la floración. El peso de las valvas aumenta hasta 15 ó 20 días después de la floración. El peso de los granos sólo aumenta marcadamente cuando las vainas han alcanzado su tamaño y peso máximo; los granos alcanzan su peso máximo 30 a 35 días después de la floración.

Al final de esta etapa los granos pierden su color verde para comenzar a adquirir las características de la variedad. En gran número de variedades ocurre entonces la pigmentación de la semilla. La pigmentación aparece primero alrededor del hilum y luego se extiende a toda la testa.

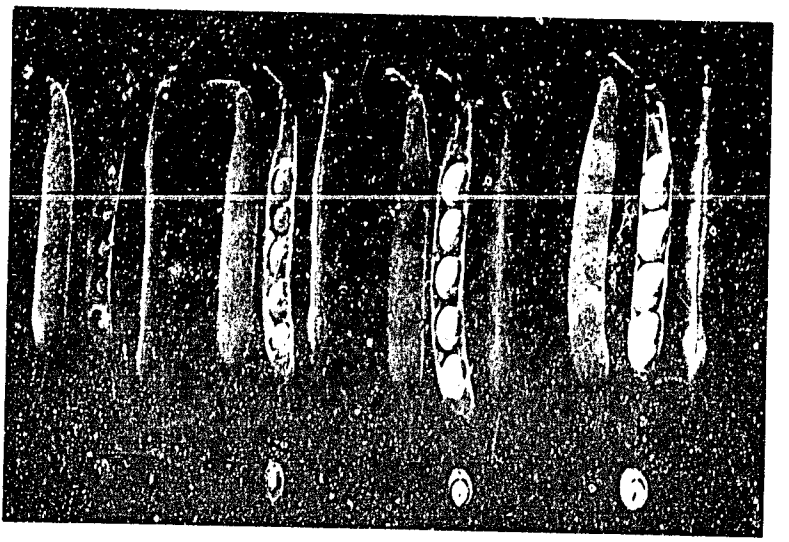


Figura 16. Etapa R8: ocurre el proceso de llenado de la vaina.

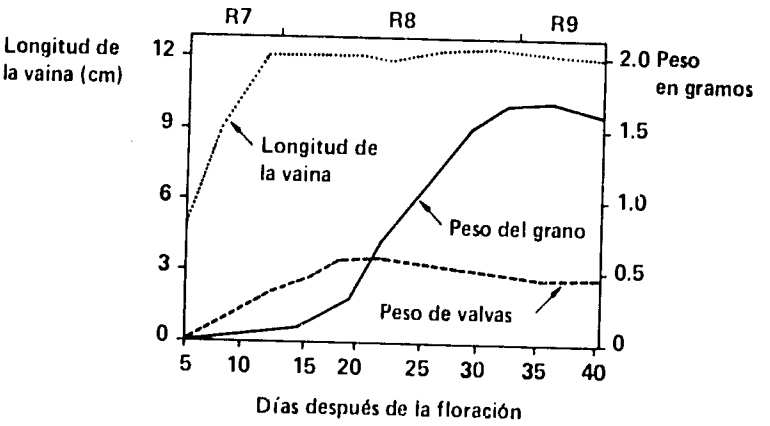


Figura 17. Tamaño, peso de las valvas y peso del grano en la variedad Porrillo Sintético.

En algunos genotipos, las valvas de las vainas también empiezan a pigmentarse. La distribución de la pigmentación, ya sea uniforme, en rayas, etc., depende del genotipo. La pigmentación típica de las valvas generalmente aparece después del inicio de la pigmentación de las semillas.

Al finalizar esta etapa también se observa el inicio de la defoliación, comenzando por las hojas inferiores que se tornan cloróticas y caen. El momento en que empieza la defoliación también depende del genotipo.

5. Etapa R9: maduración:

La etapa R9 se considera como la última de la escala de desarrollo, ya que en ella ocurre la maduración.

Esta etapa se caracteriza porque en ella las plantas inician la decoloración y secado de las vainas (Fig. 18). Un cultivo inicia esta etapa cuando la primera vaina inicia su decoloración y secado, en el 50% de las plantas.

Estos cambios en la coloración de las vainas indican el inicio de la maduración de la planta; continúa el amarillamiento y la caída de las hojas y todas las partes de la planta se secan; las vainas al secarse pierden su pigmentación. El contenido de agua de las semillas baja hasta alcanzar un 15%, momento en el cual las semillas adquieren su coloración típica, aunque esta puede cambiar durante el almacenamiento, según la variedad. Así termina el ciclo biológico; la planta adquiere el aspecto que muestra la Figura 19, y el cultivo se encuentra listo para la cosecha.

Figura 18. **Iniciación de la Etapa R9; cambio de color de las vainas.**

Figura 19. **Aspecto de una planta madura lista para la cosecha.**

CAPITULO II
MEJORAMIENTO

PAGINA

CONCEPTOS BASICOS DE GENETICA DE FRIJOL..... 81
J. Davis

MEJORAMIENTO DEL FRIJOL POR INTRODUCCION Y SELECCION..... 89
O. Voysest

CONCEPTOS BASICOS PARA EL MEJORAMIENTO DEL FRIJOL POR HIBRIDACION..... 109
S. Singh

INTERACCIONES DE GENOTIPOS POR SISTEMA DE CULTIVO EN FRIJOL Y MAIZ..... 127
J. Davis

CONCEPTOS BASICOS DE GENETICA DE FRIJOL

Jeremy H.C. Davis

Introducción

El frijol Phaseolus vulgaris, es un diploide con 22 cromosomas. Normalmente se autopoliniza, con sólo una pequeña proporción de polinización externa, dependiendo de la cantidad de abejas que se presentan en el tiempo de floración.

El objetivo del presente trabajo es examinar la forma en la cual la herencia de varios caracteres ha sido investigada en frijol (Yarnell, 1955) y para ilustrar con ejemplos cómo pueden utilizarse los conocimientos de genética para planear un programa de mejoramiento.

Algunas definiciones básicas

Un gen es el factor heredado que determina una característica biológica. En la planta de frijol, como en otros organismos diploides, los genes existen en pares, en cromosomas equivalentes. Los dos genes de cada par se conocen como alelos. Los genes que se encuentran en el mismo cromosoma son ligados. El grado de ligamiento entre los genes en el mismo cromosoma depende de la distancia entre ellos y la frecuencia del entrecruzamiento entre cromosomas equivalentes. Entrecruzamiento es el mecanismo genético para la recombinación de caracteres controlados por genes en el mismo cromosoma.

En frijol, los genes de cada par son normalmente idénticos (homocigotes). Cuando los alelos son diferentes, normalmente como resultado de cruzas entre dos plantas de frijol diferentes, se dice que la planta es heterocigota. Cuando una planta heterocigota no se distingue de una homocigota, uno de los genes del par alélico es dominante.

1. Dominancia - algunos ejemplos

   Hábito de crecimiento Las variedades de frijol en las cuales el tallo principal termina en una inflorescencia son llamadas determinadas (Tipo I), así como aquellas que sólo tienen inflorescencias axiales y un ápice terminal vegetativo son llamadas indeterminadas (Tipos II, III y IV). Cuando una planta de frijol indeterminada se cruza con una planta determinada, el híbrido (F1) es indeterminado. Cuando 100 semillas de este híbrido (F2) se siembran, aproximadamente 75 de las plantas serán indeterminadas, y 25 determinadas (3:1 proporción de indeterminadas: determinadas). Este resultado indica que el hábito de crecimiento indeterminado es controlado por un gen dominante, llamado Fin (Lamprecht, 1934). Las plantas son indeterminadas cuando son homocigotas (Fin fin). Las plantas son determinadas sólo cuando son homocigotas por el alelo recesivo (fin fin).

Brillo/opacidad de la testa Este es un carácter importante de las variedades de frijol que determina parcialmente su valor en el mercado en muchas partes de América Latina. Este carácter es determinado por un gen. En presencia del alelo dominante (Sh) la testa de la semilla es brillante, y con dos alelos recesivos (sh, sh) la testa es opaca (Noh y Alan, 1974).

Resistencia al virus del mosaico común (BCMV) Una reacción hipersensitiva al BCMV que previene la transmisión por semilla de todas las razas más conocidas del virus, es producida por un gen dominante I (Ali, 1950). Genes de resistencia a raza-específica han sido descritos también, pero éstos son recesivos (bc-1, bc-2, bc-3; Drijfhout, 1978).

Cómo utilizar esta información en un programa de mejoramiento:

Tomando los ejemplos anteriores, digamos que tenemos dos variedades: A es una determinada con testa opaca y susceptible a BCMV. Los genes que tiene son fin fin sh sh ii. B es una variedad indeterminada con testa brillante y resistente a BCMV: los genes son Fin Fin Sh Sh II.

La nueva variedad que deseamos mejorar debería ser indeterminada con testa opaca y resistente a BCMV: Fin Fin sh sh II. Debido a la dominancia podemos predecir que el híbrido F1 entre A y B (Fin fin Sh sh Ii) será idéntico a la variedad B; pero en F2, hay 64 combinaciones posibles de genes (Cuadro 1). De estas 64, sólo una corresponde genéticamente a nuestro objetivo de mejoramiento, aunque nueve plantas en total mostrarán la combinación correcta de caracteres. Las progenies de ocho de estas plantas estarán segregando para caracteres no deseados en F3. Estas progenies segregantes pueden ser eliminadas en F3, dejándonos con una nueva línea mejorada que combina los mejores caracteres de ambos padres.

Cuadro 1. Segregación F2 de tres genes que controlan el hábito de crecimiento, forma de testa (opaca/brillante) y resistencia a mosaico común.

	FinShI	FinshI	FinShi	Finshi	finShI	finshI	finShi	finshi
FinShI								
FinshI		0		X		X		X
FinShi								
Finshi		X				X		
finShI								
finshI		X		X				
finShi								
finshi		X						

X = combinación deseable de caracteres.
0 = objetivo de mejoramiento
Genes = Fin = hábito de crecimiento indeterminado
Sh = testa brillante
I = resistente a BCMV (hipersensitivo)

Los conocimientos de genética, por lo tanto, nos han permitido predecir que necesitamos por lo menos 64 plantas en la generación F2 para lograr encontrar una planta con la combinación correcta de genes (caracteres). Para estar seguros de encontrar la planta deseada es preferible sembrar más de 64 plantas en F2.

Ahora imaginemos un programa de mejoramiento en el cual más de tres caracteres (genes) tienen que considerarse. El número de plantas necesarias en F2 para obtener todas las combinaciones posibles se incrementa geométricamente con el número de genes involucrado. Por ejemplo: con cuatro genes una población mínima de 256 plantas es

requerida, con cinco genes la población mínima será de 1024 plantas y con 11 genes (uno por cromosoma en frijol), la población mínima de plantas necesarias sería de 4,194,304.

2. Ligamento - algunos ejemplos

Desafortunadamente el ligamento genético en frijol ha sido muy poco estudiado. Hay muchos ejemplos de caracteres que se han encontrado asociados (correlacionados) con otros caracteres, pero la base genética de la correlación no ha sido estudiada en detalle en la mayoría de los casos.

Vigor de plántula y color de semilla: Se ha notado que las variedades de frijol de color muestran por regla general una mejor emergencia y mayor vigor de planta que las variedades de semilla blanca (Figura 1), y que esto puede atribuirse a la mayor resistencia o tolerancia a pudriciones de raíz, en particular Rhizoctonia solani y Pythium spp. (Deakin, 1974). Parece que uno de los genes involucrados en la producción del pigmento (color de la semilla), está involucrado también en la producción de una substancia química, phaseolina, la cual se conoce como efectiva contra Rhizoctonia y pudriciones radiculares. Este puede ser el gen P (Prakken, 1970), ligado genéticamente con otros genes que producen colores específicos de semilla. Las variedades homocigotas por el alelo recesivo pp, son de semilla blanca y generalmente altamente susceptibles a pudriciones radiculares. Por otro lado, es posible romper el ligamento entre P y otros genes-color, para que la resistencia a pudrición radicular pueda combinarse con la testa blanca de la semilla (Dickson y Abawi, 1974).

Resistencia a razas de antracnosis Beta y Gama Los genes responsables por la resistencia a razas Beta y Gama de antracnosis se han encontrado ligados en el mismo cromosoma. Por ejemplo, la variedad Michelite es resistente a ambas razas debido a un gen recesivo d por resistencia a beta y un gen dominante G por resistencia a gama.

La variedad Michigan Dark Red Kidney es susceptible a ambas razas (genotipo Dg). Cuando estas variedades se cruzaron, se encontró que un número de plantas mayor al esperado fueron resistentes a ambas razas, como Michelite (Cuadro 2).

Si quisieramos mejorar una variedad con un tipo de planta y tipo de grano de Dark Red Kidney, pero con resistencia a antracnosis de Michelite, el ligamento parcial entre los genes de resistencia sería una ventaja, ya que ellos tienden a ser heredados juntos. Las probabilidades de encontrar una planta que combine todos los caracteres deseados están favorecidas por el ligamiento en este caso.

Por otro lado, en un programa de mejoramiento para combinar resistencia a pudriciones de raíz con color blanco de semilla el ligamiento hará el trabajo más difícil. La única forma de romper los ligamientos es sembrar más plantas en la generación F2, ya que los ligamientos reducen el número de plantas recombinantes.

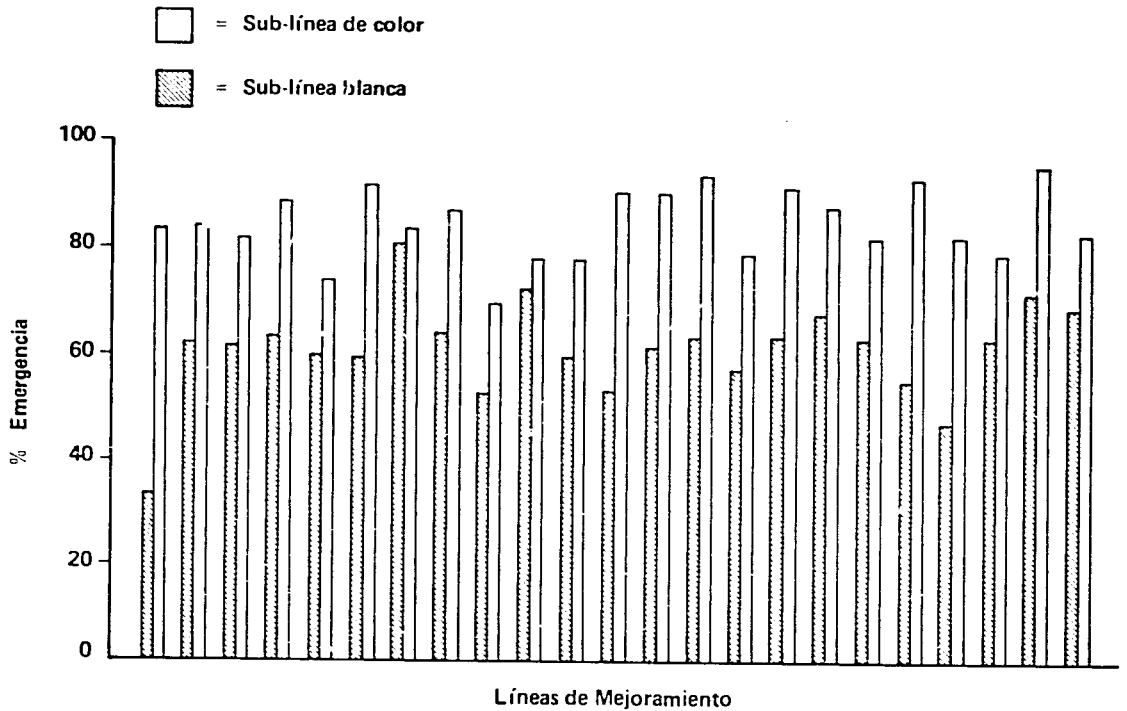


Figura 1. Relación de color de semilla con emergencia de líneas de frijol seleccionadas por color. Deakin, 1974.

Cuadro 2. El híbrido F2 entre Michelite y Michigan Dark Red Kidney (Cárdenas, Andersen, Adamas, 1964).

Clase de reacción		Relación teórica	N° de plantas	
Beta	Gama		Esperado	Observado
R	R	3	37.5	54
R	S	1	12.5	3
S	R	9	112.5	88
S	S	3	37.5	55
Total			200	200

3. Efecto de autopolinización

La autopolinización ocurre por naturaleza en los frijoles, y el resultado es que las plantas tienden a ser homocigotas (Cuadro 3).

Cuadro 3. Resultado de una cruza entre dos variedades, una hipersensitiva resistente a BCMV (II) y la otra susceptible (ii).

Generación (sin selección)	% de genotipos en la población		
	II	Ii	ii
F1	0	100	0
F2	25	50	25
F3	37.5	25	37.5
F4	43.75	12.5	43.75
F5	46.875	6.25	46.875
			etc.

Tomando como ejemplo el Cuadro 3, si la selección se enfoca en generaciones tempranas a otros caracteres más complejos, tales como rendimiento, se puede predecir que el 53% de las líneas en F6, sin ninguna selección previa para resistencia a BCMV, serán resistentes.

4. Caracteres cuantitativos y cualitativos

Hasta ahora hemos considerado los caracteres cualitativos, cada uno controlado por un solo gen. Caracteres tales como rendimiento y altura de planta son cuantitativos y son controlados por varios o muchos genes. El medio ambiente afecta generalmente los caracteres cuantitativos mucho más que a los cualitativos. Los efectos del ambiente e interacciones genotipo y medio ambiente reducen la eficiencia de la selección por un carácter como rendimiento. Diseños de campo experimentales, tales como los diseños látice, se desarrollaron con el objeto de apartar lo más posible la variación ambiental en la fertilidad del suelo y otros factores. El uso de

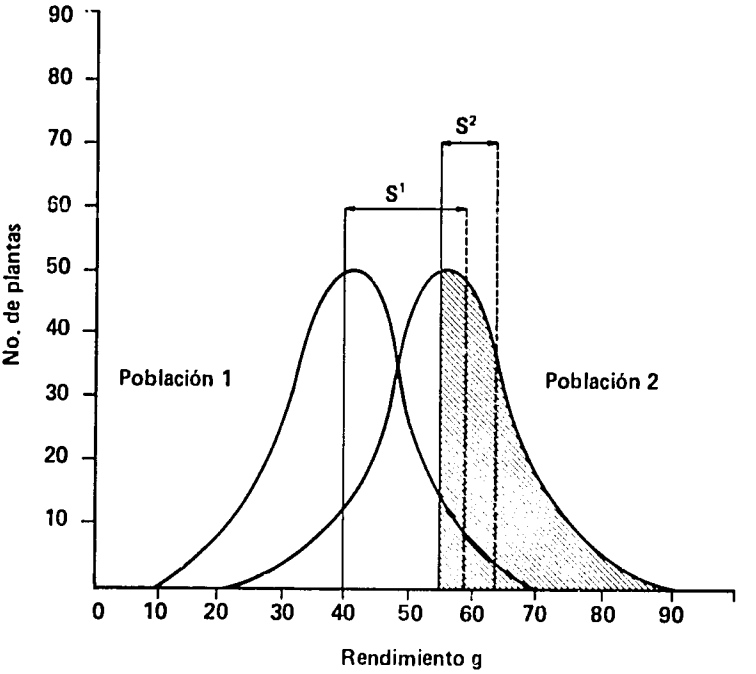
dichos diseños, preferentemente a un número de localidades (para incluir la interacción de genotipo x medio ambiente) incrementa grandemente la eficiencia de la selección por caracteres cuantitativos. Es decir, un buen diseño experimental intenta maximizar la heredabilidad de un carácter cuantitativo. La heredabilidad se define como:

$$h2 = \frac{VA}{Vp}$$

VA es la varianza de los efectos genéticos aditivos y
Vp es la varianza fenotípica que incluye ante todo los efectos de medio ambiente (error) y de genotipo x medio ambiente.

La segregación de genes que afectan el rendimiento o altura de planta en una población híbrida se espera que resulte en una curva de distribución normal. La Figura 2 muestra, por ejemplo, dos distribuciones de curva normales de rendimiento, para dos selecciones segregantes F3. En ambas poblaciones sólo seleccionamos plantas que rindan más de 55 g. Esto resulta en más plantas para ser seleccionadas de la población 2 que de la población 1, ya que en promedio la población rindió más. Se puede predecir la respuesta a la selección (R) si se conoce la heredabilidad (h2) y se calcula la diferencia entre el rendimiento promedio de cada población (S). Por definición R = h2 x S . Utilizando esta fórmula, se puede predecir el rendimiento promedio de las selecciones en F4, que es 45.7 g de la población 1 y 57.4 g de la población 2. Aunque el mismo nivel de selección fué aplicado en ambas poblaciones, las selecciones de la población 2 fueron en promedio mejores que las de la población 1. Como regla general, entonces, las mejores selecciones normalmente vienen de la mejor población.

Los caracteres cuantitativos están influenciados normalmente por muchos genes. Si cruzamos dos variedades de frijol que difieran sólo en un gen en cada cromosoma (esto es para 11 genes en total), necesitamos llegar mínimo a la población F2 de 4,194,304 plantas para lograr todas las combinaciones posibles de esos genes. Para la mayoría de mejoradores es imposible cultivar y seleccionar entre un número tan grande de plantas. Pero si preguntamos cuántas plantas necesitamos para encontrar cada gen en condiciones homocigotas o heterocigotas, el número es mucho menor (como mínimo una población de 24 plantas en F2 = 1/ (.25 + 0.5)11; 176 plantas en F3 = 1/ (.375 + .25)11; 561 plantas en F4 = 1/ (.4375 + .125)11 = 561 plantas en F4 = 1/ (.4375 + .125)11 2048 plantas en F = 1/5 11. (Ver sección sobre el efecto de la autopolinización). Sin selección el número mínimo de plantas necesarias se incrementa dramáticamente con cada generación. La probabilidad de encontrar una planta que tenga todos los genes que se buscan, por lo tanto, disminuye con cada generación. Se puede concluir que seleccionar por un carácter cuantitativo como rendimiento debe empezar en la generación más temprana posible.



Promedios F_4 : Población 1 = (0.3 x 18) + 40 = 45.4 g.
Población 2 = (0.3 x 8) + 55 = 57.4 g.

Figura 2. Curvas de distribución normal de 2 líneas seleccionadas en F_3. S = diferencia entre promedio de plantas seleccionadas y el promedio de la población. R = Respuesta a selección. Heredabilidad (h^2) = 0.3.

BIBLIOGRAFIA

1. Cárdenas, F.; Adamas, M. W.; and Andersen, A. (1964). The genetic systems for reaction of field beans (Phaseolus vulgaris) to infection by three phisiologic races of Colletotrichum lindemuthianum. Euphytica 13, 178-186.

2. Deakin, J.R. (1974). Association of seed color with emergence and seed yield of snap beans. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 99 (2): 110-114.

3. Dickson, M.H. and Abawi, G.S. (1974). Resistance to Pythium ultimum in white-seeded beans (Phaseolus vulgaris). Plant Disease Reporter 58 (9), 774-776.

4. Drijfhout, E. (1978). Genetic interaction between Phaseolus vulgaris and bean common mosaic virus. Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen, Holland.

5. Lamprecht, H. (1934). Zur Genetik von Phaseolus vulgaris, S. Uber Infloreszenztypen und ihre Vererbung. Hereditas 20, 71-93.

6. Moh, C.C. and Alan, J.J. (1974). A note on the inheritance of shiny factor in the seed coat beans. Turrialba 14 (3), 156-157.

7. Prakken, R. (1970). Inheritance of colour in Phaseolus vulgaris L. II. A critical review. Medelingen Landbouwhogeschool Wageningen. 70, 1-40.

8. Yarnell, S.H. (1965). Cytogenetics of the vegetable crops. IV. Legumes. Bot. Rev. 31, 247-331.

MEJORAMIENTO DEL FRIJOL POR INTRODUCCION Y SELECCION

Oswaldo Voysest

Introducción

El mejoramiento por introducción y selección no es otra cosa que la importación de material genético. Se le considera como un método de mejoramiento porque el estudio sistemático de los materiales importados puede rendir los mismos beneficios que se pudiera lograr con los métodos de mejoramiento convencionales.

Para los programas de mejoramiento es económico y muy aconsejable evaluar variedades y líneas avanzadas provenientes de otros programas, pues podría ser posible encontrar en estos materiales la base para aislar genotipos superiores mediante selecciones masales o individuales. También pueden beneficiarse los programas con las introducciones, utilizandolas como reservorio de germoplasma para sus trabajos de hibridación.

Los pasos más importantes del método de introducción y selección se observan en la Figura 1. El diagrama muestra el flujo que sigue un material introducido hasta transformarse en variedad. Básicamente son tres pasos: identificación de las fuentes de germoplasma; establecimiento de ensayos discriminatorios y selección; e incremento y registro de la nueva variedad.

1. Identificación de las fuentes de germoplasma

Un fitomejorador debe identificar las fuentes de germoplasma existentes y seleccionar e introducir los materiales que respondan a sus objetivos de mejoramiento y que, en términos generales, se ajusten a las condiciones de mercado y exigencias del agricultor.

Las fuentes más comunes de líneas avanzadas para los programas de mejoramiento son los bancos de germoplasma, los viveros nacionales e internacionales, las líneas obtenidas por hibridación y los materiales criollos.

2. Establecimiento de ensayos discriminatorios

Una vez que se seleccionan los materiales a partir de las fuentes de germoplasma, se prueban a nivel local para descartar los malos y escoger los mejores. Mediante estas pruebas se logra obtener líneas avanzadas.

Los ensayos para hacer las pruebas de descarte y selección pueden ser de tres tipos:

a. Ensayos para eliminar los materiales indeseables: llamados algunas veces ensayos de observación o ensayos preliminares.

b. Ensayos para seleccionar los mejores materiales: estos ensayos son generalmente de dos tipos y podrían denominarse ensayos de rendimiento, llamados a veces avanzados y ensayos de adaptación o ensayos regionales.

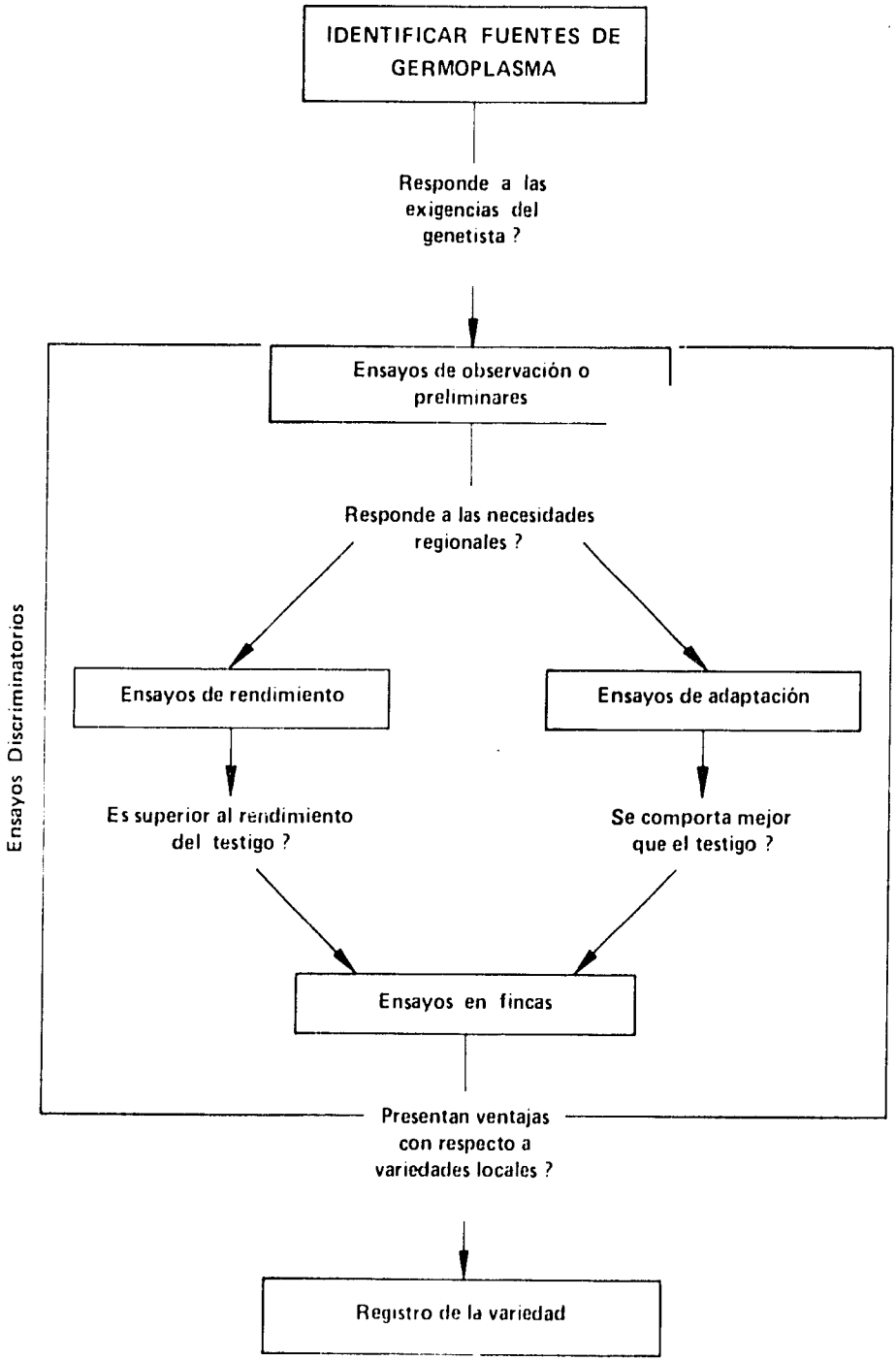


Figura 1. Diagrama del proceso de introducción y selección de nuevas variedades.

c. Ensayos en fincas: para evaluar el potencial que tienen las mejores líneas seleccionadas en las condiciones que se cultivarían en el caso de ser lanzadas como variedades.

La importancia de la denominación de los ensayos es relativa puesto que, en muchas ocasiones, ensayos con los mismos objetivos se identifican con distintos nombres en cada país; por lo tanto, lo importante es conocer sus objetivos ya que de ésto depende el tratamiento que se le dará al ensayo en lo que concierne al número de pruebas, al tamaño de parcela y otros aspectos relacionados con las prácticas agronómicas tales como la época de siembra y el sistema de cultivo (monocultivo, asociado u otro) y con prácticas culturales como correcciones de acidez y salinidad, fertilización, riego, control de malezas y nivel de protección contra enfermedades y plagas.

Las características de los diferentes ensayos que sigue a continuación, son apenas sugerencias que se deben a las situaciones reales de cada mejorador.

2. 1. Ensayos de observación o preliminares

En las primeras fases de la evaluación se dispone de muchos materiales y de poca semilla de cada uno de ellos. Es muy probable que dentro de esta gran cantidad de materiales, haya muchos que no merezcan una evaluación detallada en etapas posteriores y, por ello, es necesario diseñar ensayos para eliminar los materiales descartables en primera instancia. Estos ensayos generalmente tienen las siguientes características:

a. Incluyen una gran cantidad de materiales.

b. Se conducen generalmente en una sola localidad representativa.

c. Son ensayos sin repeticiones. Si se dispone de suficiente semilla se pueden establecer parcelas de cuatro hileras y de 3 a 4 metros de largo, lo cual permite una buena observación de los materiales. Otra opción es usar dos repeticiones disminuyendo el área de la parcela.

d. Como testigo se utilizan las variedades comerciales locales. El testigo se siembra repetidamente a intervalos fijos, cada 5 a 10 surcos.

e. Deben exponerse a las situaciones críticas (estrés) a las cuales están sometidas las variedades en una siembra comercial.

f. Deben evaluarse en las condiciones que refleje el sistema de cultivo al cual se someterán los materiales posteriormente.

g. No se cosechan todos los materiales, sino sólo los mejores.

En este ensayo los materiales se evaluan por comparación con el testigo más cercano o con el promedio de dos testigos (uno de cada

flanco). Para ello, en primer lugar se tiene en cuenta la resistencia a plagas y enfermedades, la época de maduración y la adaptación general de los materiales. El rendimiento no es necesariamente un factor importante para descartar materiales, debido a que en este ensayo las parcelas son pequeñas. Sin embargo, los materiales que se seleccionen no pueden ser inferiores al testigo.

Una vez eliminados los materiales inferiores, la siguiente tarea consiste en identificar los mejores entre el material resistente. Esto se puede hacer mediante dos clases de ensayos denominados ensayos de rendimiento y ensayos de adaptación.

2. 2. Ensayos de rendimiento

Los ensayos para seleccionar los mejores materiales, denominados genéricamente "ensayos de rendimiento", tienen por objeto escoger los materiales que, en promedio, dan un rendimiento superior al del testigo local. Las características de estos ensayos son las siguientes:

a. Incluyen los mejores materiales de los ensayos de observación o preliminares.

b. Se prueban en más de una localidad representativa.

c. Son ensayos que tienen repeticiones. El número de repeticiones y las características de la parcela experimental dependen de la cantidad de semilla. En caso de que ésta sea suficiente podrán usarse tres repeticiones constituídas por parcelas de 3 a 4 hileras de 4 a 5 metros de longitud.

d. Se debe incluir por lo menos dos clases de testigos: la variedad local mas difundida en la zona y una variedad de alto rendimiento y estable, aunque no necesariamente comercial.

Los materiales que superen a los testigos en rendimiento y que además reunan características agronómicas deseables, serán seleccionados para la siguiente fase de ensayos.

2. 3. Ensayo de adaptación o regionales

Los ensayos para seleccionar los mejores materiales, llamados ensayos de adaptación o regionales, tienen como objetivo identificar los materiales que se comporten mejor o que sobresalgan en determinados ambientes (adaptación específica) y aquellos que posean un amplio rango de adaptación. Estos ensayos tienen las siguientes características:

a. Incluyen los mejores materiales de los ensayos de observación o preliminares.

b. En estas pruebas generalmente se estudian entre 10 y 15 variedades, incluyendo el testigo local y el de alto rendimiento.

c. Se prueban en Estaciones Experimentales o en fincas de un gran número de localidades tratando de abarcar el rango de condiciones ambientales en que los materiales se sembrarían comercialmente.

d. El número de repeticiones no debe ser inferior a tres y las parcelas deben ser grandes, de 4 a 6 hileras y de 5 a 6 metros de longitud. Esto se debe, entre otras razones, a que los agricultores estarán observando estos ensayos.

e. Los niveles tecnológicos que se aplican están en función de aquellos que se utilizan en los predios agrícolas de la región donde se conduce el ensayo.

Los materiales que se seleccionen en esta fase serán los candidatos a convertirse en nuevas variedades y, por ello, es muy importante fijar muy claramente los criterios de selección. Como estas pruebas deben estar diseminadas en todas las zonas de producción, es importante seleccionar los materiales que han mostrado adaptación específica, i.e., los mejores en determinadas localidades, pero sobre todo los materiales con una amplia adaptación, buenos en muchas localidades y con buena estabilidad en rendimiento, i.e., que han exhibido la menor variación durante los años de prueba.

2. 4. Ensayos en fincas de agricultores

No existe una prueba definitiva que garantice que los materiales seleccionados sean necesariamente los mejores en las condiciones del agricultor; por ello es necesario probar los materiales promisorios en las condiciones en las que tendrá que desarrollarse una vez que se liberen.

El comportamiento del material sometido a las limitaciones y sistemas que el agricultor usa en su finca permite un juicio más equilibrado y objetivo acerca de las ventajas de las nuevas líneas en comparación con las variedades locales en iguales condiciones de manejo; los ensayos en fincas tienen, por lo tanto, un componente agronómico local. Estos ensayos también permiten conocer el grado de aceptación del material en el mercado y su consumo en comparación con las variedades tradicionales.

A medida que se va reduciendo el número de materiales en este proceso de selección de líneas avanzadas, es necesario aumentar los tamaños de parcela, el número de repeticiones y los sitios de prueba para así garantizar una mayor confiabilidad en la evaluación del material. Sin embargo, el éxito de la selección de líneas avanzadas depende, entre otros, del valor genético del material, del método de evaluación, de los elementos de trabajo disponibles y de la participación de los especialistas y agricultores involucrados en el proceso de selección.

2. 5. Ambito y duración de las pruebas discriminatorias

Para encontrar variedades que estén adaptadas a una área geográfica razonablemente amplia y que demuestren un grado de estabilidad de un año a otro, es necesario probar los materiales en varias localidades durante varios años.

No existe una fórmula universal que indique el número de ensayos a los que debe someterse un material durante las diferentes fases de prueba; se necesitan buenos estimativos de las interacciones genotipo por año y genotipo por localidad para poder evaluar la eficiencia de un programa de pruebas y determinar la asignación óptima de años y localidades. Sin embargo, ciertas consideraciones prácticas pueden servir de guía:

a. Las localidades de prueba deben estar ubicados dentro del área geográfica en la cual se pretende difundir la nueva variedad.

b. Con base en sus antecedentes, las localidades deben clasificarse en grupos dentro de los cuales se espera que el comportamiento de los materiales sea similar. Los criterios para la clasificación deben involucrar consideraciones de tipo climático, edáfico y biótico.

c. Como sitios de prueba deben escogerse las localidades mas representativas de cada grupo, buscando en lo posible abarcar la variabilidad entre localidades presente en la zona de producción.

d. La variabilidad entre semestres de siembra sólo puede estimarse mediante siembras repetidas durante varios años.

En los ensayos de observación o preliminares, una siembra en cada semestre sería suficiente para cumplir con los objetivos de esta clase de pruebas, pero en los ensayos de rendimiento y adaptación quizás lo más aconsejable sea un mínimo de dos años de pruebas.

2. 6. Uso de testigos

La selección y el uso de testigos es quizás una de las fases más críticas en las pruebas para seleccionar materiales. Es importante recordar que el objetivo final de los trabajos de mejoramiento genético es encontrar materiales más eficientes que aquellos en uso actual y, por lo tanto, resulta lógico que el patrón de comparación sea, en primer lugar, la variedad local más difundida en la región donde se lleva a cabo el estudio; esto es lo que se conoce generalmente como el testigo local. Además de la variedad local más difundida, el mejorador usualmente tiene algunas líneas o variedades más destacadas que la variedad local pero que se encuentran aún en proceso de evaluación.

Estos materiales también pueden incluirse como testigos además de la variedad local; ésto es lo que podría llamarse el testigo élite. Un tercer tipo de testigo sería el llamado testigo a largo plazo, usado como referencia para hacer comparaciones de un año a otro y de una localidad a otra. La variedad usada como testigo a largo plazo no necesariamente debe ser una variedad de grano comercial en la zona; su principal requisito es que sea una variedad de amplia adaptación y de rendimiento estable. Este testigo se sembraría en todas las localidades y en todos los años para poder referir los resultados en el tiempo y el espacio a un patrón de comparación común.

El uso de los testigos tiene fundamentalmente dos propósitos: por un lado, evitar que la variabilidad del campo impida una comparación justa de un material con otro. Esto se logra mediante la ubicación estratégica de los testigos en el campo, lo cual permite que las comparaciones entre los materiales se relacionen con el testigo más cercano. Otra función de los testigos es servir de guía para atinar los criterios de selección.

2. 7. Criterios de evaluación

Las líneas avanzadas seleccionadas deben tener buena capacidad de rendimiento, resistencia a las enfermedades e insectos que prevalecen en la región, amplia adaptación dentro del rango de ambientes en los cuales se pretende difundirlas y estabilidad en su comportamiento. Además, es necesario que la maduración, el hábito de crecimiento y otras características agronómicas se ajusten a los ciclos y sistemas de cultivos de las regiones donde se espera que estos materiales se desarrollen.

La evaluación de los ensayos orientados a seleccionar líneas avanzadas debe hacerse al inicio de las etapas de floración (R6), maduración (R9) y al momento de la cosecha (final de R9).

Al inicio de la floración se hace una evaluación preliminar sobre el vigor, el hábito de crecimiento y la reacción de la planta al ataque de plagas y enfermedades foliares. Estas observaciones preliminares se deben confirmar posteriormente en la etapa del inicio de la formación de vainas.

En la maduración se debe hacer énfasis en la adaptación o eficiencia, el tipo de hábito de crecimiento, el volcamiento, las características de la vaina, la época de maduración y el estado sanitario de las vainas.

El rendimiento, color, tamaño y estado sanitario del grano se deben evaluar al momento de la cosecha. Estas características influyen decisivamente en el grado de aceptación comercial de las nuevas variedades y, por lo tanto, la selección en este momento es muy importante. Antes de la cosecha se deben establecer muy claramente los criterios de selección, i.e.,. qué factores se van a tener en cuenta para la selección y qué niveles de evaluación deben alcanzar los materiales seleccionados. Los factores que con mayor frecuencia se

tienen en cuenta para la selección son el rendimiento, la reacción a plagas y enfermedades, el hábito de crecimiento, la madurez y el volcamiento.

a. Rendimiento

Es importante tener en cuenta que son muchos los factores que condicionan el rendimiento. Por ello, la evaluación tiene que considerar el ambiente específico en el cual se realiza el ensayo, de tal manera que los valores alto y bajo reflejen las posibilidades reales del genotipo según las condiciones presentes.

Un rendimiento de 1500 kg/ha podría considerarse apenas aceptable para un productor destacado de alguna zona de alto nivel de productividad potencial, como por ejemplo, el valle central de Chile; sin embargo, ese mismo rendimiento sería excelente para una zona de bajo nivel de productividad potencial para el frijol, como por ejemplo, Santa Cruz Porrillo en El Salvador.

Una manera de establecer un criterio sobre el nivel de rendimiento que se espera alcanzar con los materiales seleccionados es comparar los rendimientos que se obtienen en la zona con los de agricultores en la misma zona. Los niveles de rendimiento que se obtienen experimentalmente no son iguales a aquellos que obtienen los agricultores en sus lotes de producción; ésto generalmente refleja las diferencias en el manejo agronómico en las dos situaciones. Además permite que el criterio de selección por rendimiento se establezca sobre bases reales, considerando sólo el ámbito geográfico dentro del cual se espera que los materiales sean difundidos.

El cuadro 1 presenta un ejemplo de lo que generalmente ocurre con los niveles relativos de productividad potencial del frijol en América Latina para las tres situaciones antes mencionadas, que podría servir de ejemplo para fijar los niveles de selección por rendimiento en localidades con diferente capacidad de productividad.

Cuadro 1. Niveles relativos de productividad del frijol para tres situaciones en América Latina.

Productividad	En zonas productoras (kg/ha)	En fincas de agricultores destacados (kg/ha)	En parcelas experimentales (kg/ha)
Alta	1300 - 1500	2000 - 3000	4000
Intermedia	900 - 1200	1500 - 1800	2500 - 3500
Baja	600 - 900	1000 - 1200	1500 - 2000
Mínima o marginal	hasta 500	800	1000 - 1200

Al evaluar el rendimiento, también es muy importante que se tenga en cuenta el manejo agronómico al que se ha sometido el cultivo.

En el Cuadro 2 se muestran los rendimientos de la variedad Calima sin fertilización y en diferentes condiciones de manejo agronómico. Se observa que al someter esta variedad a un manejo agronómico diferente en cuanto a densidad de población y protección contra enfermedades, el rendimiento varía. La decisión de seleccionar bajo una determinada condición de manejo agronómico depende mucho de los objetivos del mejoramiento, pero de cualquier manera es importante recordar que el cultivo debe encontrarse bajo unas condiciones tales que permitan la expresión de la variabilidad existente, de tal suerte que puedan aislarse los mejores genotipos.

Cuadro 2. Rendimiento de la variedad Calima sin fertilización en diferentes condiciones de manejo agronómico. Restrepo (Valle).

Densidad (plantas/ha)	Prevención de enfermedades	
	Sin protección	Con protección
160.000	559	1357
320.000	631	1635

Fuente: Capacitación en Agronomía de Frijol. Ensayos en fincas. 1983 a.

Otra consideración que es necesario tener en cuenta al juzgar los rendimientos es el hábito de crecimiento del material que se está evaluando, ya que existe diferencia considerable entre el potencial de rendimiento según se trate de variedades de hábito de crecimiento determinado o indeterminado o según la semilla sea grande o pequeña.

Una escala convencional sobre el orden jerárquico en los niveles de productividad dentro de cada tipo de hábito de crecimiento con relación al tamaño del grano puede ser la que se presenta en el Cuadro 3.

En frijol arbustivo, las variedades indeterminadas de semilla pequeña generalmente superan el rendimiento de las variedades de semillas medianas y grandes (Cuadro 4). En condiciones favorables, esta diferencia en la capacidad de rendimiento puede fácilmente exceder los 1500 kg/ha. En las variedades de semilla pequeña también parece existir una frecuencia relativamente mayor de resistencia a enfermedades tales como el añublo bacteriano común, el BCMV, el BGMV, el virus del moteado clorótico del frijol,

las pudriciones radicales y otras, probablemente debido a su mayor historia en mejoramiento genético y a su distribución agroclimática.

Cuadro 3. Orden jerárquico en los niveles de productividad según el hábito de crecimiento.

Hábito de crecimiento	Orden según tamaño de grano	
	Pequeño	Grande
I	10	9
IIa	8	5
IIb	8	4
IIIa	7	4
IIIb	6	3
IV	1	2

En América Latina, los frijoles de semilla pequeña se cultivan en tierras bajas relativamente cálidas y en las áreas de tierras altas predominan las variedades de semilla mediana y grande.

b. Estabilidad del rendimiento y adaptabilidad

Es lógico que una variedad o línea alcance su mejor comportamiento en un ambiente determinado y no necesariamente en todos los ambientes. El agricultor, por supuesto, está interesado en la variedad que le rinde mas en su propio ambiente. El mejorador, sin embargo, está interesado en seleccionar principalmente los materiales que no sólo se comportan bien en un ambiente determinado sino que exhiban las menores fluctuaciones cuando el ambiente cambia. Estas situaciones comprenden lo que se ha llamado la "estabilidad". El agricultor lógicamente está sólo interesado en lo que de una manera convencional se denomina estabilidad temporal, i.e., aquella que se refiere al comportamiento de las variedades con respecto al cambio de los factores ambientales en el tiempo en una localidad determinada.

A los mejoradores, en cambio les preocupa además la llamada estabilidad espacial, llamada también adaptabilidad, que se refiere al comportamiento de los genotipos con respecto a los factores ambientales que cambian de una localidad a otra.

Para probar la estabilidad y adaptabilidad de introducción, se pueden emplear cualquiera de estas dos formas de

evaluación: rotar los materiales cada semestre en localidades distintas o llevar a cabo una evaluación simultánea.

Cuadro 4. Diferencia en la capacidad de rendimiento de líneas de frijol arbustivo de semilla pequeña y grande.

Característica de grano	Identificación	Rendimiento (kg/ha) Promedio	Máximo
Negro, pequeño	BAT 945	2273a	2802
Rojo, grande	ICA Línea 23	1448b	2082

a Promedio de 14 líneas

b Promedio de 8 líneas

Fuente: IBYAN de 1981 realizado en CIAT-Palmira.

Rotación de materiales

La rotación consiste en someter los materiales a un movimiento sucesivo de unas condiciones determinadas a otras. Los materiales deben sembrarse en cada semestre seleccionando, en cada caso, los mejores que deberán competir entre sí. Los mejores materiales no sólo deben exhibir la menor variabilidad entre semestres sino también entre localidades, para lo cual debe llevarse a cabo un proceso similar de pruebas en la sede principal y otras localidades, con selección de los mejores materiales en cada lugar, los cuales entran luego a competir entre sí en las diversas localidades.

Esto debe hacerse a partir de los ensayos de rendimiento y adaptación. La realización de estos ensayos en diversas localidades permite evaluar factores no considerados en la sede principal tales como enfermedades y plagas, suelos, clima, etc., que generalmente varían de una localidad a otra.

Evaluación simultánea

La otra manera de probar la estabilidad del rendimiento y la adaptabilidad de las líneas avanzadas es mediante la evaluación simultánea, la cual puede estar dirigida a estudiar dos o más factores en un solo vivero, o un solo factor en viveros o localidades diferentes (Figura 2).

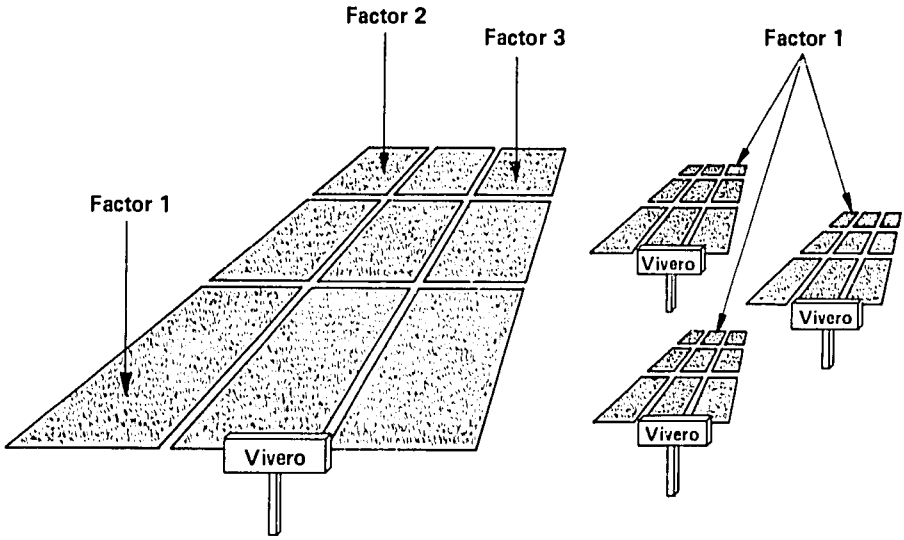


Figura 2. **La evaluación simultánea puede estar dirigida a estudiar dos o más factores en un solo vivero o un factor en viveros diferentes.**

Este proceso implica medir uno o más factores en el tiempo y registrar los datos según una escala convencional que haga posible separar unas plantas o variedades de otras, teniendo en cuenta el grado de susceptibilidad a un factor determinado. Los factores generalmente están relacionados con la incidencia de enfermedades y plagas importantes y con la descripción de características morfológicas y algunas de valor agronómico tales como la madurez, el volcamiento, el rendimiento y la calidad del grano, entre otras.

c. Enfermedades e insectos

Es conveniente establecer criterios de evaluación para las enfermedades más importantes en la región.

Se miden las reacciones de los materiales según escalas convencionales. Estas escalas podrían ser del 1 al 5 ó del 1 al 9; el grado 3 de la primera escala y los grados 4, 5 y 6 de la segunda, representarían un grado de daño normal o promedio y que se supone afectarían levemente el rendimiento. Los grados superiores de las escalas (5 y 9, respectivamente), indicarían ataque severo con fuerte reducción del rendimiento.

Por su parte los grados inferiores (1) indicarían ausencia total de la enfermedad y los grados 2 y 4 (escala del 1 al 5) así como 2 y 3, y 7 y 8 (escala del 1 al 9) indicarían las reacciones intermedias entre cada uno de los extremos (Fig. 3).

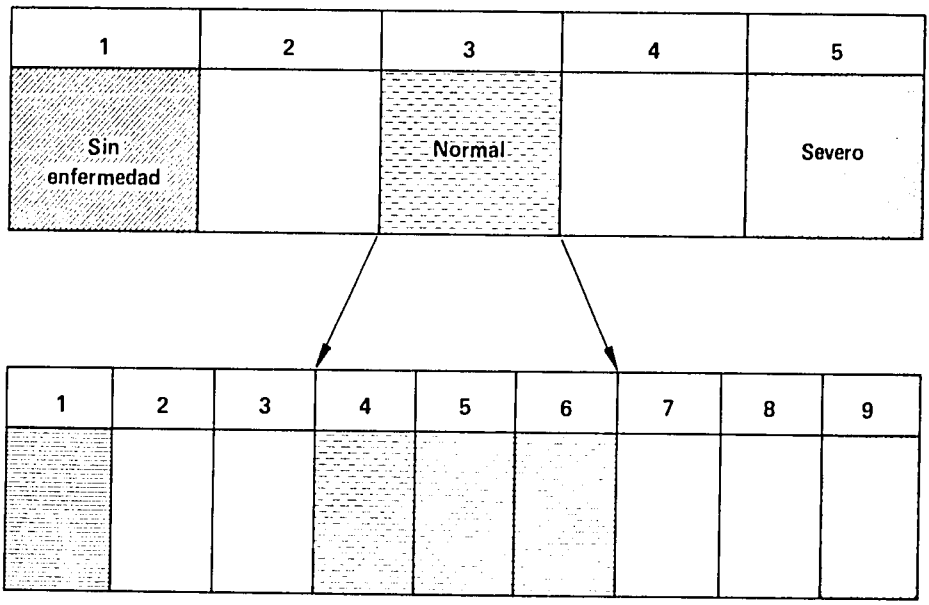


Figura 3. **Escalas convencionales para medir las reacciones de los materiales a las enfermedades.**

En el Cuadro 5 se presentan datos de evaluación en el campo para las enfermedades mustia, mancha angular, antracnosis y roya usando la escala del 1 al 5. Las observaciones se hicieron en tres fechas diferentes. Obsérvese como la incidencia de las enfermedades aumentó a medida que avanzó la edad del cultivo y que algunos materiales presentaron ataques de enfermedades en una etapa avanzada y otros no. De aquí la importancia de hacer las observaciones en diferentes etapas del cultivo.

Para evaluar el daño por insectos se puede adaptar un sistema similar al usado para las enfermedades; tratando de diferenciar las líneas más atacadas de las menos atacadas, indicando el estado o edad de la planta. Esto debe hacerse sólo con las plagas más importantes.

d. Hábito de crecimiento

Otro factor que se debe tener en cuenta en la selección e introducción de los materiales es el hábito de crecimiento, i.e., si las plantas son de hábito determinado o indeterminado. Dentro de los hábitos indeterminados es preciso diferenciar si el material tiene capacidad para compensar, mediante la emisión de ramas, el espacio dejado entre dos plantas distanciadas una de la otra (caso de los tipos III y IV) o si el material posee un tipo de hábito que no compensa suficientemente cuando se disminuye la densidad de siembra (caso del tipo II).

Cuadro 5. Evaluación de enfermedades en tres fechas diferentes. Restrepo, Valle, Colombia.

Variedades	F1 (21-04-83)			F2 (24-05-83)				F3 (03-06-83)			
	Must.	M.Ang.	Ant.	Must.	M.Ang.	Ant.	Roya	Must.	M.Ang.	Ant.	Roya
A-179	2.0	1.5	-	3.5	3.0	-	-	4.0	3.0	-	-
BAT 1370	2.0	1.0	-	4.0	2.5	-	-	4.0	3.0	-	-
BAT 1297	1.5	1.0	-	2.5	2.0	1.5	1.5	3.0	2.0	2.0	1.5
BAC 43	1.5	-	-	3.5	2.0	1.5	1.5	3.5	2.0	2.0	1.5
ICA L24	1.5	-	-	4.0	2.0	1.5	-	4.0	2.5	2.0	-
Guarzo Uribe	1.5	-	-	4.0	1.5	1.5	-	4.0	2.5	1.5	-

Fecha de siembra: 28.03.83

Fuente: Capacitación en Agronomía de Frijol. Ensayos en Fincas. 1983 A

En materiales de este último hábito de crecimiento es necesario diferenciar entre los tipos erectos con poca emisión de ramas, los cuales permiten caminar entre los surcos aún en estados avanzados del cultivo (tipo IIa), y aquellos tipos semipostrados o erectos pero con profusión de guías que se enredan e impiden el libre tránsito entre los surcos (tipo IIb).

Entre los tipos III y IV es necesario establecer diferencias según la distribución de la carga a lo largo del tallo. Las diferencias se establecerían entre los tipos IIIb, IVa y IVb.

e. Madurez

Existe amplia variabilidad entre los cultivos de frijol en lo que respecta al número de días a la madurez (inicio de la etapa R9 del desarrollo de la planta), el cual varía en un rango entre 70 y 300 días según el hábito de crecimiento y la región de cultivo. La diferencia no sólo es varietal sino que existe influencia de muchos factores, entre los cuales la duración del día y la temperatura son los más importantes.

En términos generales, el ciclo vegetativo es relativo y se puede establecer una clasificación convencional según las zonas, en la cual se cumple el rango establecido, tal como se ilustra en el Cuadro 6. Por ejemplo, en la zona tropical cálida, se consideran como variedades tardías de los tipos de hábitos I a III aquellas que completan su ciclo de cultivo a los 90 días después de la siembra; sin embargo, en las zonas frías se consideran variedades precoces de los mismos tipos aquellas que completan su ciclo a los 150 días después de la siembra.

f. Volcamiento

El volcamiento causa una fuerte reducción en el rendimiento cuando ocurre en la etapa R7 (formación de las vainas), debido a que reduce el número de vainas por planta y el número de granos por vaina.

El volcamiento se debe evaluar una semana después del inicio de la etapa R6 o floración, según una escala del 1 al 5. En esta escala el grado 1 considera todas las plantas erectas; el grado 3 equivale a que todas las plantas del cultivo se inclinen moderadamente, i.e., muestren un doblamiento de 45° o que del 25 al 50% de las plantas presenten acame; y la clasificación 5 se daría a la variedad cuyas plantas se inclinen fuertemente o que del 80 al 100% de las plantas se caigan. Las calificaciones 2 y 4 corresponden a plantas que presenten características de volcamiento intermedio entre los grados descritos (Fig. 4).

Cuadro 6. Ciclo de cultivo de diferentes tipos de frijol en diferentes climas y/o según zonas de producción

Hábito de crecimiento		Clima		
		Cálido (23-25°C)	Mediano (17-20°C)	Frío (13-15°C)
		1/		
	I	Precoz 75	75	120
		Tardío 90	100	150
Arbustivo	II y III a	Precoz 75	90	150
		Tardío 90	120	190
Volubles	III b IV	Precoz 75	120	190
		Tardío 120	150	270

1/ Días después de siembra

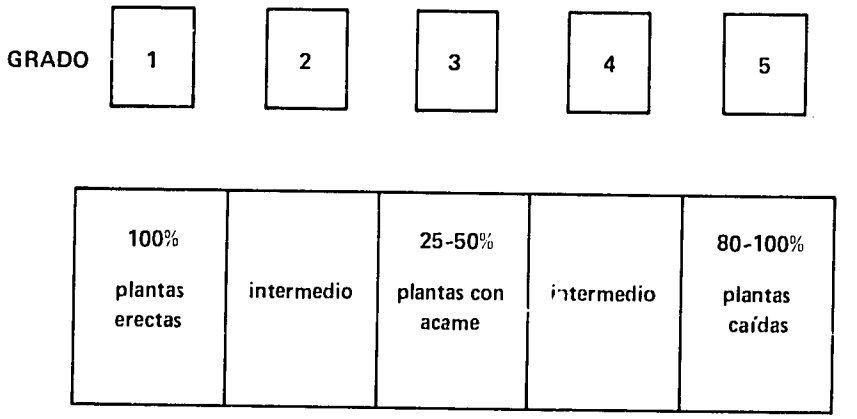


Figura 4. Escala para evaluar el volcamiento de los materiales.

3. Incremento y registro de la nueva variedad

Parte integral del método de mejoramiento es el incremento de semilla de las líneas promisorias. Dicha multiplicación se debe hacer en dos momentos del proceso. Primero durante la selección de las líneas avanzadas, con el fin de proveer semilla para los ensayos en los pasos siguientes, como los ensayos en fincas y, también, con el propósito de mantener una reserva. En segundo lugar, antes de la presentación de la nueva variedad a los agricultores, con el objeto de mantener la pureza del material y de entregar a los productores autorizados la cantidad de semilla básica requerida por ellos.

Una vez que los procesos de evaluación permiten seleccionar una nueva variedad para su liberación, ésta se identifica con un nombre y se llevan a cabo los trámites del registro oficial ante la entidad encargada.

Estos trámites están relacionados con: el nombre de la variedad, su descripción agronómica, el nombre de los mejoradores y los resultados de las pruebas de rendimiento y adaptación supervisadas por la entidad oficial. Dichos trámites deben estar al día cuando la variedad sea presentada a los productores de semilla y a los agricultores.

La presentación de la nueva variedad se lleva a cabo mediante días de campo con agricultores, personal de extensión y desarrollo agrícola, y también con los productores de semilla. Los días de campo pueden realizarse en los centros experimentales y en las fincas de los agricultores.

Para estos eventos es aconsejable tener disponible suficiente cantidad de semilla básica para entregarle a los productores de semilla, y un boletín divulgativo con las características y manejo agronómico de la nueva variedad para distribuirlo entre los asistentes.

Es importante recordar que el flujo de semilla desde el mejorador hasta el agricultor pasa por varias etapas. El mejorador produce la semilla

genética, que es la semilla más pura. El incremento de esta semilla se hace en estaciones experimentales, bajo riguroso control para mantener la identidad y la pureza genética. El incremento de ésta dá como resultado la semilla básica. La semilla básica se entrega a productores de semilla autorizados, quienes la incrementan de una a tres generaciones para obtener la semilla registrada; esta semilla debe responder a las normas de calidad establecidas por la entidad oficial de certificación de semillas. Finalmente, a partir de la semilla registrada se obtiene la semilla certificada que es la que llega al agricultor. En ella se mantienen la identificación genética y la pureza exigidas por la entidad de certificación de semilla.

Sin embargo, en algunos casos no se sigue este proceso; por lo tanto un aspecto importante que se debe discutir, es el uso de semilla mejorada por parte del pequeño productor, ya que las metodologías actuales de producción y comercialización de semilla están considerando como clientes solamente a un tipo de agricultor empresarial.

Este agricultor grande es social, cultural y económicamente diferente al productor pequeño, para quien el uso de semilla mejorada de frijol está condicionado a sus circunstancias y motivaciones. Lo anterior no implica, sin embargo, que para promover nuevas variedades haya necesariamente que diseñar nuevas metodologías de producción y comercialización de semilla para agricultores pequeños, ya que muchos de ellos producen y comercializan su propia semilla.

Al considerar esta situación es posible encontrar formas locales de producción y comercialización de semilla que en algunos aspectos del proceso requieran no un cambio sino un mayor conocimiento por parte de los investigadores, para apoyarlo y reforzarlo apropiadamente. Este parece ser un campo abierto a futuras investigaciones; no obstante, ya se han hecho algunas observaciones. En algunas zonas de Colombia, la industria de semilla vende menos del 1% de la semilla sembrada.

También se ha observado que en algunos lugares donde se adelantan pruebas de adaptación, de rendimiento y de investigación en fincas, se ha encontrado que los productores de frijol escogen de los ensayos el material que más les gusta e inician su propia siembra en pequeños lotes de multiplicación cuya área amplían en la etapa siguiente; algo similar puede estar sucediendo en otros países. Esta forma de probar y producir semilla de una nueva variedad no es consecuencia de la baja disponibilidad de semilla mejorada en la zona. Es posible que el agricultor prefiera ésta a otras alternativas de producción de semillas por razones que hasta ahora no se conocen, pero que sugieren ventajas a las cuales no está dispuesto a renunciar.

Estas reflexiones finales indican que, si bien existen unos pasos para entregar las nuevas variedades al agricultor empresarial, como se anotó anteriormente, estos pasos no parecen estar adecuadamente definidos cuando el propósito es entregar las nuevas variedades al productor pequeño.

BIBLIOGRAFIA

1. Allard, R.W. 1960. Principles of plant. Ed. John Wiley and Son, Inc. N.Y.
2. Braver, O. 1969. Fitogenética aplicada. Ed. Limura - Wiley S.A.
3. Centro Internacional de Agricultura Tropical. 1983. Informe Anual del Programa de Frijol, 1982. Cali, Colombia. 278 p.
4. _____. 1983. Etapas de desarrollo de la planta de frijol común; Guía de Estudio para ser usada como complemento de la Unidad Audiotutorial sobre el mismo tema. Contenido Científico: Fernando Fernández; Paúl Gepts; Marceliano López. Producción: Héctor F. Ospina. Colaboración: Rigoberto Hidalgo. Cali, Colombia. CIAT. 26p (Serie 04SB-09.03).
5. Voysest, O. 1983. Viveros internacionales de rendimiento de frijol: manual descriptivo; frijol arbustivo, frijol voluble. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia. 22p. ilus.

CONCEPTOS BASICOS PARA EL MEJORAMIENTO DEL FRIJOL POR HIBRIDACION

Shree P. Singh

Introducción

En frijol Phaseolus vulgaris L., se encuentra gran variación en lo que respecta al hábito de crecimiento, los tipos de frijoles, los ambientes de producción, los sistemas de cultivo, etc., cada uno de los cuales puede afectar la capacidad de rendimiento de los cultivares. El máximo rendimiento experimental de algunos cultivares de frijol se estima en más de 5000 kg/ha en condiciones óptimas de producción en unicultivo, pero los rendimientos más altos obtenidos por los agricultores rara vez alcanzan los 2500 kg/ha en condiciones similares. Además, el rendimiento promedio mundial de frijol es alrededor de 600 kg/ha. Esta diferencia con frecuencia se le atribuye a las pérdidas ocasionadas por enfermedades, insectos, plagas, condiciones edáficas y climáticas adversas, sistemas de cultivo, manejo agronómico y niveles de insumo aplicados por los agricultores, cultivares utilizados, etc.

Es posible aumentar el rendimiento actual de los cultivares comerciales por: 1) un mejor manejo agronómico y utilización de fertilizantes, fungicidas, insecticidas, riego, etc., 2) mejoramiento genético para rendimiento, resistencia a enfermedades, insectos plagas, condiciones climáticas y edáficas adversas, etc. y 3) combinando estas dos alternativas. La tercera alternativa constituye la estrategia más apropiada puesto que la primera con mucha frecuencia, es más costosa y está más allá de las posibilidades de la mayoría de los agricultores en los países en desarrollo. La solución genética es más rentable y duradera pese a que consume más tiempo. Es nuestro propósito discutir los conceptos básicos del mejoramiento genético del frijol por hibridación.

El mejoramiento se puede definir como el desarrollo de cultivares genéticamente superiores con buenas características agronómicas para el beneficio de la humanidad. Los nuevos cultivares deben aumentar el rendimiento, bajar costo de producción, ser de corto ciclo, superar en la calidad culinaria, etc. El proceso involucra las siguientes fases:

1. El desarrollo de líneas experimentales.

2. La evaluación de líneas experimentales y la identificación de nuevos cultivares.

3. La comercialización de nuevos cultivares.

Estas dos últimas fases sólo se discutirán en forma breve en esta sección.

Desarrollo de líneas experimentales - Mejoramiento genético

Para el desarrollo de líneas experimentales, se debe considerar los siguientes puntos:

A. Identificación de los defectos de cultivares comerciales, la determinación de los objetivos y las prioridades del mejoramiento con base en las necesidades de los agricultores de la región que se beneficiarán.

B. Búsqueda, evaluación e identificación de los genes deseables (padres donantes).

C. Recombinación de los genes deseables de padres donantes con los de cultivares comerciales ó la creación de variabilidad genética deseable mediante la hibridación-poblaciones híbridas segregantes.

D. Identificación de los genotipos recombinantes deseables, su selección y purificación como líneas experimentales - Manejo de poblaciones híbridas segregantes.

A. Identificación de los defectos de cultivares comerciales, la determinación de los objetivos y las prioridades del mejoramiento.

Los fitomejoradores y otros miembros del equipo deben tener un conocimiento completo y profundo de las áreas de producción de frijol que serán atendidas por el programa. Se debe obtener información detallada en lo que respecta a los ambientes de producción, los sistemas de cultivo, las prácticas agronómicas, los tipos de frijoles y cultivares en producción, el hábito de consumo, el mercadeo, los problemas relacionados con enfermedades, insectos plagas, fertilidad del suelo, clima, etc. Luego se debe establecer la importancia relativa y las prioridades del mejoramiento a corto, mediano y largo plazo.

Para cada uno de los problemas de producción no siempre debe haber una solución genética o quizás una solución genética se debe combinar con otros factores para obtener mejores resultados; por ejemplo, para el control de la mustia hilachosa y el moho blanco, se requieren tanto prácticas culturales como resistencia genética de los cultivares. Diferentes tipos de frijoles o cultivares de la misma zona productora pueden tener diferentes requerimientos para mejoramiento genético (Cuadro 1).

B. Búsqueda, evaluación e identificación de genes deseables (padres donantes).

La principal forma de reproducción del frijol es por semillas producidas por medios sexuales. Es un cultivo autopolinizado con 2n cromosomas de 22. Todos los cultivares comerciales son ya sea líneas puras o una mezcla de líneas. La mayor diversidad genética en cuanto a tipos de semilla pequeña se puede encontrar en accesiones de América Central, México, Venezuela y Brasil; por su parte, la mayor variabilidad genética en los tipos de semilla mediana y grande se encuentra en accesiones de las tierras altas de México, los Andes, Africa Central y Oriental, Europa y países del occidente asiático. América Latina es el centro primario de diversidad genética de Phaseolus sp. También hay gran variación en cuanto al hábito de crecimiento (desde determinado tipo I hasta indeterminados tipos II, III y IV), lo cual ofrece diferencias en el rendimiento potencial y ventajas y desventajas especiales y adaptación a diferentes sistemas de cultivo.

La base de un programa de mejoramiento genético es la existencia de una variabilidad genética deseable. Sin ella no se podría lograr progreso alguno. La búsqueda de genes deseables (germoplasma) debe hacerse según los objetivos y las prioridades del programa. Esta se

Cuadro 1. Algunas regiones frijoleras, sus tipos de frijol y problemas de producción.

Zona Frijolera	Sistema de Cultivo y Tipo de Frijol	Variedades	Problemas de Producción
Argentina			
Zona Fresca (Salta)	Unicultivo		
Rosario de la Frontera, Santa Isabel, Metán, Obando, Galpón, Horcones, Valle de Lerma.	Blanco, rojo mediano y grande: I, III Negro pequeño: II, III	Alubia, Chaucha BAT 76, BAT 448 Negro común	Antracnosis, mancha angular, bacteriosis común, pudriciones radiculares, mosaico común, etc.
Zona Cálida	Unicultivo		
Anta (Salta), Este Tucumano, Oeste Santiagueño, zona de expansión en Jujuy	Blanco y rojo mediano y grande: I, III Negro pequeño: II, III	Alubia, Chaucha Colorada, RKD, Negro común, DOR 41, BAT 304, EMP 84	Achaparramiento, mancha angular, Bacteriosis común, mustia, moho blanco, mosaico común, antracnosis, empoasca, etc.
Brasil			
Sur: RG, SC, Paraná	Unicultivo y Asociación Negro y carioca pequeños: II, III	Rio Tibagi, Iguacu, Carioca, Pirata 1	Antracnosis, mancha angular, bacteriosis común.
Sudeste y Centro-Este: Sao Paulo, MG, Goiás, ES, RJ	Unicultivo y Asociación Pequeño negro, carioca, mulatinho, rosinha, jalinha, enxofre, etc. II, III	Rico 23, Rio Tibagi, Carioca, rosinha G2, etc.	BGMV, BCMV, antracnosis, mancha angular, bacteriosis común, roya, empoasca, baja fertilidad del suelo.
Nordeste PE, BA, AL, SE	Unicultivo y Asociación Mulatinho y carioca pequeños: II, III	MVR, Rim de porco, favinha, IPA 1, IPA 74-19	Sequía, roya, mosaico común, pudriciones radiculares, bacteriosis común, empoasca, m. angular, antracnosis.

puede obtener del banco de germoplasma, de colecciones y de introducciones de otros programas e instituciones de investigación. El germoplasma colectado debe evaluarse totalmente en cuanto a sus respuestas a los problemas de producción de la región. Es aconsejable utilizar un esquema de evaluación secuencial para los viveros de adaptación y rendimiento así como para los diversos viveros complementarios de enfermedades, plagas, sequía, etc.

De esta manera, los progenitores seleccionados con genes deseables para el bloque de cruzamientos se pueden agrupar en cultivares comerciales, accesiones de germoplasma, progenitores donantes de resistencia a enfermedades, insectos plagas, factores edáficos y climáticos adversos, arquitectura de la planta, precocidad, etc. Algunos padres comúnmente utilizados en programas de hibridaciones por varios factores se encuentran en el Cuadro 2.

Cuando no exista un nivel adecuado de variación deseable para ciertas características dentro del germoplasma de phaseolus vulgaris, dicha variación se debe obtener de otras especies relacionadas de Phaseolus y se deben inducir por mutación o poliploidia. Estas últimas dos formas se han utilizado muy poco en frijol. Aquí nos limitaremos a la creación de la variabilidad por hibridación dentro de P. vulgaris.

C. Recombinación de los genes deseables de padres donantes con los de cultivares comerciales o la creación de variabilidad genética deseable mediante hibridación -- Poblaciones híbridas segregantes.

Una vez se seleccione germoplasma para el bloque de cruzamientos, se pueden determinar las combinaciones parentales para recombinación de los genes deseables y hacer los cruces. Sin embargo, el tipo y rango de la variación genética (los recombinantes) de un cruce puede depender, entre otros factores, de los siguientes: 1) el número de progenitores utilizados, 2) tipo de cruza, 3) las diferencias en los progenitores por su tipo de semilla, madurez, resistencias, etc., 4) la herencia de las características, etc. En lo que respecta a los cruces simples, es deseable producir alrededor de 30 semillas híbridas F1, y para otros tipos de cruces más de 100 semillas es requerido.

A continuación se presentan algunos tipos de cruzamientos:

Simples:	Alubia x DOR 41
Retrocruzamientos:	Alubia (Alubia x DOR 41)
Triples:	Carioca x (XAN 87 x A 252) F1
Cruzas Top:	Carioca x (XAN 87 x A 252) F3
Doble:	(Flor de Mayo x A 483) F1 x (G 2858 x XAN 112) F1
Doble modificado:	Flor de Mayo x (A 483 x (G 2858 x XAN 112) F1) F1
Múltiple:	(Carioca x (XAN 87xA252) F1) F1 x (G 2858 x DOR 41) F1

Cuadro 2. Algunas fuentes de genes deseables (padres donantes) para diferentes problemas de producción en frijol.

Padres donantes	País de origen	Hábito	Tamaño	Color
Mosaico Común				
Don Timoteo	Chile	III	M	Morado
IVT 7233	Holanda	III	P	Blanco
IVT 7620	Holanda	III	M	Blanco
BAT 76	Colombia	II	P	Negro
ICA L 23	Colombia	I	G	Marrón mt.
Bacteriosis común				
BAT 93	Colombia	III	P	Beige
XAN 40	Colombia	II	P	Negro
XAN 112	Colombia	II	P	Negro
XAN 160	USA/Colombia	I	M	Gris jsp.
Antracnosis				
A 475	Colombia	I	M	Morado mt.
A 252	Colombia	III	P	Crema rd.
BAT 841	Colombia	III	P	Beige
AB 136	C. América/Holanda	IV	P	Rojo
G 2333	Guatemala	IV	P	Rojo
Mancha Angular				
A 75	Colombia	III	P	Crema rd.
A 245	Colombia	II	P	Crema rd.
A 235	Colombia	II	P	Negro
BAT 67	Colombia	II	P	Negro
G 3991	Costa Rica	IV	P	Crema
Mosaico Dorado				
A 429	Colombia	II	M	Pinto
Turrialba 1	Costa Rica	II	P	Negro
Porrillo Sintético	El Salvador	II	P	Negro
DOR 303	Colombia	II	P	Rosado rd.
Sequía				
A 54	Colombia	II	P	Crema
A 170	Colombia	II	P	Crema
BAT 85	Colombia	III	P	Crema
BAT 477	Colombia	III	P	Crema
G 5059	Brasil	II	P	Crema
Suelos Acidos				
Rio Tibagi	Brasil/Costa Rica	II	P	Negro
G 4000	Costa Rica	II	P	Gris
Carioca	Brasil	III	P	Crema rd.
Empoasca				
EMP 81	Colombia	II	P	Crema
EMP 93	Colombia	II	P	Blanco
EMP 135	Colombia	III	P	Crema
Precocidad				
G 2883	Canadá	I	M	Blanco
G 3017	Guatemala	III	P	Morado mt.
G 577	Turquía	III	M	Blanco
G 3255	México	III	M	Pinto
G 1344	Nicaragua	III	P	Rojo
G 2923	El Salvador	III	P	Negro
G 14027	Nicaragua	III	P	Rojo

A medida que el programa crece al igual que el número de características que se están mejorando, se hacen más y más cruces múltiples. Para facilitar la identificación de los híbridos F1 y maximizar la utilidad del cruce, es esencial utilizar progenitores con características contrastantes y complementarias. También se deben utilizar como marcadores las diferencias en el hábito de crecimiento, el color de la flor y la semilla, el tamaño de la semilla, su brillo y forma, etc. Hasta donde sea posible se utilizan como progenitores madre las líneas indeterminadas de semilla pequeña. El cruzamiento se puede efectuar con facilidad en los invernaderos, casa de malla o el campo. Es necesario controlar completamente enfermedades y plagas y mantener buena fertilidad y humedadad en el suelo para el bloque de cruzamiento. Las polinizaciones se realizan generalmente en horas de la mañana (desde 7:00 A.M hasta 10:30 AM). Las primeras yemas florales formadas más cerca del tallo principal con frecuencia tienen mayores oportunidades de formar vainas después de la hibridación.

Lo siguiente ayudará a entender como se crea la variabilidad genética por hibridación. (En el híbrido F1 y en las generaciones filiales posteriores hasta que se logre homocigosis completa). La variabilidad genética se produce mediante dos procesos principales: 1) meiosis, y 2) fertilización o unión al azar de gametos masculinos y femeninos. Durante la meiosis ocurre apareamiento de cromosomas homólogos en el que un miembro de cada par es aportado por el padre y el otro por la madre. Así, mediante el proceso de rompimiento y reunión o "crossing over" entre cromátidas no hermanas de cromosomas homólogos y su posterior separación al azar durante la anafase I y anafase II se produce variabilidad genética durante la meiosis en las célula madre tanto de polen como de la megaspora. Por lo tanto, es muy importante seleccionar cuidadosamente tanto los progenitores padres como los progenitores madres. Como se mencionó anteriormente, el número de progenitores utilizados en cruzamientos, combinaciones parentales y el número de yemas florales polinizadas, pueden aumentar el rango de recombinaciones genéticas en las poblaciones híbridas segregantes.

La estrategia de mejoramiento también puede afectar el tipo y rango de variabilidad genética producida por hibridación. En el CIAT se utilizan las dos estrategias siguientes:

a. Mejoramiento de características; caso en el cual se busca continuamente nuevas y mejores fuentes de características deseables. Todas las fuentes, los mecanismos, los genes, etc., disponibles se combinan posteriormente con el objetivo de maximizar la expresión de la característica deseada, su estabilidad a través del tiempo y de un ambiente a otro, etc.

b. Mejoramiento de cultivares. Para el efecto se tienen en cuenta la región productora de frijol, sus tipos de frijol, sistemas de cultivo, insumos agronómicos, problemas de producción, etc. Los cultivares comerciales seleccionados se hibridan con progenitores donantes del mayor número posible de características deseables.

Queda claro entonces que se obtiene mayor variabilidad genética en cruzamientos para el mejoramiento de cultivares puesto que involucra una mayor diversidad de progenitores y de un número mayor de características para cubrir sus objetivos más amplios que lo que ocurre con un proyecto específico para el mejoramiento de cada característica individualmente considerada.

D. Identificación de los genotipos recombinantes deseables, su selección y purificación como líneas experimentales -- Manejo de Poblaciones Híbridas segregantes.

Después de haber obtenido las combinaciones híbridas, la siguiente fase involucra evaluaciones apropiadas de las poblaciones híbridas, la identificación de genotipos recombinantes deseables y su selección y purificación en líneas estables homocigotas. La eficiencia del proceso de evaluación y selección puede depender de: 1) el número características que se seleccionarán y su heredabilidad, 2) los métodos de mejoramiento genético utilizados, 3) las facilidades y métodos existentes para evaluación, 4) el número de cultivos producidos/año y 5) la colaboración que se preste en diferentes disciplinas. El progreso es mucho más lento a medida que aumenta el número de características que se van a seleccionar, si la heredabilidad es baja o si las facilidades para selección por diferentes características no son confiables o compatibles o si solamente se puede producir un cultivo por año. La colaboración interdisciplinaria y la evaluación en diferentes viveros complementarios y localidades múltiples ayuda en gran medida al proceso de selección.

Habilidad combinatoria y evaluación de rendimiento en generaciones tempranas

El conocimiento de la habilidad combinatoria (Cuadro 3) de los progenitores ayuda a evitar combinaciones parentales que producen híbridos y recombinantes pobres. Por ejemplo, las líneas determinadas del tipo I no combinan bien con las líneas indeterminadas (tipos II, III y IV). Igualmente, los de tipos de semilla mediana y grande con frecuencia no combinan bien con las líneas de semilla pequeña; es más, hay combinaciones de este tipo que producen enanismo en los híbridos (Cuadro 4). El germoplasma proveniente de tierras altas frescas de los Andes no combina bien con germoplasma de tierras bajas cálidas. Para superar algunos de estos problemas se emplean retrocruzamientos, entre cruzamientos con líneas en generaciones tempranas, cruzamientos triples y cruzamientos dobles modificados para aumentar la contribución genética de los progenitores deseables. Por otra parte, los cultivares de semilla pequeña provenientes del Brasil combinan bien con cultivares indeterminados de semilla mediana provenientes de las tierras altas de México.

No todos los cruces realizados producen buenos genotipos. Por consiguiente, es importante identificar cruces promisorios desde temprano a partir de los cuales se podrán obtener eventualmente líneas superiores. La evaluación de los cruces se puede iniciar desde la generación F1 y se deben descartar los híbridos pobres tan pronto se detecten. Con base en nuestra experiencia, los cruces pobres en la F1 y F2 (Cuadro 5) se pueden descartar sin vacilación.

Heredabilidad de las características

La mayoría de las características morfológicas, el hábito de crecimiento, la resistencia a la antracnosis y al virus del mosaico común del frijol tienen una alta heredabilidad y, por consiguiente, se pueden seleccionar fácilmente desde las generaciones tempranas. La resistencia al añublo bacteriano común, a añublo de halo y a la mancha angular, la madurez, el tamaño de semilla, podrían considerarse como características de heredabilidad moderadamente alta y si las técnicas de selección son

Cuadro 3. Habilidad combinatoria general de algunas líneas de frijol en diferentes hábitos y tamaños de de grano sembradas en 1982, CIAT-Palmira, Colombia.

Identificación	Hábito	Habilidad combinatoria general			
		Rendimiento	vainas/ m2	Semillas/ vaina	peso semilla
A 132	I	-24.8	11.2	- 0.23	-0.018
A 476	I	-27.9	-13.3	-0.26	-0.006
BAT 1222	I	-29.4	-32.2	-0.59	0.061
A 359	II	-22.1	19.1	0.71	-0.061
XAN 122	II	-20.8	9.4	-0.61	-0.024
A 457	II	9.0	-56.3	0.44	0.042
A 231	III	48.0	94.9	0.28	-0.077
Toche 400	III	-6.9	-26.8	0.19	0.006
A 375	III	29.9	-6.0	0.07	0.018
Error Standard		14.5	10.4	0.05	0.003
Promedio de progenitores		266.6	214.7	4.12	0.327

Cuadro 4. Crecimiento de los híbridos F1 que involucran padres de semilla tanto pequeña como grande de diferentes orígenes geográficos.

Padre	Madre	
	BAT 332 (pequeña)	ICA L-23 (mediana)
Semilla pequeña		
BAT 332 (Colombia)	-	E*
BAT 1061 (Colombia)	N	E
G 4017 (Brasil)	N	E
G 7148 (Brasil)	N	E
Semilla mediana y grande		
G 153 (Turquía)	E	N
G 159 (Turquía)	E	N
G 568 (Turquía)	E	N
G 623 (Turquía)	E	N
G 688 (Turquía)	E	N
G 910 (Turquía)	E	N
G 5066 (Brasil)	E	N
G 5129 (Brasil)	E	N
G 7613 (Alemania O.)	E	N
G 7633 (Alemania O.)	E	N
G 7635 (Alemania O.)	E	N
G 7160 (Chile)	E	N
ICA L-23 (Colombia)	E	-

* N = Crecimiento y desarrollo normales; E= Enanismo o crecimiento y desarrollo retardados.

Cuadro 5. Rendimiento promedio de frijol (kg/ha) de la F1 y F2 cultivadas en CIAT-Palmira en 1982.

Cruce			F1	F2
G 4770	x	A 23	2030	2624
A 23	x	G 7148	2329	2394
ICA-L 23	x	G 3807	3143	2702
ICA-L 23	x	A 30	3178	2418
A 23	x	G 5066	3023	3103
A 21	x	Carioca	3225	3384
G 3807	x	G 7148	3089	3953

confiables, se pueden hacer selecciones por estas características desde las generaciones tempranas. Debido a que en la heredabilidad de color de la semilla está involucrado un número relativamente mayor de genes, es aconsejable retrasar la selección por esta característica hasta las generaciones F4 y F5. Los colores de semilla que se pueden fijar fácilmente incluyen el negro, el blanco, el crema y el crema moteado, pintado y rayado; aquellos que presentan más dificultad son el rojo y rosado moteado (Calima, Flor de Mayo) y los tipos amarillos o de colores azufrados (Canarios azufrados). El rendimiento y la tolerancia al virus del mosaico dorado del frijol, Ascochyta, mustia hilachosa, moho blanco, sequía, bajo nivel de fósforo en el suelo, son algunas características con baja heredabilidad y los métodos de evaluación son deficientes y no confiables para detectar pequeñas diferencias genéticas.

Métodos de mejoramiento

Los métodos de mejoramiento más comunmente utilizados en frijol incluyen: 1) pedigrí modificado, 2) masal-pedigrí y 3) retrocruzamiento o sus modificaciones. Con frecuencia se ha sugerido el uso de la selección recurrente, pero rara vez se ha utilizado debido a problemas que se presentan en los cruzamientos en gran escala. A continuación se presenta una breve descripción de cada uno de estos métodos:

Pedigrí Modificado: Las poblaciones híbridas segregantes F2 se siembran espaciadas (6 a 8 plantas/metro lineal) para la selección de plantas individuales. Las plantas seleccionadas luego se evalúan en su progenie en la generación F3 y el proceso se repite hasta la fijación (homocigosis) de las característica y, por lo tanto, la obtención de las verdaderas líneas experimentales.

Como se muestra en la figura 1 hay una modificación importante al método convencional del mejoramiento por pedigrí. Es decir, cada parcela de las progenies F3 seleccionadas se cosechan masalmente para un vivero de observación o una evaluación preliminar de rendimiento en la F4 con el fin de descartar las familias ó líneas que exhiban un mal comportamiento y continuar seleccionando únicamente los materiales más promisorios.

El método exige el mantenimiento de registros extensos y más recursos y, por consiguiente, el número de cruces y familias que se pueden manejar es menor cuando los recursos son escasos.

Masal-pedigrí: En este método (Figura 1) las poblaciones segregantes en generaciones tempranas avanzan masalmente, sin mucha selección hasta las generaciones F4 o F5, para posteriormente entrar a una fase de selección de plantas individuales similar al método del pedigrí. La selección masal en cada generación se puede hacer cosechando una sola vaina o la semilla de cada planta, o cosechar todas las plantas y luego tomar una muestra representativa de la semilla para su siembra en la siguiente generación. En el caso de nuestro programa, se cosecha una sola vaina de cada planta. Las poblaciones pobres se pueden seguir eliminando en cada generación cuando es factible. Se ha encontrado que el método masal-pedigrí es más útil puesto que: 1) permite manejar volumenes relativamente grandes de cruces, 2) exige menos recursos y mantenimiento de registros y 3) facilita la evaluación y selección por dos o más características y amplia adaptación, especialmente si los materiales tienen que ser expuestos a

Semestre	Localidad	Pedigrí-Modificado	Generación	Masal-Pedigrí
Enero	C	Hibridación	Parental	Hibridación
Mayo	C	Selección y avance de la generación	F_1	Selección y avance de la generación
Septiembre	P	Siembra espaciada, evaluación y selección de plantas individuales	F_2	Selección masal
Enero	Q	Prueba de progenie y selección masal	F_3	Selección masal
Mayo	C, P, Q	Vivero de observación, selección de plantas individuales	F_4	Selección masal
Septiembre	P	Prueba de progenie y selección de plantas individuales	F_5	Siembra espaciada, evaluación y selección de plantas individuales
Enero	Q	Prueba de progenie y selección de plantas individuales	F_6	Prueba de progenie y selección de plantas individuales
Mayo	P	Prueba de progenie y selección masal	F_7	Prueba de progenie y selección masal
Septiembre	C, P, Q	Vivero de adaptación, selección y codificación de nuevas líneas experimentales	F_8	Vivero de adaptación, selección y codificación de nuevas líneas experimentales
Enero		Ensayos o Viveros Uniformes (VEF, EP, IBYAN)	F_9	Ensayos o Viveros Uniformes (VEF, EP, IBYAN)

C = Palmira; Q = Quilichao; P = Popayán.

Figura 1. Métodos de mejoramiento pedigrí-modificado y masal-pedigrí utilizados en frijol en el CIAT.

diferentes presiones de selección en diferentes localidades, estaciones o viveros en la misma localidad. Es el método más comúnmente utilizado en nuestro programa. Sin embargo, quizás tome un poco más de tiempo desarrollar líneas puras.

Retrocruzamiento: Algunos mejoradores de frijol han utilizado el método de retrocruzamiento o su modificación en forma muy exitosa en sus programas. Las características seleccionadas de alta heredabilidad con frecuencia se transfieren del progenitor (o progenitores) donante a un cultivar comercial sobresaliente -- el progenitor recurrente. En la Figura 2 se esboza un procedimiento de retrocruzamiento convencional para transferir resistencia al virus del mosaico común del frijol a un cultivar de frijol en el noreste de Bahía, Brasil. Para transferir una característica recesiva, se requeriría una generación adicional de autofecundación después de la primera retrocruza y cada retrocruzamiento sucesivo. Se considera que tres o cuatro retrocruzamientos son adecuados para recuperar la mayoría de los genes del progenitor recurrente. El retrocruzamiento es un método más seguro pero aumenta la carga de cruzamientos y, con frecuencia, no conduce a cultivares muy diferentes al padre recurrente.

Selección en generaciones tempranas y entre-cruzamiento-selección recurrente

Este método es especialmente útil para recombinar dos o más características o diferentes mecanismos y genes para cada característica en un germoplasma común. Si se pueden producir tres o cuatro cultivos/año, como en el caso de CIAT-Palmira, el método tiene una ventaja adicional puesto que se puede completar un ciclo de mejoramiento en un año. Como se ilustra en la Figura 3, hemos utilizado con éxito este método para transferir características de arquitectura (hojas y vainas pequeñas, longitud de entrenudos, fortaleza del tallo, etc.) de líneas de frijol de semilla pequeña a líneas de tipos de semilla medianas. El principal factor que ha limitado el uso de este método es la dependencia en cada ciclo, de los cruces por emasculación y polinización manual.

Facilidades de evaluación o screening

Entre otros factores, la efectividad de la selección depende de la disponibilidad de métodos adecuados de evaluación que maximicen las diferencias genéticas entre los genotipos y que, por consiguiente, faciliten la identificación y selección de los genotipos recombinantes deseables. Además, el método de evaluación de germoplasma debe ser: 1) simple y económico, y 2) fácil de adoptar y repetible. En el caso de enfermedades como la antracnosis y la mancha angular, con frecuencia es necesario hacer evaluaciones tanto en el campo como en invernadero, con el fin de eliminar posibles escapes, seleccionar por diferentes mecanismos o evaluar por diferentes razas o cepas, algunas de las cuales no se podrían utilizar en inoculaciones de campo.

La evaluación y selección simultánea por dos o más factores en el mismo vivero podría ser posible si los requerimientos son compatibles; por ejemplo, la antracnosis y la mancha angular o el añublo bacteriano común y la roya. Sin embargo, hay ocasiones en que no es factible (por ejemplo, sequía y mustia hilachosa) debido a que los requerimientos climáticos para los dos factores simplemente son opuestos (seco vs. muy húmedo). En dichos casos las poblaciones híbridas se pueden exponer a cada presión en generaciones alternas o la semilla de familias y líneas avanzadas se puede

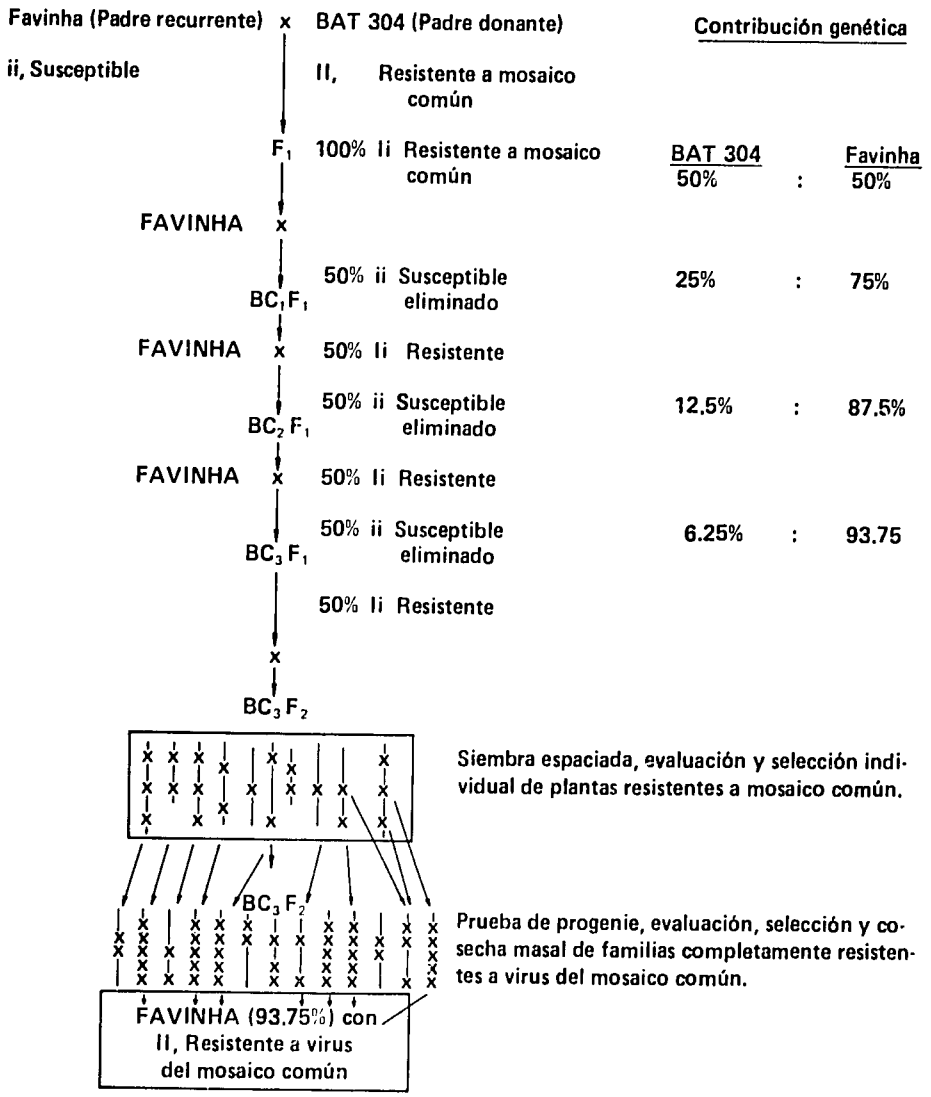


Figura 2. Método de mejoramiento por retrocruzamiento para la transferencia del gene dominante II de resistencia para virus del mosaico común (VMC) al cultivar Favinha de Bahía, Brasil.

Ciclo y generación	Actividad	Mes
C_0P	Selección y cruzamiento	Enero
↓		
C_0F_1	Verificación de híbridos, selección y cruzamiento	Mayo
↓		
C_0F_1	Verificación de híbridos, evaluación y cruzamiento	Septiembre
↓		
C_0F_1	Avance de la generación	Enero
↓		
C_0F_2	Siembra espaciada, evaluación y selección de plantas individuales	Mayo
↓		
C_0F_3	Prueba de progenie, selección y entrecruzamiento para siguiente ciclo	Septiembre
↓		
C_1F_1	Verificación de híbridos, selección y avance de la generación	Enero
↓		
C_1F_2	Siembra espaciada, evaluación y selección de plantas individuales	Mayo
↓		
C_1F_3	Prueba de progenie, selección y entrecrucamiento para siguiente ciclo	Septiembre
↓		
C_2F_1	Verificación de híbridos, selección y avance de la generación	Enero

Figura 3. Método de selección en generaciones tempranas (F_3) y cruzamiento (EGSI) para el mejoramiento del frijol en el CIAT.

dividir para selección en dos viveros diferentes. La selección y evaluación independiente pero simultánea a partir de las generaciones, en CIAT con frecuencia se hacen en viveros complementarios para el virus del mosaico común (invernadero en Palmira), antracnosis (en el campo de Popayán), mancha angular (en el campo en Quilichao), añublo bacteriano común (en el campo en Quilichao), etc. La colaboración existente de las respectivas disciplinas es la clave del éxito y permite la selección simultánea de varias características. La calidad de todas las selecciones de campo se mejora mediante el uso amplio de hileras diseminadoras susceptibles, testigos, inoculaciones oportunas y repetidas y un manejo agronómico excelente. Los materiales diseminadores susceptibles ayudan a aumentar las presiones naturales por enfermedades e insectos y su distribución uniforme en el vivero. El uso de diferentes tipos de testigos (cultivares comerciales, líneas élite, testigos nacionales e internacionales) sirve de guía o punto de referencia, ayuda en el proceso de seleccion y asegura el progreso genético.

Manejo Agronómico

El manejo agronómico puede incluir la corrección de suelos y el uso de fertilizantes, la preparación del terreno, el método de siembra, la densidad de plantas, el control de malezas, el riego, el tamaño de la parcela, el nivel de control de enfermedades e insectos plaga, etc. Todas estas prácticas y los sistemas de cultivo que prevalecen en las regiones de producción se deben tener en cuenta para el manejo de las poblaciones híbridas y la evaluación y selección de líneas experimentales.

Los cultivares de frijol trepador que se cultivarán en asociación con maíz y otros cultivos se deben evaluar tempranamente en el proceso de selección para la identificación de genotipos competitivos apropiados. Es tradicional imprimirle a los genotipos un estrés moderado de varios factores si los nuevos cultivares se utilizaran en un ambiente de estrés.

Por el contrario, en el caso de la selección de líneas de frijol de alto rendimiento para ambientes óptimos, se aplican todos los insumos necesarios.

Toma de Datos y Selección

Los datos de cada característica se deben tomar en la etapa de crecimiento apropiada. Por ejemplo, la evaluación de enfermedades y plagas foliares (por ejemplo mosaico común, mosaico amarillo, mosaico dorado, achaparramiento, roya y Empoasca) se debe hacer antes o durante la floración. La evaluación por añublo bacteriano común, antracnosis, mancha angular, Ascochyta, etc., debe hacerse antes o durante la floración y después que las vainas estén bien desarrolladas. La selección por tipo de frijol y rendimiento no se puede hacer sino hasta después de la cosecha.

En los programas de mejoramiento genético, rara vez se practica la selección por una sola característica en un momento determinado. Cuando se requiere seleccionar por dos o más características, el método común es el "consecutivo" y la prioridad se establece para una selección secuencial; por ejemplo, tipo de frijol, rendimiento, hábito de crecimiento, madurez, BCMV, etc. Todas las líneas experimentales desarrolladas en el CIAT deben ser resistentes al BCMV.

Codificación de Líneas Experimentales

Para las generaciones F7 o F8, la mayoría de las características agronómicas, incluyendo la resistencia a enfermedades y plagas, ya están fijas y las líneas se convierten en verdaderas líneas puras; es decir, ya no es posible hacer mayores selecciones dentro de una línea debido a la falta de variación genética. Cuando esto ocurre, las líneas seleccionadas se pueden codificar y entrar a un programa de evaluación mas minucioso para identificación de nuevos cultivares. El código de una nueva línea experimental puede indicar el proyecto, la institución, el año, el grupo de madurez, el tipo de frijol, el área de adaptación, etc.

En el CIAT se utiliza un código de una o tres letras (A, V, BAT, EMP, XAN, MAM, ABA, ZAV, VCB, etc.) para codificar las nuevas líneas experimentales. La codificación indica la terminación del proceso de mejoramiento y también facilita la identificación de los materiales en las evaluaciones posteriores.

Evaluación de líneas experimentales e identificación de nuevos cultivares

Es tradicional realizar evaluaciones de germoplasma en tres o más etapas secuenciales. Siempre se debe tener en cuenta el número total de años requerido para completar el proceso de evaluación, el cual no debe ser superior a tres años. Todo el germoplasma disponible, incluyendo las líneas experimentales mejoradas, las accesiones promisorias de los bancos de germoplasma y las introducciones recibidas de otras instituciones, deben evaluarse juntas. El número total de entradas y la cantidad de semillas disponibles pueden ser factores críticos en el esquema de evaluación. De igual manera, el número de sitios disponibles para las pruebas y la colaboración que se reciba de las diferentes disciplinas determinan la eficiencia y la calidad de los datos obtenidos. Los sitios de evaluación deben ser contrastantes y representativos del área de producción.

El germoplasma se debe agrupar según el tipo del frijol, el hábito de crecimiento, la madurez, la zona de adaptación, el sistema de cultivo, etc., para hacer evaluaciones apropiadas. En todas las etapas de las evaluaciones se deben utilizar diseminadores susceptibles y testigos confiables comerciales, élites, nacionales e internacionales. Para la evaluación del germoplasma y la identificación de nuevos cultivares se puede emplear el siguiente programa de evaluaciones de tres etapas:

Vivero de Adaptación

Este se caracteriza por un gran número (más de 50) de entradas que, con frecuencia, se prueban en una parcela de tres o cuatro hileras cada una de 5 m de longitud, sin repeticiones.

Al inicio del vivero y cada diez parcelas se siembra un testigo. El vivero se siembra en tres o más sitios claves para su evaluación por adaptación. Además, es necesario formar viveros complementarios para evaluaciones específicas para cada factor limitativo de la producción, como por ejemplo VMC, antracnosis, añublo bacteriano común, etc. Todos los datos disponibles se utilizan para descartar los materiales que presenten un mal comportamiento y para seleccionar las entradas promisorias que pasarán al ensayo preliminar de rendimiento.

Ensayo Preliminar de Rendimiento

Este es el primer ensayo repetido de rendimiento de materiales seleccionados a partir del vivero de adaptación. Las entradas seleccionadas son más de 25, se pueden organizar dos o más ensayos separados. Generalmente cada parcela tiene cuatro hileras de 5 m de longitud y con cuatro repeticiones. El ensayo se realiza en todos los sitios donde se sembró el vivero de adaptación. Además se debe realizar en otros sitios (un total de 10 o más) que cubran la totalidad de la región productora. Se deben sembrar viveros complementarios especialmente para factores que no fueron cubiertos en la primera etapa por ejemplo, sequía, tolerancia a bajo fósforo, etc. Con base en los datos obtenidos todas las entradas inferiores a los testigos se descartan y sólo se seleccionan las más promisorias para la etapa final de evaluación: - La prueba regional de rendimiento.

Prueba Regional de Rendimiento

En esta etapa final de evaluación se ensayan no más de 8-12 líneas de las más promisorias en un máximo número de localidades (que sean mayor o igual a 25), incluyendo algunos en campos de agricultores. El tamaño de la parcela es de seis a ocho hileras de 10 m de longitud cada una, con cuatro repeticiones. Además, las mejores cuatro o cinco entradas seleccionadas con base en la información de los ensayos anteriores, se siembran en parcelas semicomerciales (de aproximadamente 500 m2) manejadas por agricultores en el mayor número de sitios que sea posible.

La participación de los agricultores en el proceso de evaluación y selección en esta etapa es clave para la identificación exitosa de nuevos cultivares y su aceptacion eventual y comercialización. Las pruebas regionales de rendimiento se pueden repetir por años adicionales si así se requiere.

Es obligatorio multiplicar simultáneamente semillas de todas las entradas en cada etapa de evaluación. Esto permite la disponibilidad de una cantidad adecuada de semilla para la etapa posterior de evaluación y la diseminación rápida de nuevos cultivares después de haber terminado la evaluación. Las instituciones de investigación, las organizaciones comerciales y privadas de semillas y los agricultores deben todos participar en la multiplicación de semilla.

Comercialización de nuevos cultivares

Los cultivares recién identificados se deben registrar (si así lo requiere la ley), documentar, multiplicar y distribuir tan pronto como sea posible. Es crucial una verdadera superioridad genética de los nuevos cultivares y la máxima participación de los agricultores. La ganancia genética ofrecida por los nuevos cultivares puede ofrecer ventajas en el rendimiento y calidad, reducir los costos de los insumos, ciclo de cultivo y/o ajustarse mejor en los sistemas de cultivo. Se deben imprimir boletines o panfletos especiales y, con frecuencia se utilizan técnicas modernas de comunicaciones (TV., radio, días de campo) para una difusión rápida de los nuevos cultivares. Es necesario preparar un informe de progresos para tener información y justificación de la continuación del programa de mejoramiento genético.

BIBLIOGRAFIA

1. Introduction to Plant Breeding. Fred N. Briggs and P. Knowles. 1967. Reinhold Publishing Corporation, New York.

2. Principles of Plant Breeding. R.W. Allard. 1960. John Wiley & Sons, Inc., New York.

3. Common Beans (Phaseolus vulgaris L.). D.R. Laing, P.G. Jones and J.H.C. Davis. 1984. In The Physiology of Tropical Field Crops edited by P.R. Goldsworthy and N.M. Fisher, John Wiley & Sons Ltda., Ney York.

4. Cytogenetics of the Vegetable Crops IV Legumes. S.H. Yarnell. 1965, Botanical Review 31: 250-330.

INTERACCIONES DE GENOTIPOS POR SISTEMA DE CULTIVO EN FRIJOL Y MAIZ

Jeremy H.C. Davis

Es posible que las variedades que son destinadas para sistemas de cultivos múltiples deban ser mejoradas específicamente para ese propósito, pero hasta ahora son muy pocos los mejoradores que han seleccionado conscientemente sus variedades para estos sistemas de cultivo. El objetivo del presente trabajo es examinar la evidencia por esta hipótesis con miras al desarrollo de una metodología eficiente para la selección de nuevas variedades de frijol.

A- Evaluación de variedades de frijol en dos sistemas de cultivo

Se iniciaron evaluaciones de frijol arbustivo y frijol voluble en unicultivo y en asociación con maíz en dos ensayos en CIAT. Entre las variedades se incluyeron ICA-Pijao y Porrillo Sintético (G4495) como arbustivas. De las variedades volubles se incluyeron Trujillo 4 (G3873), Rojo 70 (G5701), G2525 y G2524. En el sistema de unicultivo de frijol voluble se usó soporte de guadua y alambre con hilos de polipropileno. En la asociación con maíz se sembró el híbrido comercial ICA H-207. Estos sistemas se muestran en las Figuras 1 y 2.

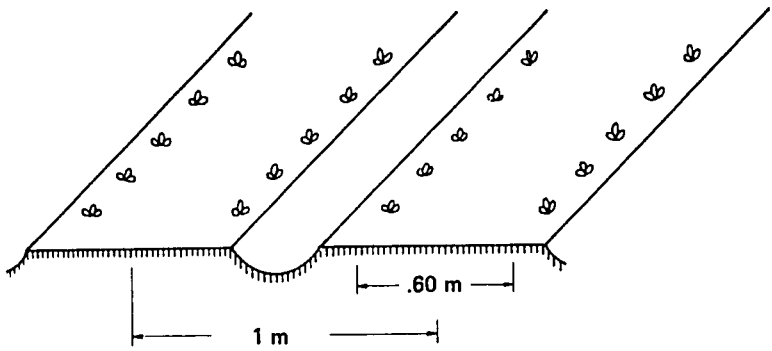
En el cuadro 1 se muestran los resultados obtenidos de los análisis de varianza. Los rendimientos y correlaciones entre sistemas en dos ensayos se resumen en las Figuras 3 y 4. Se concluye:

1. Sólo las variedades de frijol voluble tuvieron un efecto significativo sobre el rendimiento de maíz, con una relación negativa entre rendimientos de frijol y maíz en los dos ensayos ($r = -0.33$ y -0.48^*) debido a la competencia entre el frijol voluble y el maíz.

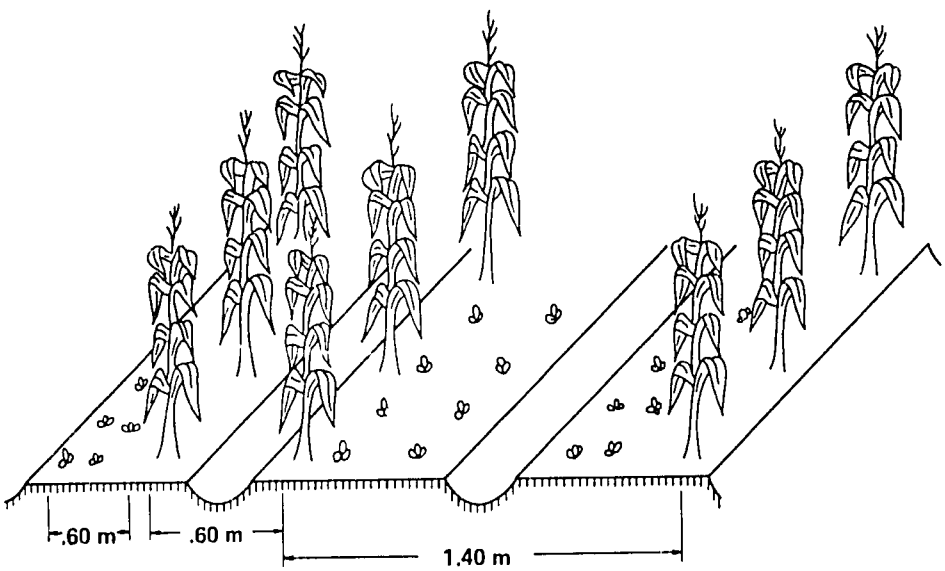
2. En cada ensayo, tanto de frijol arbustivo como de voluble, hubo un cociente de varianza (Prueba F) más grande entre variedades en unicultivo que en asociación. Quiere decir que se puede separar y seleccionar variedades para rendimiento con más exactitud en el sistema de unicultivo, bajo las mismas condiciones experimentales (tamaño de parcela y número de repeticiones).

3. El valor de la segunda conclusión depende de la magnitud de la interacción variedad x sistema de cultivo. En los frijoles arbustivos el efecto fue mucho menor que en los volubles (Cuadro 1), apenas significativo. Por otra parte, las correlaciones entre rendimientos en unicultivo y en asociación (Figuras 3 y 4) fueron muy parecidas en arbustivos y volubles, lo que sugiere un tipo de interacción en volubles en el cual no cambia mucho el orden de las variedades en términos de rango en los dos sistemas de cultivo.

Para arbustivos, por lo tanto, la relación entre rendimientos en los dos sistemas es suficientemente buena para permitir la selección de frijol en un sistema, para después aplicar los resultados (variedades) en el otro (Francis et al., 1978). Es obvio que es más fácil probar los materiales en el sistema de unicultivo.

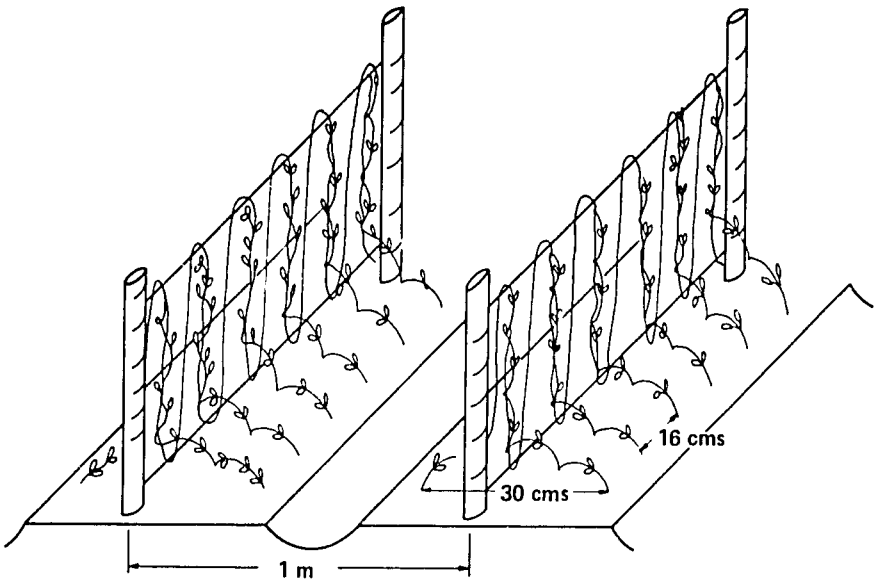


1. Unicultivos de Frijol Arbustivo (250.000 plantas/ha).

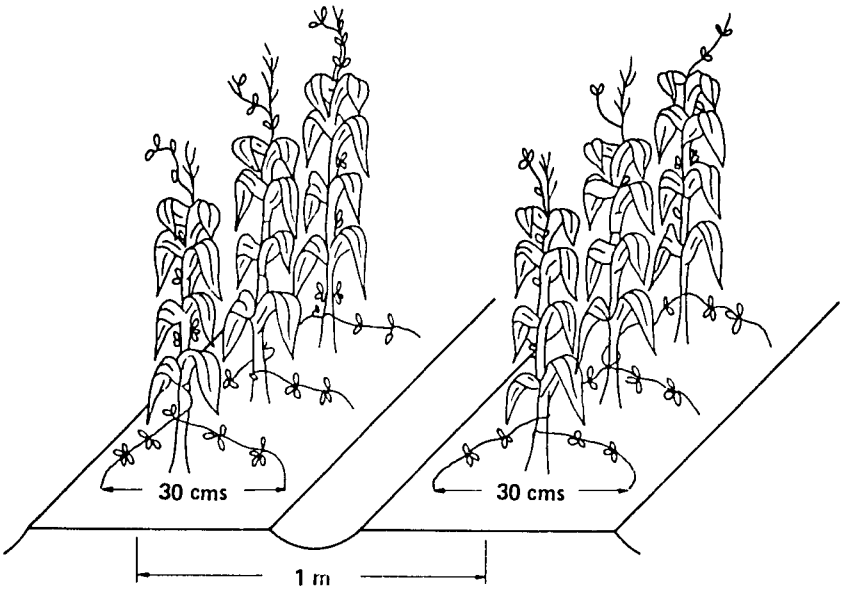


2. Frijol Arbustivo (250.000 plantas/ha) y Maíz (40.000 plantas/ha).

Figura 1. Dos sistemas agronómicos para la evaluación de germoplasma de frijol arbustivo.



1. Unicultivo de Frijol voluble (120.000 plantas/ha).



2. Frijol voluble (120.000 plantas/ha) y Maíz (40.000 plantas/ha)

Figura 2. Dos sistemas agronómicos para la evaluación del germoplasma de frijol voluble.

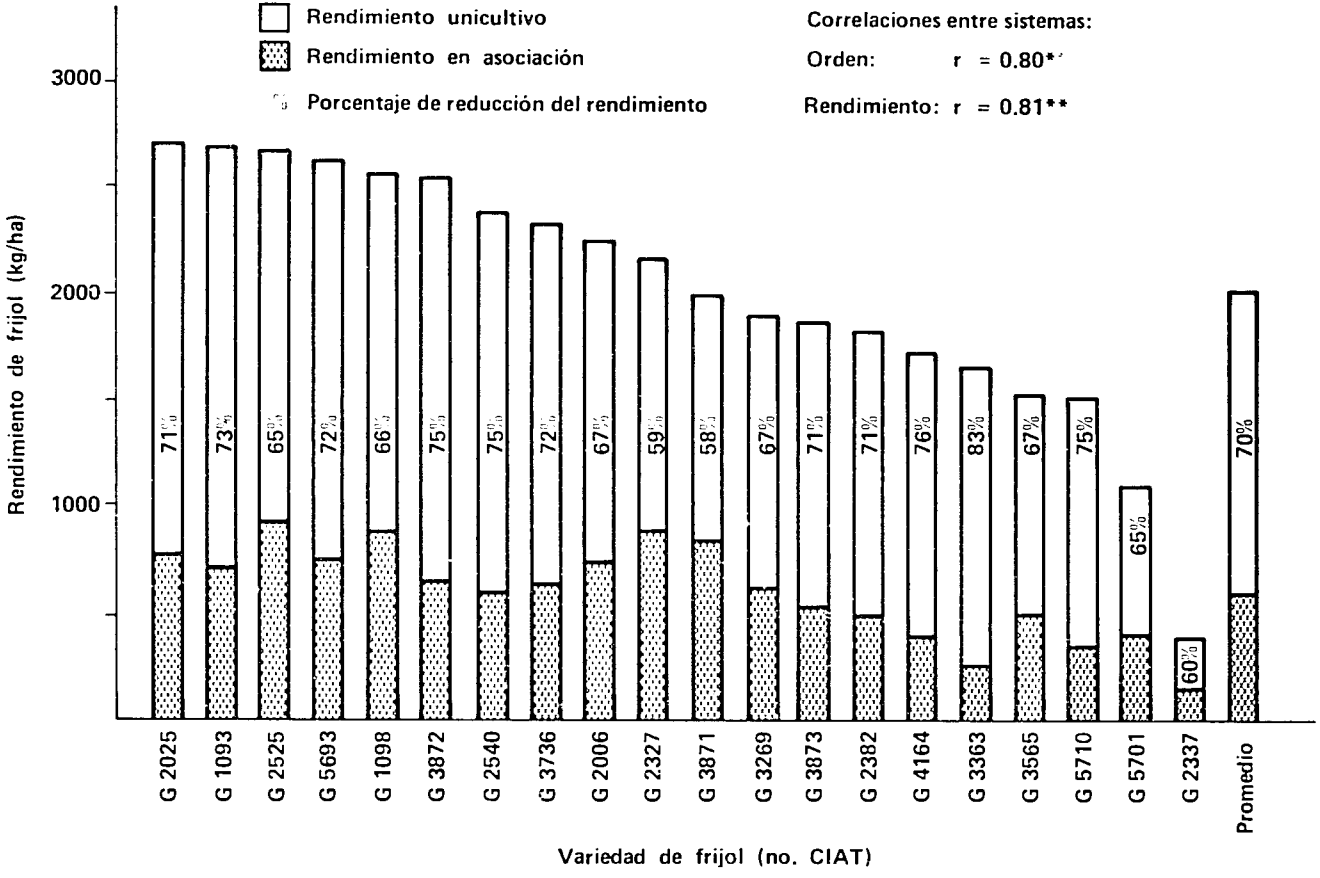


Figura 3. Rendimiento del frijol voluble (kg/ha) obtenido de dos sistemas de cultivo. (Ensayo 7605).

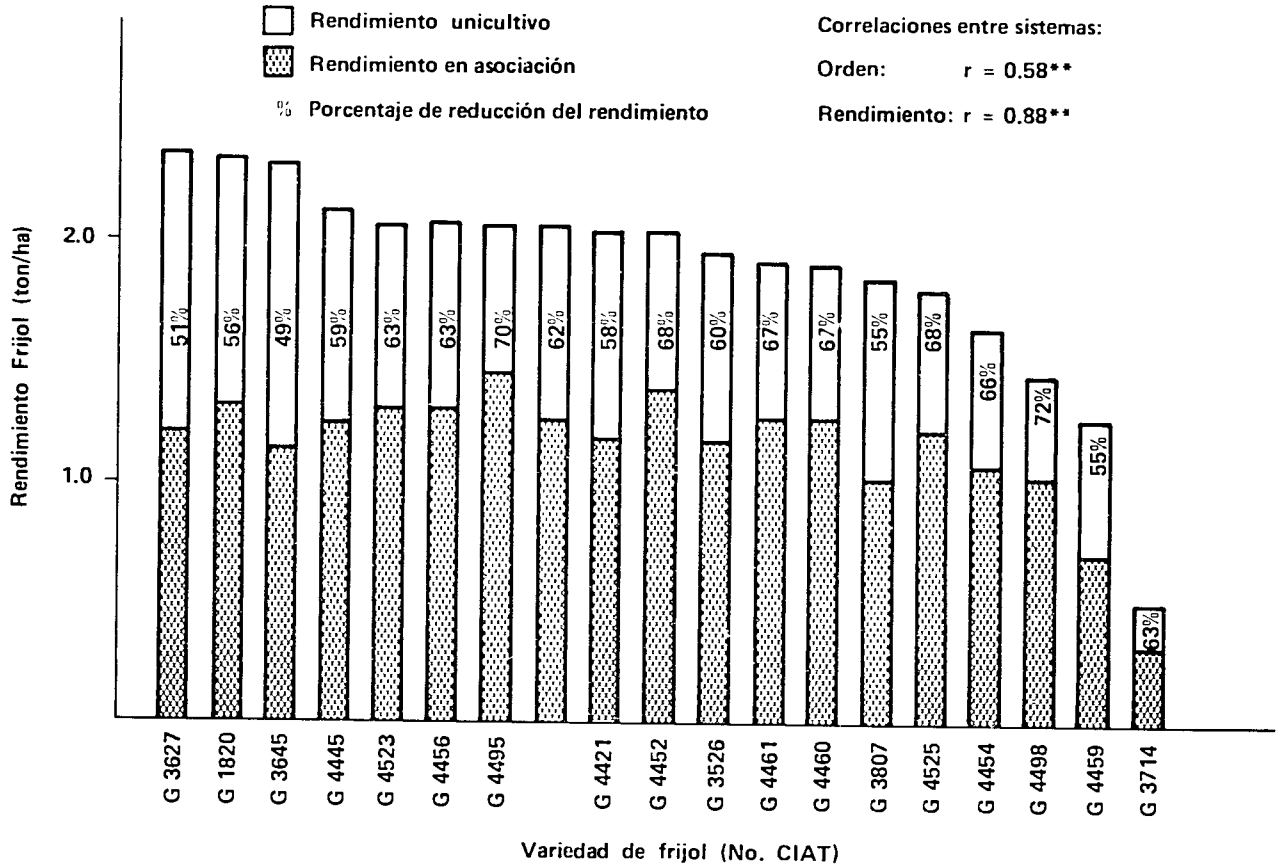


Figura 4. Rendimientos y órdenes de frijol arbustivo en dos sistemas. Ensayo 7607.

Cuadro 1. Análisis de varianza de rendimiento en dos ensayos de genotipos de frijol (20 variedades) por sistema (unicultivo y asociación).

	Ensayo (semestre)	Prueba F	
		Arbustivo	Voluble
Efecto variedad de frijol sobre rendimiento maíz	1	1.16	2.36**
	2	1.33	4.26***
Variedades de frijol en asociación	1	5.82***	8.36***
	2	1.76	2.77**
Variedades de frijol en unicultivo	1	9.53***	8.61***
	2	3.14***	6.52***
Variedades x sistema	1	1.79*	4.15***
	2	1.46	3.68
Sistemas	1	305.42***	846.69***
	2	958.40	2303.01***

Para volubles, por otra parte, existe una interacción significativa entre sistemas de cultivo, lo cual significa que es necesario probar los materiales bajo el sistema más indicado para el agricultor de la zona.

En parte, estos resultados pueden explicarse en términos de la capacidad diferencial de las variedades de frijol para aprovechar el soporte que ofrece el maíz. Es decir, hay un efecto negativo del maíz sobre el frijol debido a la competencia, y a la vez hay un efecto potencialmente positivo que es el soporte que le da al frijol si éste tiene capacidad para trepar. El balance que se logra entre estos dos factores opuestos depende principalmente de las fechas relativas de siembra y de los genotipos de frijol y de maíz.

Evaluación de genotipos de maíz en dos sistemas de cultivos

Se evaluaron 20 genotipos de maíz en unicultivo y en asociación con dos tipos de frijol (hábitos II y IV) en CIAT. Los rendimientos de maíz en los tres sistemas de cultivo (unicultivo, asociado con arbustivo y con voluble) se muestran en la Figura 5.

Las conclusiones son así:

1. El análisis de varianza mostró que hubo una interacción significativa de rendimiento de maíz por siembra. Por otra parte, hubo correlaciones altas entre rendimientos en los tres sistemas (Cuadro 2).

Cuadro 2. Correlaciones para rendimientos de 20 genotipos de maíz en tres sistemas, en dos ensayos.

	Unicultivo	Asociación con Tipo II
Asociación con Tipo II	0.90*** 0.58**	-- --
Asociación con Tipo IV	0.89*** 0.73***	0.93*** 0.81***

2. Hubo más reducción del rendimiento de maíz en asociación con el frijol voluble (Figura 5).

3. Hubo menos reducción en el rendimiento de maíces altos con el frijol voluble (Figura 6). Se observó siempre menos acame de raíz del maíz en asociación (Cuadro 3). En muchos ensayos anteriores con maíces altos y con tendencia al acame de la raíz, este hecho ha resultado en diferencias no significativas entre rendimientos de maíz en asociación y en unicultivo. Por otra parte, se observó normalmente un poco más acame del tallo en asociación (Cuadro 3).

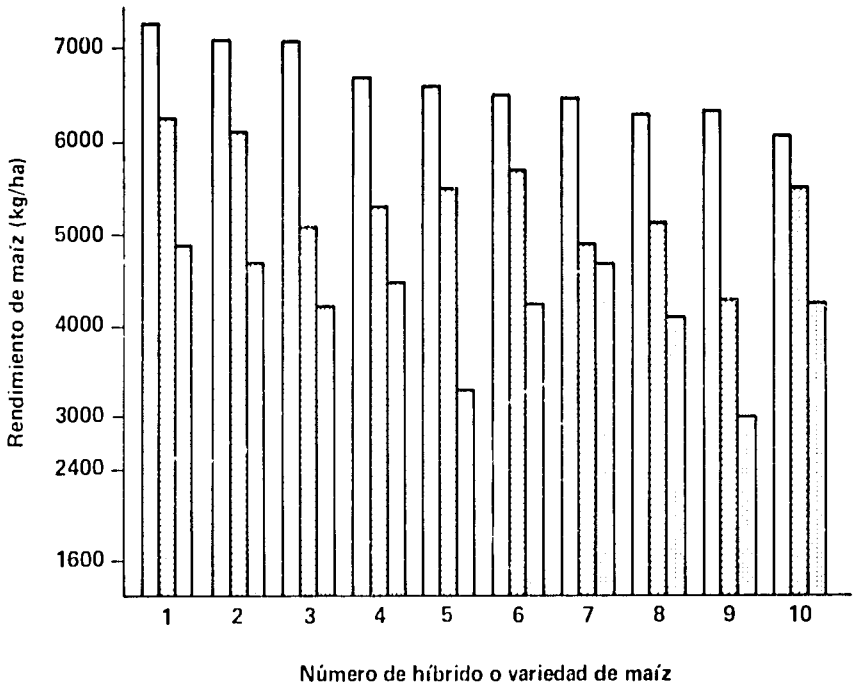
Parece, por lo tanto, que existe una interacción de genotipos de maíz por sistema de cultivo, pero que esta interacción puede ser interpretada en términos de la altura del maíz y su tendencia al acame, o sea el hábito de crecimiento del maíz.

B- Evaluación de varios genotipos de maíz con varios genotipos de frijol

Para investigar si se puede explicar una porción de la interacción de genotipos por sistema en términos del hábito de crecimiento tanto de maíz como de frijol, se sembró un ensayo en CIAT con tres genotipos de maíz y diez genotipos de frijol voluble, con diferentes hábitos de crecimiento.

Los maíces fueron así: ICA H-210, hábito braquítico (2 m de altura); Suwan-1, una selección del CIMMYT de altura intermedia (aprox. 2.5 m); y La Posta, una selección alta del CIMMYT (altura de aprox. 3 m). Casi no hubo volcamiento en el ensayo. La Posta rindió más que Suwan-1 consistentemente y los dos produjeron más que el ICA H-210 en asociación con densidad de 40,000 pl/ha (Figura 7). Por otra parte, Suwan-1 permitió más rendimiento de frijol en la mayoría de los casos. La Figura 7 muestra una relación negativa en general entre los rendimientos de frijol y maíz típica de la competencia entre dos especies.

No hubo interacción significativa entre genotipos de frijol con genotipos de maíz (Cuadro 4), pero si hubo una interacción entre



IDENTIFICACION

1 = Mezcla Tropical
2 = ICA H-209
3 = Antigua X Rep. Dom.
4 = Amarillo Subtropical
5 = Tuxpeño Caribe 2
6 = ICA H-207
7 = ICA H-253
8 = Blanco Subtropical
9 = PD (MS-6) H.E.-O_2
10 = ETO

☐ Monocultivo Maíz
▨ Asociación con G4495
▨ Asociación con frijol G2525

Figura 5. Comparación del rendimiento entre 10 maices en monocultivo y en asociación con frijol G4495 y G2525.

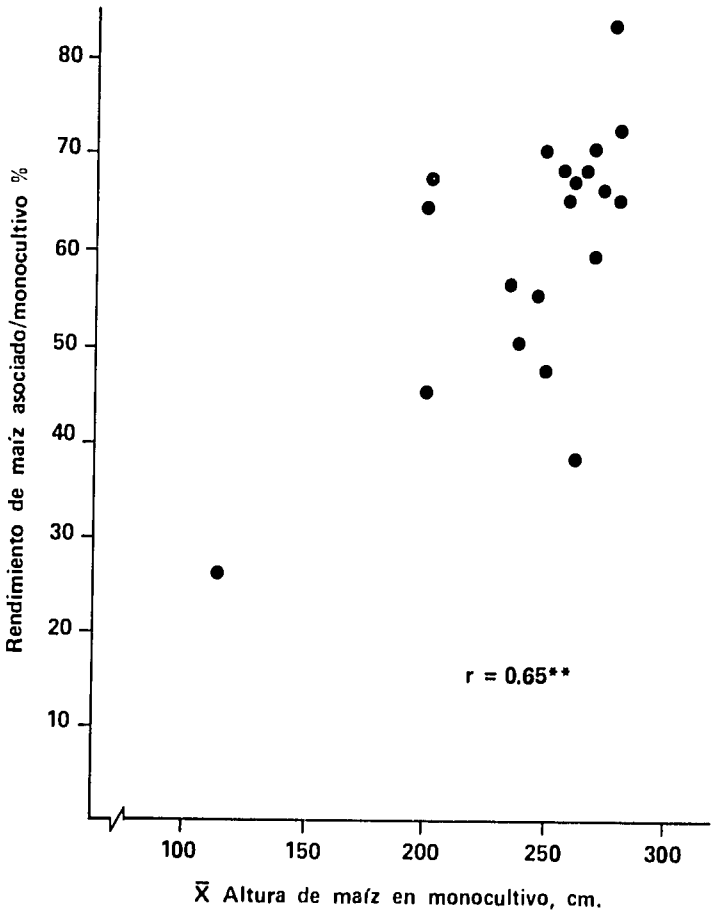


Figura 6. Relación de la reducción del rendimiento de maíz en asociación con la altura de la planta. 7623 Frijol Asociado = Voluble G 2525.

Cuadro 3. Rendimiento de siete genotipos de maíz asociados con frijol voluble (G2525) en unicultivo.

Genotipo	Rendimiento asociación/ unicultivo (%)	Altura en unicultivo (cm)	Acame del tallo (%)		Acame de la raíz (%)	
			unicultivo	asociación	unicultivo	asociación
ICA H-209	139	262	1	4	77	17
La Posta	76	256	1	6	43	25
Antig. x Rep. Dom.	89	246	2	9	81	51
Am. Subtropical	81	232	1	26	87	41
ICA H-210	65	191	1	0	2	2
Mezcla Trop. Blanco	78	249	3	1	22	8
ICA-7431 Br. 2	79	228	1	0	6	2

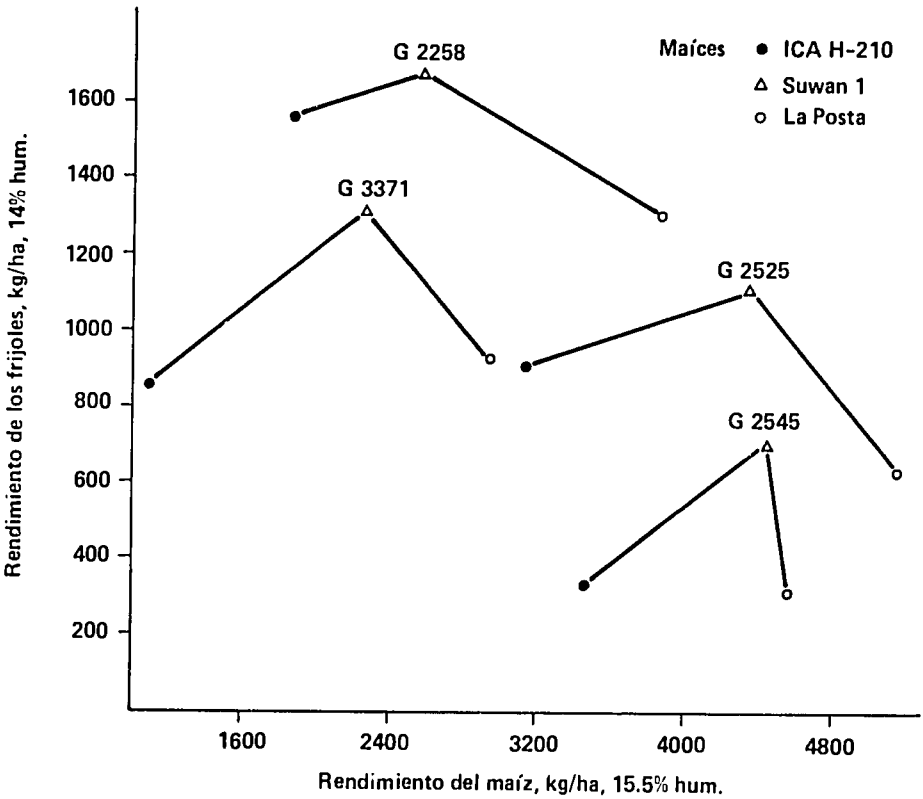


Figura 7. Rendimientos de 4 variedades trepadoras de frijol y tres maíces. CIAT 7817.

Cuadro 4. Rendimientos (kg/ha 14% humedad) de 10 variedades de frijol voluble en unicultivo (espaldera) y asociados con tres maíces.

N° CIAT	Hábito de crecimiento	Unicultivo	H-210	Suwan-1	La Posta	Asociación promedio	Asociación/ unicultivo (%)
G2258	IVb	3499	1563	1669	1298	1510	43
G3371	IVb	2062	856	1320	924	1033	50
G2525	IVa	3610	902	1108	636	882	24
G380	IVa	3214	1205	526	668	799	25
G2006	IIIb	3513	893	762	656	770	22
G2801	IVa	3872	821	825	640	762	20
G3872	IVa	3263	851	737	603	730	22
G4446	IIIb	3310	597	509	476	527	16
G2545	IVa	1762	343	704	321	456	26
G3465	IIIb	1757	371	313	268	317	18
Promedio		2986	840	846	649	779	26
L.S.D. (5%)		519	364	364	364	210	
Prueba F		21.15 ***	7.99 ***	10.14 ***	5.25 ***	20.03 ***	

unicultivo y asociación. La interacción puede explicarse en parte en términos de hábito de crecimiento, las dos variedades muy vigorosas de frijol (G2258 y P503) produciendo mucho mejor en asociación que en unicultivo en relación a las otras variedades. Son clasificadas como hábito IVb. Se describen los hábitos de crecimiento a continuación:

Tipo IVb — Trepador vigoroso con la ramificación y la carga de vainas más que todo en la parte superior de la planta.

Tipo IVa — Trepador con la ramificación y la carga de vainas repartidas a todo lo largo de la planta.

Tipo IIIb — Trepador facultativo con mucha ramificación y la carga de vainas principalmente hacia la parte inferior de la planta.

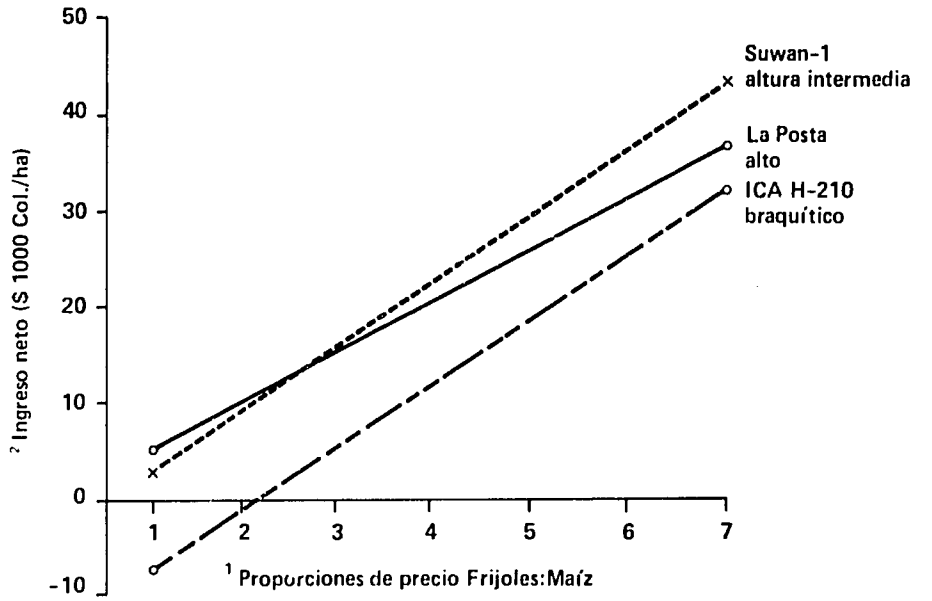
Para maximizar la eficiencia de la prueba de rendimiento de frijol en asociación, Suwan-1 fue el maíz más útil en cuanto a la diferencia entre rendimientos de variedades de frijol (Prueba F, Cuadro 4). Esto se puede atribuir a las siguientes características: altura intermedia, hojas relativamente angostas y resistencia al volcamiento. También el maíz fue más productivo económicamente para la asociación por encima de una relación de precios de 3:1 de frijol: maíz (Fig. 8) porque permitió más producción de frijol.

Se compararon las variedades de más alto rendimiento de frijol de cada hábito de crecimiento (Figura 9). A la relación de precios de 3:1 no hubo diferencia en ingreso neto entre los hábitos IVb y IVa, Por encima de 3:1 el tipo IVb (G2258) se mostraba siempre más ventajoso, debido al rendimiento más alto de frijol y al hecho de que el rendimiento reducido del maíz tenía menos efecto en el ingreso neto.

El frijol trepador IVb también puede compensar mejor por las bajas densidades de siembra, lo cual es una ventaja para el agricultor. Sin embargo, el frijol de vigor intermedio (IVa) rindió mejor en unicultivo y probablemente estos frijoles de menos vigor sean los mejores para la siembra en relevo con maíz. El tipo IIIb puede ser el más indicado para sistemas de relevo con maíz donde haya necesidad de precocidad (corto período de lluvias), competencia fuerte con malezas y para sembrar con un maíz que no provea suficiente soporte para un frijol voluble vigoroso.

Conclusiones

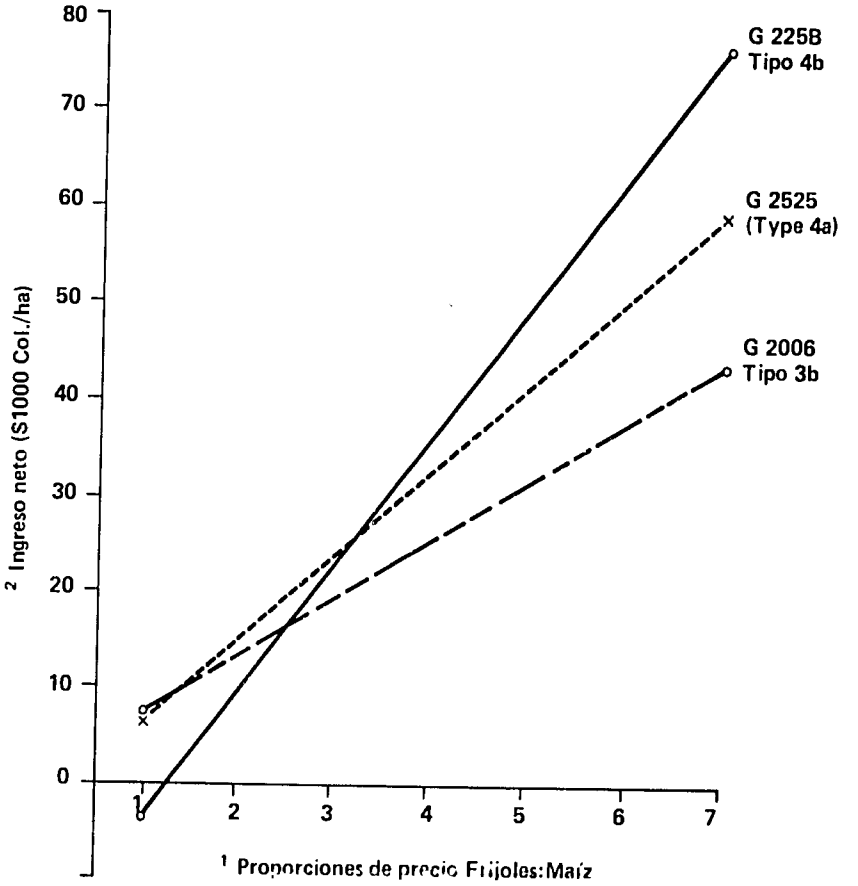
Según los datos disponibles hasta ahora, aparentemente existen combinaciones de genotipos de maíz y frijol que son mejores y que los genotipos involucrados en las mejores combinaciones no son necesariamente los de mejor producción en unicultivo. Sin embargo, la evidencia indica que si se toman en cuenta algunas características de la planta, tanto de maíz como de frijol, se puede predecir hasta cierto punto las mejores combinaciones.



[1] Precio del maíz constante a $8 Col./kg.

[2] Costos totales estimados de este ensayo = $37,317 Co./ha

Figura 8. Ingreso neto en varias proporciones de precios frijol:maíz, para tres genotipos de maíz en asociación con 10 variedades de frijol trepador. (Datos utilizados, rendimiento promedio). CIAT, 7817.



[1] Precio del maíz constante a $9 Co./kg.
[2] Costos totales estimados de este ensayo 37317 Col./ha

Figura 9. Ingreso neto en varias proporciones de precios frijol:maíz para las variedades de frijol más rendidoras de cada tipo de planta en asociación con Suwan 1. CIAT, 7817.

BIBLIOGRAFIA

1. Davis, J.H.C. y García, S. 1983. Competitive Ability and Growth Habit of Indeterminate Beans and Maize for Intercropping. Field Crops Research 6(1).

2. Francis, C.A.; Prager, M.; Laing, D.R.; y Flor, C.A. 1978. Genotype x Environment Interactions in Bush Bean Cultivars in Monoculture and Associated with Maize. Crop. Sci. 18, 237-241.

3. Francis, C.A.; Prager, M.; Laing, D.R. 1978. Genotype x Environment Interactions in Climbing Bean Cultivars in Monoculture and Associated with Maize. Crop Sci. 18, 242-246.

4. Ortiz, M.V. y Davis, J.H.C. 1982. Efectos del Hábito de Crecimiento y la Altura del Tutor sobre el Rendimiento del Frijol. Hojas de Frijol para América Latina, CIAT, Octubre 1982.

5. Singh, S.P. 1982. Clave para Identificar Diferentes Hábitos de Crecimiento en Frijol Común. Hojas de Frijol para América Latina, CIAT, Octubre 1982.

CAPITULO III
ENFERMEDADES QUE ATACAN AL CULTIVO DE FRIJOL

PAGINA

CONCEPTOS BASICOS SOBRE PATOLOGIA DE FRIJOL..... 145
M.A. Pastor C.

TECNICAS, MATERIALES Y METODOS UTILIZADOS EN LA EVALUACION DE FRIJOL POR SU REACCION A LAS ENFERMEDADES..... 157
M.A. Pastor C.

ENFERMEDADES CAUSADAS POR HONGOS
M.A. Pastor C.

A - ENFERMEDADES DE LAS PARTES AEREAS..... 169

ROYA
ANTRACNOSIS
MANCHA ANGULAR
MUSTIA HILACHOSA
MANCHA FOLIAR POR ASCOCHYTA
PUDRICION GRIS POR MACROPHOMINA

B - ENFERMEDADES DE LAS PARTES SUBTERRANEAS..... 197

PUDRICIONES RADICALES POR:

RHIZOCTONIA
FUSARIUM
PYTHIUM

AMARILLAMIENTO POR FUSARIUM

ENFERMEDADES CAUSADAS POR BACTERIAS..... 207
M.A. Pastor C.

ANUBLO DE HALO
ANUBLO BACTERIANO COMUN

ENFERMEDADES CAUSADAS POR VIRUS..... 217
F. Morales

MOSAICO COMUN
MOSAICO AMARILLO
MOSAICO DORADO
MOSAICO CLOROTICO
MOSAICO RUGOSO

CONCEPTOS BASICOS SOBRE PATOLOGIA DEL FRIJOL

Marcial Pastor Corrales

El frijol común, Phaseolus vulgaris, como todo cultivo, depende para su desarrollo y óptima productividad de la disponibilidad de nutrimentos y agua, del mantenimiento, dentro de ciertos rangos, de factores ambientales como la temperatura, la humedad relativa y la luminosidad y también de la ausencia de parásitos. Cualquier factor que afecte el bienestar del cultivo probablemente afectará también su desarrollo y rendimiento.

El frijol es un cultivo notoriamente susceptible a muchos factores adversos que pueden disminuir considerablemente su productividad. Estos factores se clasifican, en general, en tres grupos:

1. Factores biológicos, como plagas, enfermedades y malas hierbas.

2. Factores edáficos, como la falta o exceso de nutrimentos, el pH inadecuado y aun la estructura del suelo.

3. Factores climáticos como la sequía, el exceso de lluvias, las temperaturas muy altas o muy bajas.

El efecto de cada uno de estos factores en el desarrollo y rendimiento del frijol varía de una región a otra y es influenciado por:

1. La variedad o variedades sembradas.

2. El sistema de cultivo.

3. Las condiciones ambientales (climáticas y edáficas) prevalentes durante el ciclo de desarrollo del cultivo.

En muchas zonas frijoleras del mundo, las enfermedades son los factores más importantes responsables de los rendimientos bajos del cultivo. Se han reportado varios cientos de agentes que causan las enfermedades del frijol; sin embargo, no todos tienen una distribución geográfica, prevalencia o importancia económica iguales.

Es importante recordar, aunque parezca obvio, que para que una enfermedad ocurra y se desarrolle, es necesario que estén presentes tres factores: a) un hospedero o una variedad susceptible; b) la presencia del patógeno; c) las condiciones ambientales favorables para el desarrollo de la enfermedad. Así mismo se debe recordar que las enfermedades interfieren en la fabricación, translocación y utilización de fotosintato, de nutrimentos minerales y de agua y como resultado reducen la productividad del frijol.

Las enfermedades más importantes del frijol son causadas por hongos, bacterias y virus; los nematodos, por su distribución y movimiento restringido, tienen menos importancia como agentes causantes de enfermedades del frijol. Algunos patógenos del frijol tienen amplia distribución geográfica; en cambio otros están restringidos a zonas muy específicas. A pesar de la amplia distribución de algunos patógenos del frijol, éstos son más importantes en áreas donde las condiciones ambientales favorecen su supervivencia, multiplicación y diseminación.

Es posible, pues, generalizar que algunos patógenos del frijol están más comúnmente asociados con un tipo de clima. En climas cálidos es más común observar el mosaico común, el mosaico dorado, la bacteriosis o añublo bacterial común, la mustia, la roya y las pudriciones radicales y del tallo asociados con Sclerotium rolfsii y Macrophomina phaseolina. En climas fríos es más común encontrar añublo de halo, antracnosis, Ascochyta, Phytophthora, moho blanco y las pudriciones radicales asociadas con Rhizoctonia. La mancha angular es más común en los climas moderados. Sin embargo, es posible encontrar en una misma zona y en un mismo campo y aún en la misma variedad, ataques de por ejemplo, añublo común, añublo de halo, antracnosis, roya y mancha angular.

Por su amplia distribución o por su importancia económica, o por ambas razones, las enfermedades del frijol más importantes en América Latina son:

1. Enfermedades virales:

   - Mosaico común (BCMV)
   - Mosaico dorado (BGMV)

2. Enfermedades bacterianas:

   - Bacteriosis común o añublo bacterial común.
   - Añublo de halo

3. Enfermedades fungosas:

   - Antracnosis
   - Mancha angular
   - Roya
   - Mustia
   - Pudriciones radicales causadas generalmente por un complejo de hongos.

También pueden tener importancia económica, pero su distribución es más bien limitada, las siguientes enfermedades:

- Mosaico amarillo
- Moho blanco
- Ascochyta
- Phytophthora
- Enfermedades foliares: mildeo polvoso, mancha redonda, mancha gris.
- Nematodos de agalla.

Algunos principios importantes sobre enfermedades de plantas

Epidemiología

Esta disciplina se refiere, generalmente, al estudio de epidemias o el desarrollo de una enfermedad no en una planta individual sino en una población de plantas.

Es necesario recordar que para que la epidemia ocurra deben existir condiciones ambientales que favorezcan el desarrollo de la enfermedad en

un hospedero susceptible. Entonces los componentes críticos de la epidemia son: el hospedero susceptible, el patógeno, las condiciones ambientales favorables para la epidemia y el tiempo.

Lo más importante en epidemiología es el ciclo de la enfermedad, es decir, la serie de eventos sucesivos que permiten el desarrollo del patógeno y de la enfermedad. Los detalles del ciclo pueden variar entre patógenos pero en general aquel es igual para todos.

Eventos en el ciclo de la enfermedad

Los eventos en el ciclo de la enfermedad ocurren uno tras otro en sucesión y son: inoculación, penetración, infección, desarrollo o colonización, síntomas, esporulación y liberación o diseminación del patógeno.

1. Inoculación

Es el establecimiento del contacto entre el patógeno y el hospedero. Al patógeno o a una parte de éste que establece contacto con la planta se le denomina inóculo; es la parte del patógeno que causa la infección.

El inóculo varía según el patógeno; en todo caso, el inóculo que hace el primer contacto se denomina inóculo primario y causa las primeras infecciones. El inóculo que se produce de las primeras infecciones se denomina inóculo secundario, el cual al ser diseminado puede causar nuevas lesiones en la misma planta o en otras plantas susceptibles.

El inóculo primario muchas veces está presente en el suelo del campo de cosecha o en los residuos de la cosecha. A veces es transportado en la semilla o por medio del viento. El inóculo de algunos patógenos se encuentra en las malas hierbas. Debe recordarse que el conocimiento sobre el origen y la destrucción del inóculo, es importante en el control o manejo eficiente de la enfermedad.

Las condiciones que favorecen una exitosa inoculación dependen de la cantidad de inóculo (primario y/o secundario) disponible, de la humedad y temperatura favorables, de los vientos con lluvia que transportan el inóculo, la distancia a que el inóculo debe ser transportado, de la edad de la planta así como del número y densidad de las plantas.

En el caso del frijol, el inóculo primario de la mayoría de los patógenos que causan pudriciones de la raíz y del tallo como Macrophomina, Rhizoctonia, Sclerotium, Fusarium, Pythium y otros, sobrevive en el suelo.

También se encuentra en el suelo en forma de esclerocios el inóculo primario del hongo que causa la mustia y el moho blanco. Para la mayoría de los hongos y bacterias que atacan el follaje y las vainas, el inóculo primario sobrevive en los residuos de la cosecha; tal es el caso de antracnosis, Ascochyta, mancha angular, mustia, moho blanco, bacteriosis común, añublo de halo, y otros patógenos.

El hongo de la roya es un parásito obligado o biótrofo, es decir, que sólo puede sobrevivir en plantas vivas; sin embargo, la principal fuente de inóculo primario son esporas (uredosporas), que por su

morfología pueden ser transportadas por el viento a grandes distancias de un campo a otro. Este hongo también puede formar esporas de resistencia llamadas teliosporas, que pueden servir como inóculo primario. Muchas veces las uredosporas sobreviven en los residuos de la cosecha de una siembra a otra. En la mayoría de los virus, las malas hierbas son depósitos de inóculo que entran en contacto con las plantas, generalmente, por medio de insectos. Una fuente muy importante de inóculo primario de la mayoría de los patógenos del frijol, aunque no para la roya, es la semilla contaminada. Esta fuente de inóculo es particularmente importante en el mosaico común, en enfermedades bacterianas y en la mayoría de las enfermedades causadas por hongos

2. Penetración:

Después de establecer contacto los patógenos penetran en la superficie de las plantas. Esta penetración puede ser de dos formas:

a. Penetración directa: como ocurre con los nematodos y el hongo de la antracnosis.

b. Penetración por heridas o por las aberturas naturales como estomas o lenticelas: así ocurre con las bacterias, los virus y los hongos como el de la roya.

3. Infección, desarrollo o colonización del patógeno y aparición de síntomas:

El patógeno, después de penetrar y establecer contacto con los tejidos de la planta empieza a nutrirse de ella. Así mismo, el patógeno se desarrolla o coloniza los tejidos de la planta. Como resultado de la infección se empiezan a observar los síntomas, aunque en algunas infecciones éstos son latentes y no se manifiestan hasta que la planta es más adulta o cuando el ambiente favorece su desarrollo.

4. Esporulación y liberación o diseminación del patógeno:

Los patógenos una vez establecidos, en la mayoría de los casos se reproducen. Los hongos lo hacen produciendo micelio y esporas asexuales o sexuales. Las bacterias lo hacen por fusión (una célula se divide en dos).

Los virus son replicados por la célula del hospedero; y los nemátodos se reproducen por huevos.

Las estructuras de reproducción de los patógenos se diseminan mediante diferentes formas:

a. Viento: es el medio de transporte de la mayoría de las esporas de los hongos, pero no de los otros organismos. El viento es muy importante para los patógenos de la roya, de la mancha angular, del mildeo polvoso, y de otros hongos.

b. Agua:

- Lluvia: al caer salpica y transporta el inóculo, como ocurre con la mustia. Las lluvias arrastradas por el

viento, son muy importantes en la diseminación tanto de enfermedades del frijol causadas por bacterias como de la antracnosis, Ascochyta, etc.

- Agua de irrigación: el riego por gravedad o la irrigación por aspersión diseminan el inóculo de bacterias y hongos.

c. Semilla infectada: muy importante.

d. Insectos: sobre todo para virus como BGMV.

e. Implementos de labranza: tractores, azadones, etc.

f. Animales y el hombre: al moverse dentro y a través de los campos durante la cosecha.

Al período desde la inoculación hasta la aparición de síntomas se le denomina período de incubación.

Al período de esporulación y liberación se le denomina período infeccioso, y a la suma de ambos períodos se la conoce como período de latencia.

Descripción de la epidemia

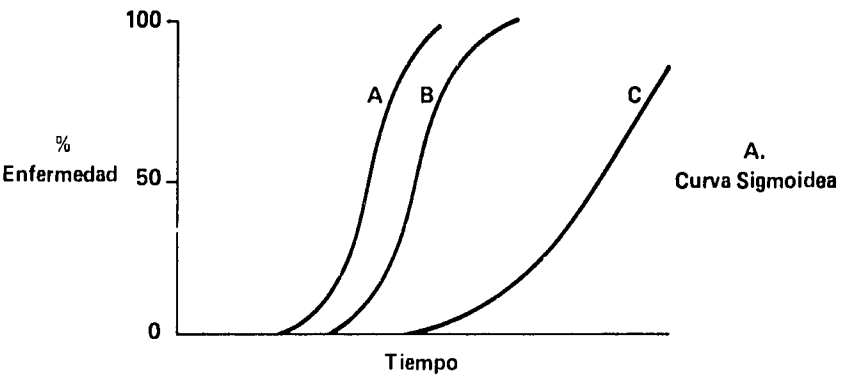
El inicio, progreso y culminación de una enfermedad puede describirse gráficamente (Figura 1).

Es importante anotar que en la variedad A la enfermedad empezó más temprano que en la variedad B y que en la C como se observa en la primera figura. También se puede notar, al convertir las curvas sigmoideas a rectas como en la segunda figura, de que el progreso de la enfermedad en la variedad A fué muy similar al de la variedad B pero mucho más rápido que el de la variedad C. Esta última variedad se le considera la más resistente. Por tanto, se deben tener en cuenta en epidemiología, dos cosas: cuándo se inicia la enfermedad y qué tan rápido prospera.

Control y manejo de las enfermedades del frijol

Existen muchos métodos de control o manejo de las enfermedades, los cuales varían de una enfermedad a otra. En la mayoría de los casos se trata de prevenir o de proteger a las plantas para que no llegue a ellas la enfermedad que es muy difícil de curar una vez establecida. En el manejo o control de enfermedades casi siempre se trata de disminuir el inóculo inicial (Xo) y/o el progreso de la enfermedad (r).

El primer paso, y uno de los más importantes para el control o manejo, es la identificación correcta de la enfermedad. Una vez establecido qué es lo que está causando la enfermedad, se procede a esbozar un plan o una estrategia de control. Esta estrategia de control o manejo de la enfermedad depende de una serie de factores que se pueden clasificar en tres grupos:



La curva sigmoidea de la enfermedad, puede ser transformada en una recta si se expresa el porcentaje de la enfermedad en una escala logarítmica.

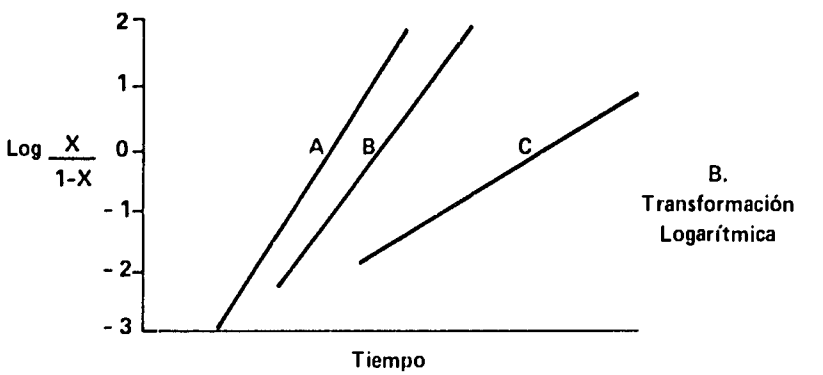


Figura 1. Representación gráfica del inicio y progreso de una epidemia en tres variedades diferentes. La enfermedad se inició primero en la variedad A, después en la B y finalmente en la C. Noten también que el progreso de la epidemia fue similar en las variedades A y B, pero éste fue mucho más lento en la variedad C. En la figura 1A las curvas son sigmoideas y en la 1B las curvas están representadas logarítmicamente.

1. Factores económicos:

   a. La magnitud de la pérdida en el rendimiento;
   b. frecuencia de la enfermedad;
   c. costos del método de control;
   d. demandas del consumidor y precio del cultivo en el mercado;
   e. fondos disponibles por el productor.

2. Factores ambientales y físicos:

   a. Temperatura: variación y extremos;
   b. humedad: distribución y cantidad;
   c. tamaño de finca y suministro de mano de obra;
   d. disponibilidad de insumos y de equipo requerido para el control;
   e. suelos, vientos:

      - sistema de cultivo;
      - duración del ciclo vegetativo;
      - prácticas culturales;
      - riegos.

3. Factores biológicos:

   a. Patógenos:

      - Variación;
      - ciclo de vida;
      - proceso de infección;
      - epidemiología;
      - mecanismos de supervivencia;
      - transmisión: semilla, salpique, vientos, maquinaria;
      - insectos complejos de patógenos.

   b. Planta:

      - Facilidad de incorporar resistencia en cultivares comerciales;
      - tipo de resistencia;
      - conservación de potencial de rendimiento mediante diferentes medidas de control.

Métodos para controlar/manejar las enfermedades de plantas

1. Métodos regulatorios: cuarentena

2. Prácticas culturales:

   a. uso de semilla limpia;
   b. erradicación del cultivo o de plantas enfermas;
   c. rotación de cultivos;
   d. limpieza de residuos de cosecha;
   e. buena agronomía:

      fertilización,

      drenaje,

- densidad,
- control de malezas.

f. coberturas;

g. arada profunda;

h. fecha de siembra.

3. Prevención de la enfermedad:

a. Población de plantas;

b. espaciamiento;

c. distancia entre surcos;

d. arquitectura de la planta:

- erecta,
- follaje abierto.

4. Control químico:

a. aspersiones foliares;

b. tratamiento de la semilla;

c. tratamiento del suelo;

d. insecticidas para controlar vectores.

5. Resistencia genética, que comprende:

Resistencia vertical

Se le caracteriza por la interacción existente entre los diferentes aislamientos (razas) del patógeno con los cultivares probados.

Cuadro 1. Resistencia vertical. Nótese que las razas del patógeno atacan a unas variedades, pero no a otras.

	Variedades[a]		
Razas del patógeno	A	B	C
Alfa	5	1	1
Beta	1	5	5
Gamma	1	5	1

a. 1: Inmune; 5: Muy susceptible

- Sinónimos: monogénica, oligogénica, raza específica, genes mayores.

- Efecto: reduce el inóculo inicial (Xo) pero no el progreso de la epidemia (r).

Formas de usar la resistencia vertical: En general este tipo de resistencia se puede usar en muchas formas pero cinco son los métodos mas usados:

a. genes simples;

b. acumulación de genes;

c. despliegue de genes, zonificación;

d. multilíneas;

e. combinaciones.

Resistencia horizontal

Generalmente se le caracteriza por la ausencia de interacción entre los aislamientos (razas) del patógeno y los cultivares probados. Todas las variedades tienen los síntomas de la enfermedad pero éstos no son severos en ninguna.

- Sinónimos: poligénica, no específica, genes menores, resistencia de campo, "slow rusting".

- Efecto: reduce el progreso de la epidemia (r), pero no el inóculo inicial (Xo).

Cuadro 2. Resistencia horizontal. Nótese que no existe interacción entre las razas del patógeno y las variedades.

	Variedades[a]		
Razas del patógeno	X	Y	Z
Delta	3	4	2
Kappa	2	3	4
Iota	3	2	2

a. 1: inmune; 5: muy susceptible

Otros tipos de resistencia o de escape a la enfermedad

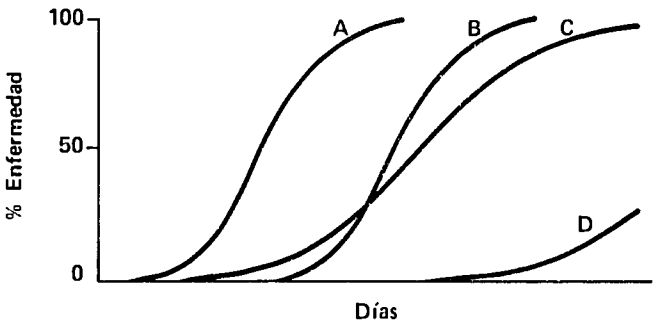
a. tolerancia;

b. escapes;

c. resistencia citoplasmática.

Combinaciones de resistencias

Representación gráfica de los efectos de la Resistencia vertical y horizontal solas y en combinación (tomado de Van der Plank).



En la figura:

Variedad A. No tiene resistencia vertical y poca resistencia horizontal.

Variedad B. Tiene resistencia vertical y poca resistencia horizontal.

Variedad C. Como A, pero tiene considerable resistencia horizontal.

Variedad D. Tiene ambas, resistencia vertical y horizontal.

6. Métodos físicos

No son de utilidad práctica en el frijol e incluyen la esterilización del suelo, la eliminación de los patógenos de la semilla utilizando agua caliente, el calor seco o las irradiaciones.

7. Control biológico

Tampoco se usa en frijol.

8. Control integrado

Vale la pena anotar que el control o manejo de las enfermedades se hace más eficiente y económico cuando se tiene una buena información

del patógeno: su biología, su modo de diseminación, y las condiciones ambientales que lo favorecen, así, se podrá utilizar el método o la combinación de los métodos más apropiados, o sea, el Control integrado, que permita controlar o manejar la enfermedad. En el caso de la mustia, por ejemplo, la extrema severidad de la enfermedad hace necesaria la utilización de variedades resistentes, de prácticas agronómicas como coberturas que evitan el salpique, y aun de fungicidas foliares.

Algunos criterios para escoger métodos de control de enfermedades del frijol

Vale la pena anotar que, al escoger una estrategia de control o manejo de enfermedades del frijol, se debe tener en cuenta que el principal productor de frijol en América Latina es generalmente, el pequeño agricultor, escaso de recursos económicos, y con un limitado acceso al crédito, a la nueva información y a la tecnología. Además, el frijol en general, para la mayoría de agricultores es un cultivo de riesgo y de pocas ganancias. Debe tenerse en cuenta también que no sólo las enfermedades disminuyen los rendimientos, sino muchos otros factores, antes mencionados. Por eso, el mejoramiento genético del frijol es uno de los mejores y más económicos métodos para controlar o manejar no sólo las enfermedades sino también otros factores negativos, así como para estabilizar y aumentar el rendimiento. Sin embargo, no debe olvidarse la importancia de otros métodos de manejo o control de las enfermedades, que coadyuvan la resistencia genética, haciendola más efectiva y duradera.

TECNICAS, MATERIALES Y METODOS UTILIZADOS EN LA EVALUACION DE FRIJOL POR SU REACCION A LAS ENFERMEDADES

Marcial Pastor Corrales

El cultivo de frijol, Phaseolus vulgaris, en cualquier región del mundo está expuesto a factores climáticos, biológicos y edáficos que afectan su rendimiento. De estos factores, las enfermedades de este cultivo, en su mayoría causadas por hongos, virus y bacterias, son uno de los limitantes que más contribuyen a su bajo rendimiento en América Latina y muchas otras regiones del trópico.

Las estrategias o sistemas que existen para el control o manejo de las enfermedades del frijol son varios e incluyen buenas prácticas culturales, rotación de cultivos, siembra de semilla limpia producida en ambientes o regiones libres del patógeno, uso de productos químicos, utilización de variedades resistentes y una combinación de estas estrategias. Sin embargo, como en la mayoría de las regiones del trópico, el frijol es un cultivo de agricultores que poseen pequeñas propiedades, con ingresos limitados y además es un cultivo de riesgo, no se puede considerar para el control de las enfermedades de este cultivo, estrategias que impliquen altos costos para el agricultor; por lo tanto, el uso de variedades resistentes debe ser un componente muy importante de esta estrategia.

La utilización de variedades resistentes implica que existen metodologías confiables que permiten diferenciar a estas variedades de aquellas que son susceptibles. Para ese fin, es necesario evaluar de una manera adecuada al frijol en el campo o invernadero por su reacción a las enfermedades.

La evaluación de germoplasma de frijol por su reacción a las enfermedades básicamente implica juntar en un mismo lugar los tres factores necesarios para que dicha evaluación o selección de germoplasma resistente sea posible. Estos factores son:

1. El germoplasma de frijol que se desea evaluar ya sea como variedades comerciales, germoplasma avanzado y uniforme o como germoplasma segregante.

2. El patógeno o patógenos causantes de las enfermedades en estudio. Se debe tener en cuenta que el cultivo a evaluarse debe ser expuesto a una variación adecuada y representativa de las poblaciones del patógeno que existen en el área de interés.

3. El ambiente apropiado que permita el desarrollo del patógeno y el progreso de la enfermedad o enfermedades a evaluarse.

La interacción resultante entre la planta de frijol y el patógeno en un ambiente adecuado es lo que se evalúa. Esta interacción tiene diferentes manifestaciones y el valor que se asigna a cada manifestación variará según el objetivo de la evaluación. Las manifestaciones posibles de esta interacción son:

1. La ausencia de síntomas de la enfermedad en el germoplasma a evaluarse; o sea lo que se denomina inmunidad.

2. La presencia de la enfermedad y los grados en que se presenta; que puede cuantificarse indicando el número de plantas enfermas o indicando la cantidad de tejido vegetal afectado por la enfermedad.

3. El efecto de la enfermedad en el rendimiento.

4. La interacción frijol-patógeno, que se puede manifestar como el tipo de lesión, o tipo de pústula en el caso de la roya. Tanto la lesión como la pústula pueden ser grandes o pequeñas, con o sin esporulación, rodeada o no de halo clorótico, etc.

El objetivo o reto del científico es entonces el de proveer diseños prácticos y útiles que permitan evaluar la interacción de la planta de frijol con sus patógenos. En algunos programas la simple identificación de germoplasma altamente resistente o sin síntomas (inmune) es suficiente para sus objetivos. Sin embargo, con algunos patógenos que son altamente variables, es necesario tener otros tipos de mecanismos de resistencia y también más variación en el germoplasma que se utiliza ya sea como fuente de resistencia o como variedad comercial. Entonces, los diseños que se utilizan para evaluar el germoplasma variarán de acuerdo a los objetivos.

La mayoría de las evaluaciones de germoplasma de frijol por su reacción a las enfermedades se hacen en el campo pero también se realizan en el invernadero.

Cuando se realicen evaluaciones de germoplasma de frijol en el campo, es necesario en la medida que sea posible hacer la evaluación en un lugar que sea representativo de la zona frijolera. Para el caso de los patógenos del frijol es importante hacerlo en un lugar donde las condiciones climáticas permitan que la enfermedad o enfermedades que generalmente atacan al cultivo en la región, se puedan presentar. Por ejemplo, si la zona de interés es de clima más o menos frío, con adecuada precipitación y donde las enfermedades que predominan año tras año son la antracnosis, la ascochyta y el anublo de halo, la evaluación debe hacerse en un campo de la zona de interés donde estas tres enfermedades se presentan, de una manera más o menos representativa de la zona.

Si la evaluación se hace en un campo donde la severidad de las enfermedades es muy baja comparada con el promedio de la zona, es muy probable que se seleccione germoplasma que aparentemente es adecuado (resistente), pero que posteriormente será severamente atacado cuando se siembre comercialmente en un campo que si es representativo de la zona y donde los ataques de la enfermedad son más severos. De una manera similar, si la evaluación se hace en un campo donde la severidad de la enfermedad es extremadamente alta y además no es representativa de la zona de interés, se corre el riesgo de eliminar mucho germop'asma de frijol que es adecuado para la zona.

También debe tenerse en cuenta que la variación de algunos patógenos es bastante amplia, entonces debe exponerse el germoplasma que se evalúa a una población del patógeno que es representativa de la variación del patógeno.

Una manera de saber si la evaluación de germoplasma de frijol que se conduce es adecuada, ya sea por la intensidad que la enfermedad presente o si la representación de las poblaciones del patógeno es apropiada, es usando testigos. Lo más recomendable es el uso de variedades de frijol muy conocidas y cuya reacción a una enfermedad de un año a otro en la zona de interés es conocida. Para volver al ejemplo anterior de la zona frijolera donde las enfermedades que predominan son la antracnosis, la ascochyta y el añublo de halo, se debe utilizar unos tres testigos para cada enfermedad que incluya un testigo resistente, un intermedio y un

susceptible. Estos testigos se sembrarán por todo el campo para conocer sobre la distribución de la enfermedad y de su grado de severidad. El uso de testigos conocidos es muy importante.

También se recomienda la siembra por todo el campo de variedades susceptibles que atraigan a los patógenos que existen en las zonas. A estas variedades se les denomina esparcidores y su función es precisamente atraer y esparcir de una manera uniforme y adecuada las enfermedades en el campo de evaluación. Los esparcidores pueden ser sembrados con dos o tres semanas de anticipación para asegurar la presencia de inóculo.

Muchas veces es posible y necesario hacer también inoculaciones artificiales con los patógenos de interés. La gran ventaja de esta práctica es que si se hace de una manera adecuada, se tiene muy alta probabilidad de tener presente la enfermedad en el campo de evaluación y por lo tanto de tener una buena evaluación y selección. Esta práctica evita los escapes que son muy comunes cuando la enfermedad no está adecuadamente distribuida por el campo o cuando la enfermedad no se presenta porque el inóculo natural en el campo es muy bajo, o porque no hubo condiciones ambientales adecuadas que permitan un ataque más representativo. Cuando se hacen inoculaciones artificiales, también se debe tener en cuenta el uso de poblaciones representativas del patógeno con el que se inocula y que la severidad de la enfermedad sea adecuada. Nuevamente la utilización de testigos conocidos permitirá saber si estos dos criterios están siendo apropiadamente utilizados. El método de inoculación, la cantidad de inóculo, la edad de la planta al momento de la inoculación, son factores muy importantes que se deben tener en cuenta y que varían según la enfermedad con la que se trabaje.

A continuación se hace una descripción de algunos factores que se deben tener en cuenta cuando se hacen inoculaciones artificiales con algunos patógenos del frijol y que incluye:

1. Manejo del patógeno: aislamiento en cultivo puro, producción y cuantificación de la concentración del inóculo a utilizarse.

2. Método(s) de inoculación.

3. Manejo de plantas a evaluarse: edad al inocularse, uso de testigos, etc.

4. Condiciones ambientales para que se desarrolle la enfermedad.

Finalmente se hace también una descripción de las escalas de evaluación, criterios y filosofía de evaluación de germoplasma de frijol por su reacción, ya sea de resistencia o susceptibilidad a las enfermedades.

Técnicas para el aislamiento, conservación, incremento de inóculo, e inoculación de plantas de frijol con algunos de sus patógenos.

Roya

El patógeno que causa la roya del frijol, *Uromyces phaseoli* (= *U. appendiculatus*) es un parásito obligado o biótrofo; por lo tanto no es posible producir inóculo de este organismo en un medio artificial en el laboratorio. Sin embargo, es posible hacer inoculaciones artificiales utilizando uredosporas del patógeno colectadas de plantas con roya.

Colección de uredosporas

Dos métodos han sido utilizados con éxito por el programa de frijol del CIAT para conseguir inóculo del patógeno de la roya:

a. Recolección de uredosporas de plantas con roya en condiciones de campo.

b. Recolección de uredosporas de plantas con roya producidas en el invernadero.

Para la recolección de uredosporas en condiciones de campo, primero se identifican las plantas con roya y luego se procede a la colección manual de estas esporas utilizando un tamiz N° 200 (U.S.A. Standard Testing Sieve, Arthur H. Thomas Company) por el que pasan las uredosporas del patógeno pero no los residuos de las hojas. Al tamiz se le coloca una lámina sin poros donde se acumulan las uredosporas. Las hojas de frijol que muestran pústulas esporulantes de roya se golpean suavemente contra la malla del tamiz, las esporas pasan por el tamiz y se acumulan en la lámina ubicada bajo éste. Este método es muy práctico y sencillo ya que las uredosporas de roya coleccionadas se pueden utilizar inmediatamente para inocular el germoplasma que se desea evaluar o se pueden almacenar para ser usadas mas tarde. Se debe coleccionar uredosporas de diferentes plantas y campos para asegurarse de que se colecciona toda la variación presente en las poblaciones del patógeno. La única gran desventaja de este método, es cuando no hay en el campo plantas infectadas con roya para conseguir inóculo y no se tienen uredosporas almacenadas. En estos casos se recomienda el segundo método o sea el de producir uredosporas en condiciones de invernadero.

Para obtener uredosporas del patógeno de la roya en el invernadero, primero se siembran plantas de frijol de variedades susceptibles a la roya en potes de 10 x 10 cm. Se recomienda 3 plantas por pote, las que se inoculan 9 días después de la siembra. Como inóculo inicial se utilizan unas cuantas hojas que tengan roya, las que se lavan en un recipiente con agua al que previamente se le agregó tween 20% al 0.02%. Las uredosporas presentes en las pústulas al caer al agua forman el inóculo, que tiene apariencia marrón. El inóculo se aplica a las plantas con una bomba manual o con una bomba al vacío (15 lb/ pulgada^2 presión). Después de inoculadas, las plantas se colocan para ser incubadas por 24 horas en una cámara con humificadores y que tiene 100% HR y alrededor de 22°C de temperatura. Posteriormente, las plantas se retiran de la cámara humeda para trasladarlas a mesas en el invernadero. Aquí las plantas se asperjan diariamente con agua unas cuatro veces por día durante 5 días. Después de 10 días de la inoculación, las plantas muestran muchas pústulas de roya con abundante esporulación. De una maceta con 3 plantas se obtienen 6 hojas primarias infectadas que producen aproximadamente 125 mg. de uredosporas. Estas uredosporas pueden ser utilizadas para inocular el germoplasma que se desea evaluar o se pueden almacenar para ser utilizadas más tarde.

Preservación de uredosporas

Si se almacenan las uredosporas, éstas deben ser guardadas en tubos de ensayo tapados con algodón. Estos tubos, se introducen en otros tubos más grandes que contengan cloruro de calcio para facilitar la desecación y así preservar la viabilidad de las uredosporas hasta un mes. Si los tubos además de tener cloruro de calcio se colocan a 5°C, la viabilidad de las

uredosporas puede aumentarse de 2 a 4 meses. Para preservarlas por más tiempo es necesario conservar las uredosporas en nitrógeno líquido o liofilizarlas.

Inoculación

Para la inoculación de las plantas que se deseen evaluar, se utilizan las uredosporas frescas o las preservadas, las que se suspenden en agua destilada en proporción de 1.5 mg. por cada 10 cc de agua. Para obtener una mejor dispersión de las uredosporas en el agua se agregan un par de gotas de "tween 20" por cada litro de suspensión. Si se utiliza un hemacitómetro es posible cuantificar el inóculo y obtener así la concentración que se recomienda que es de 30,000 esporas por cada mililitro de agua. Esta concentración generalmente da muy buenos resultados. Si no se tiene hemacitómetro se puede estimar que 3 gramos de uredosporas por cada 12 litros de agua resulta más o menos en una concentración de 30,000 uredosporas/ml de agua. Entonces para inocular una hectárea de frijol se necesitan 36 gramos de uredosporas.

Una vez preparado el inóculo, éste se asperja sobre las plantas en el campo, utilizando una bomba micronizer tratando de que las plantas queden humedecidas en su totalidad y de preferencia cuando el sol ya se haya ocultado. En el invernadero las uredosporas se asperjan sobre el haz y el envés de las hojas con una bomba neumática (bomba al vacío) a una presión de 15 lb/pulg^2); después las plantas inoculadas se colocan en una cámara húmeda por 24 horas; posteriormente se colocan las plantas en una mesa del invernadero donde después de 10 días se observarán síntomas visibles de roya.

Antracnosis

Aislamiento

Para el aislamiento del hongo que causa la antracnosis, Colletotrichum lindemuthianum, se puede proceder de la forma como se indica en la guía de estudio del CIAT "Técnicas para el aislamiento, identificación y conservación de hongos patógenos del frijol".

Inoculación

Antes de una inoculación, debe incrementarse el hongo a partir de un aislamiento puro, cuando este se encuentre bien esporulado en PDA, lo cual puede verificarse por las masas rosadas de conidias presentes sobre el micelio. El inóculo se puede incrementar de varias formas:

1. Utilizando una espátula previamente esterilizada, se procede a cortar pedacitos de micelio de 3-5 mm de diámetro, preferiblemente del borde de las colonias en PDA, los que se transfieren a otra caja de petri con PDA. De 1-4 pedacitos es suficiente para obtener una buena cantidad de esporas. Las nuevas cajas Petri con el hongo deben ser incubadas a 18-21°C, así se tiene buen crecimiento y esporulación. Este método se usa preferiblemente para inoculaciones en invernadero, en donde no se necesita gran cantidad de esporas.

2. El inóculo también puede incrementarse, colocando hojas de frijol previamente esterilizadas sobre el PDA. Para esto, una vez listas las cajas con PDA en condiciones asépticas, se pueden colocar las hojas de frijol esterilizadas sobre el PDA. Después a partir de una caja con el hongo bien esporulado, puede prepararse una suspensión de esporas bien concentrada. Para esto se puede agregar a la caja cierto volumen de Dextrosa al 1% o agua destilada estéril dependiendo de la cantidad de inóculo que quiera producirse. Una vez agregada la Dextrosa usando una espátula pueden rasparse las esporas para preparar la suspensión. Se puede homogenizar dicha suspensión mediante una pipeta. Una vez homogenizada, se agregan en cada caja sobre las hojas de frijol de 5-10 gotas de la suspensión y se esparcen bien sobre la hoja con ayuda de una varilla de vidrio doblada, esterilizada antes de usarse. De esta manera, las cajas pueden incubarse a una temperatura de 18-21°C y a los 4-7 días se tendrá gran producción de esporas sin desarrollo de micelio.

   Para inoculaciones en campo, donde se necesita mayor cantidad de inóculo, éste puede incrementarse en grandes cantidades utilizando erlenmeyers con vainas de frijol estériles. Se recogen del campo vainas verdes de cualquier variedad donde no esté formado totalmente el grano, colocándolas hasta un poco más de la mitad de erlenmeyers de 125-250 o 500 ml; las vainas pueden colocarse enteras o partidas, una vez llenos los frascos, se les agrega 10-20 o 40 ml de agua para los erlenmeyers de 125-250 o 500 ml respectivamente. Esto se hace para que en la esterilización, el vapor del agua haga más eficiente dicha esterilización. Los erlenmeyers una vez listos, se tapan con algodón y papel aluminio cubriendo el algodón, para esterilizarlos a 121°C durante 30 minutos. Después de estériles, se puede incrementar el inóculo a partir de una caja con producción abundante de esporas, para lo cual se hace con Dextrosa al 1% una suspensión bien concentrada en la caja y mediante una pipeta pasteur, se agregan media pipeta (1 ml), una pipeta y dos pipetas para los erlenmeyers de 125-250 y 500 ml respectivamente de la suspensión bien concentrada. De una caja con aislamiento pueden sembrarse entre 20-40 erlenmeyers dependiendo de lo concentrada que quede la suspensión. Los erlenmeyers se incuban a 18-21°C por 7-10 días, para lo cual estarán listos para la inoculación, habiendo esporulado bastante.

Nota: Para evitar, contaminaciones con bacterias puede agregarse a la Dextrosa, al momento de incrementar el inóculo en las vainas, sulfato de estreptomicina en 2.00 ppm ó ácido láctico al 25% o a razón de 2 5 gotas por cada caja Petri según el tamaño de la caja y el volumen del medio por caja.

El agua sobrante después de la esterilización de los erlenmeyers con las vainas, al momento de incrementar el inóculo, debe sacarse del erlenmeyer.

Preparación del inóculo

Para inoculaciones en el invernadero, se debe incrementar el inóculo, usando cualquiera de los métodos descritos. Para ésto, pueden rasparse las esporas de las cajas con sólo PDA ó de las cajas con PDA y hojas de frijol ó tambien se puede licuar el contenido de estas cajas. Luego debe pasarse el inóculo por una gasa con el fin de eliminar el micelio contenido en el medio y que la suspensión quede basada en esporas del hongo y después se procede a hacer lectura de concentración en un hemacitómetro para determinar qué concentración tiene este volumen inicial

de inóculo preparado y así proceder a diluir el inóculo hasta obtener la concentración deseada o adecuada que para el caso de C. lindemuthianum es de 1.2×10^6 conidias/ml. La dilución del inóculo se hace usando la siguiente fórmula:

$Vo\ Co = Vf\ Cf$

$$vf = \frac{Vo\ Co}{Cf}$$

Vo = Volumen inicial

Co = Concentración inicial

Vf = Volumen final

Cf = Concentración final (1.2×10^6 conidias/ml.)

Para inoculaciones en el campo, usando incremento de inóculo producido en vainas, una vez listo el inóculo en los erlenmeyers, se procede a licuar las vainas, recogiendo el licuado después en varias gasas para colar todos los residuos de las vainas, tratando de que la suspensión del inóculo sea básicamente esporas.

Luego se procede a leer la concentración con ayuda del hemacitómetro y a la dilución respectiva del inóculo, utilizándose la misma concentración ya mencionada o sea 1.2×10^6 esporas/ml. En nuestra experiencia con inoculaciones de plantas de frijol con el patógeno de la antracnosis en el campo, generalmente estamos utilizando, para inocular una hectárea de frijol, 120 erlenmeyers de inóculo cuando se tienen erlenmeyers de 250 cc y se aplican 12 bombas a una hectárea del cultivo. Esto con bombas micronizer de 12 litros de capacidad.

El inóculo debe prepararse en base a una mezcla de aislamientos presentes y representativos de la región cuando va a realizarse en el campo ó de varias regiones cuando va a realizarse en el invernadero; si se tienen identificación de razas por aislamiento, la mezcla debe ser hecha en base a las razas presentes.

Métodos de inoculación

Para las inoculaciones en invernadero, estas se efectuan en plantas de 8 días de sembradas inoculandose con inyección de la suspensión en el tallo un centímetro abajo de los cotiledones, en dirección inclinada hacia abajo, dejando una gota de suspensión a cada lado del tallo por donde penetró y salió la aguja. Después de inocular las plantas con inyección, se inoculan con aspersión, para lo cual puede usarse un compresor que asperje la suspensión a una presión de 10-15 $lb/pulg^2$, asperjando las hojas cotiledonares por el haz y el envés. Después de inoculadas, las plantas deben colocarse en una cámara húmeda con 85-100% de humedad relativa y a una temperatura entre 18-22°C, incubándose allí hasta el momento de la evaluación, la cual se hace 7 días después de la inoculación.

Cuando se inocula en el campo, las plantas se asperjan mediante bombas micronizer tratando de que las plantas queden humedecidas en su totalidad. Las inoculaciones se hacen desde cuando las plantas tengan 2-3 hojas trifoliadas y se repiten cada 10 días hasta la aparición severa de síntomas. Las inoculaciones deben hacerse en condiciones de alta humedad y bajas temperaturas, por lo que se recomienda hacerlas después de las cuatro de la tarde. También agregar un dispersante y/o adherente a la suspensión de inóculo, (más o menos 5 gotas de tween 20 por litro de inóculo).

Mancha Angular

Esta enfermedad es causada por Isariopsis griseola

Aislamiento

Para aislar el hongo, se usa el medio sintético conocido como V-8 el cual está hecho de:

Jugo de vegetales V-8	200 ml.
Carbonato de calcio	3 gms.
Agar	18 gms.
Agua destilada	800 ml.

Las técnicas de aislamiento son diferentes a las técnicas usadas para Colletotrichum lindemuthianum, debido a que Isariopsis griseola es un hongo de mayor dificultad para aislar, crecer y esporular.

La técnica de los triángulos de AGAR-AGUA consiste en tomar triángulos pequeños de AGAR-AGUA con una espátula previamente desinfestada. Con ayuda de un estereoscopio se rozan las conidias en los sinemas que se encuentran sobre las lesiones en el envés de las hojas, sin tocar la superficie de la hoja, para luego colocar estos trozos de AGAR-AGUA sobre el medio V-8. Las colonias individuales que crezcan, se usan para incrementar el inóculo.

Incremento del hongo

A las colonias desarrolladas en el V-8, se les puede agregar unas gotas de dextrosa al 1% sobre la colonia y usando una espátula, se raspa dicha colonia, formando una suspensión de esporas. Con una pipeta, se procede a pasar de 4-6 gotas de dicha suspensión a nuevas cajas con V-8, para esparcirlas en el medio con un vidrio doblado estéril y tratando de cubrir toda la superficie del medio, ya que el hongo tiene un crecimiento vertical por lo cual no se extiende donde no se siembra.

Para las inoculaciones se puede incrementar el hongo en gran cantidad, a partir de una caja de 8-10 días de crecimiento cuando el hongo ha esporulado bastante y que cubra toda la superficie de la caja, haciéndolo de la misma forma que a partir de una colonia, o sea raspando las esporas con dextrosa al 1%, homogenizando la suspensión y colando de 4-6 gotas de la suspensión sobre nuevas cajas con V-8 para extenderlas sobre el medio. El hongo debe incubarse a 19-24°C; para obtener mayor esporulación, se envuelven las cajas Petri en papel aluminio.

Inoculación

A partir de las cajas bien esporuladas, se recolectan las esporas en un volumen de agua, raspándolas con una espátula. Si la suspensión presenta mucho micelio se recomienda pasar el inóculo por una gasa, para dejar en suspensión las conidias del hongo. Listo el inóculo, se lee la concentración en el hemacitómetro y se diluye hasta 2×10^4 conidias/ml. Generalmente 2 cajas Petri con buena esporulación del hongo arrojan más o menos 1 litro de inóculo de 2×10^4 conidias/ml de agua; o sea que para inocular una hectárea a la que se le aplican 10 bombas de inóculo, se necesitan por lo menos 250 cajas Petri bien esporuladas. Se usan bombas micronizer de 12 litros de capacidad.

Métodos de inoculación

Para inoculaciones en invernadero se usan plantas con 2-3 hojas trifoliadas (17-20 días de sembradas), las cuales se asperjan mediante una bomba de presión a 10-15 lb/pulg2 usando tritón AE al 0,1% en la suspensión de conidias, tratando de asperjar el haz y el envés de las hojas. Una vez inoculadas las plantas, éstas se incuban de 2-4 días en una atmósfera con 80-100% de humedad y 18-22°C, para luego colocarlas en un ambiente fresco, hasta la aparición de síntomas 8-12 días después.

Para inoculaciones en campo, el hongo se incrementa en cajas de la misma forma que para invernadero, asperjándose la suspensión de esporas con una bomba micronizer sobre las plantas cuando estas tengan 2-3 hojas trifoliadas y repitiendo las inoculaciones cada 10 días hasta la aparición de síntomas.

Sclerotium rolfsii

Aislamiento y purificación

Se hace cortando pequeños trocitos de raíces o tallos infectados por el hongo y desinfestándolos tres minutos en hipoclorito de sodio a 0.5%, después lavarlos un minuto en agua destilada estéril, (ésto es para efectuar la desinfestación superficial de las raíces).

Después se coloca el material vegetal (pedacitos de raíces) en cajas de petri con PDA (papa-dextrosa-agar) y se colocan dentro de una incubadora a 19-25°C, después de 3-4 días se transfieren tomando trocitos de micelio y sembrandolos en una nueva caja con PDA para purificar el patógeno y ponerlo en la misma temperatura antes mencionada. Este procedimiento también se usa para Rhizoctonia solani y Fusarium sp.

Incremento del inóculo

Se siembran esclerocios maduros en cajas de petri, las cuales pueden rendir unos doscientos esclerocios por caja; luego se mezclan en una concentración de quinientos esclerocios por litro de suelo o arena, se siembra una variedad susceptible y si el aislamiento tiene buena patogenicidad se observan los síntomas en la baja germinación y el marchitamiento de las plántulas. Otro medio para obtener inóculo, es cáscara de arroz. Se toman 8 litros de cáscara de arroz, 2 lt de una solución que tenga 20 gramos de azúcar refinada y 1.4 gramos de KNO3, este medio se coloca en una lata y es esterilizado 2 tiempos de una hora a 121°C; después se toman 2 cajas de petri con esclerocios maduros y se licuan en 100 ml de H2O destilada estéril, colocandolos a crecer en el medio de cáscara de arroz a temperatura ambiente. Después de unos 15 días se observa el crecimiento de micelio y gran cantidad de esclerocios, los que se usan para inocular. En el caso de no haber cascarilla se puede usar hojas o tallos de frijol u otros tales como granos de avena o trigo. Se puede usar la variedad Samiac como testigo susceptible. En los ensayos de campo se han utilizado entre 400-500 esclerocios por metro de surco. Colocando el inóculo sobre la semilla en el surco, al momento de la siembra.

Rhizoctonia solani

Aislamiento y purificación

Para la obtención y purificación del patógeno se siguen los mismos procedimientos antes mencionados para Sclerotium rolfsii.

Incremento del inóculo

Se puede incrementar el inóculo licuando 1 caja de hongo en H2O destilada estéril aplicándolo directamente al medio (arena), en una proporción de 4-5 lts. de arena. Los síntomas se observan en los primeros 10 días de siembra (es muy importante una buena humedad en el suelo para un buen desarrollo del patógeno). También se puede incrementar el inóculo en cáscara de arroz utilizando el mismo método usado para Sclerotium rolfsii. También se puede preparar inóculo utilizando 100 gr de papa cortadas en pequeños pedacitos los que se mezclan con un litro de suelo. La mezcla se esteriliza por unos 25 minutos. Esto se puede hacer colocando 400 gramos de la mezcla en Erlenmeyers de 1 litro de volumen. Después se introduce pedacitos de agar con el hongo procedentes de una caja Petri donde éste ya se ha desarrollado. Después de más o menos dos semanas esta mezcla de pedacitos de papa, suelo y el hongo que ha colonizado la mezcla, se usa para inocular el frijol en suelo del invernadero o del campo. Se usa 2% de este inóculo mezclado con el suelo donde se sembrará el frijol.

Fusarium sp.

Aislamiento y purificación

Para Fusarium sp se sigue el mismo método de cortar trocitos y desinfectar con hipoclorito.

Incremento del inóculo

Se hace sacando esporas del cultivo maduro en cajas de PDA con agua destilada; luego se mezclan estas esporas en el suelo o arena, en una concentración de 1×10^8 macroconidias por litro de suelo. Para medir la concentración se usa un hemacitómetro. Los síntomas se aprecian de 3-5 semanas después de la siembra, las variedades Calima y Red Kidney se pueden utilizar como testigos susceptibles.

Para este complejo de hongos se inoculan en el momento de la siembra y es necesario hacer pruebas de diferentes concentraciones para determinar la concentración de inóculo mas apropiada.

Enfermedades bacterianas del frijol

Para el anublo común causado por Xanthomonas campestris pv. phaseoli y para el anublo de halo causado por Pseudomonas syringae pv. phaseolicola se pueden utilizar métodos similares.

Aislamiento

Mediante hojas con síntomas de añublo, pueden cortarse pedazos de 2-3 mm de diámetro, incluyendo áreas con síntomas y área verde. Los trozos de hoja se desinfestan en Hipoclorito de Sodio al 0.5% ó Bicloruro de Mercurio al 1' como indica la guía de estudio (Técnicas para el

aislamiento, identificación y conservación de hongos patógenos del frijol). Después de lavados los trozos, éstos pueden colocarse en un pequeño mortero con unas gotas de agua destilada estéril, cubriendo los pedacitos para luego proceder a macerarlos con el mango estéril; de la suspensión formada, se pueden pasar mediante una asa, unas gotas a un medio sólido y estriarlas sobre el medio para obtener el crecimiento de colonias de cualquiera de estas bacterias.

El medio más común para incremento de estas bacterias es YCDA que contiene:

Extracto de levadura	(Y)	10 gs	
Carbonato de calcio	(C)	17 gs	
Dextrosa	(D)	10 gs	Para 1 litro de agua
Agar	(A)	20 gs	

Las colonias de X. Campestris pv. phaseoli son de color amarillo y viscosas, pero algunas colonias son de color amarillo, se tornan café o marrón. A estas se les asocia con el llamado añublo fusco. Las colonias de P. Syringae pv. phaseolicola son de color blancuzco y mucosas.

Preparación del inóculo. A partir del crecimiento bacterial en una caja con YCDA, pueden incrementarse muchas cajas. Para ésto, mediante una asa, se toca el crecimiento inicial y se esparce sobre una nueva caja con medio, de esta forma se incrementan todas las cajas necesarias.

Para la inoculación, dichas cajas se incrementan 48 horas antes de ésta y se incuban a 28 C. Listo el inóculo, se raspa el medio, puede ser con los dedos, y se recoge sobre agua; debe agitarse lo suficiente para obtener una mezcla homogénea del inóculo.

Una vez preparada la suspensión, mediante la ayuda de un colorímetro basado en densidades ópticas, para lo cual se debe tener una curva calibrada en densidades con concentración de bacterias; de esta forma se lee la concentración del inóculo preparado y se diluye a 5 x 10 unidades que forman colonias (CFU)/ml. Si no se tiene un espectofotómetro para medir la concentración de las bacterias en el inóculo se puede asumir que 4 platos Petri con la bacteria incubada por 48 horas, se diluyen en 12 litros de agua, que es la capacidad de la bomba y así obtener una concentración de inóculo de 5 x 10 CFU; o sea que para una hectárea de frijol se necesitan 48 cajas Petri con la bacteria incubada por 48 horas.

Para el patógeno del añublo común, las inoculaciones pueden ser hechas en base a un sólo aislamiento, seleccionado por su mayor virulencia con respecto a otros.

Para el del anublo de halo, las inoculaciones son hechas con mezclas de aislamientos ante la supuesta existencia de varias razas.

Inoculación

Para inoculaciones en invernadero, con el patógeno del añublo común, las plantas se inoculan cuando tienen la primera hoja trifoliada. El método más usado es mediante unas tijeras o cuchillas ajustadas a un cabo con 1,5 cm de separación entre ellas.

Las tijeras se introducen en un beaker que contiene el inóculo; en el foliolo centras se hacen dos cortes a cada lado del foliolo, los dos cortes deben separarse 1,5 cm y estos deben alcanzar las venas secundarias pero no la primaria. En los foliolos laterales, también se hace el doble corte pero en los bordes no adyacentes al foliolo central. Con las cuchillas, el inóculo puede colocarse sobre una esponja, humedeciendo ésta para luego colocar los foliolos de la hoja trifoliada sobre la esponja y hacer los cortes con las cuchillas, asegurándose de humedecer con la suspensión los cortes.

Las plantas se colocan en condiciones de 27°C y humedad ambiental, para evaluar las plantas a los 8-10 días después de la inoculación.

Para inoculaciones en campo, se procede a partir del mismo inóculo, asperjándose sobre las plantas mediante bombas micronizer o una bomba que alcance presiones de 120 lb/pulg2. Estas inoculaciones deben hacerse con una alta humedad en el campo y preferiblemente después de las cinco de la tarde.

Las inoculaciones se repiten cada 10 días hasta la aparición de los síntomas. Generalmente 4 platos con crecimiento de 48 horas dan más o menos 1 litro de inóculo con 5 x 10 de CFU, al que se le agrega agua para completar 12 litros arrojando una nueva concentración de aproximadamente 5 x 10 CFU que se utiliza para inocular plantas en el campo.

En el campo puede usarse el método de las cuchillas, dependiendo de las facilidades operarias.

ENFERMEDADES DEL FRIJOL CAUSADAS POR HONGOS

Marcial Pastor-Corrales

A- Enfermedades de las partes aéreas

Roya

Agente causal:
Uromyces phaseoli (Reben) Wint [= U. appendiculatus (Pers.) Unger U. phaseoli (Reben) Winter var. typica Arthur]

Otros nombres de la enfermedad:
Chahuixtle, Ferrugem do feijoeiro (Português), Rust (Inglés), la ronille du haricot

La roya se encuentra ampliamente distribuida en todas las regiones frijoleras del mundo ocasionando pérdidas de importancia económica, las cuales dependen del grado de susceptibilidad de la variedad empleada, de la severidad de la enfermedad y de las condiciones ambientales que prevalezcan en el área en el momento del ataque.

La reducción en rendimiento es mayor cuando las plantas son atacadas durante los períodos de prefloración o floración, aproximadamente 30 a 35 días después de la siembra.

El patógeno que causa la roya del frijol es un parásito obligado que es antoico, o sea que sólo necesita de un hospedero para completar todo su ciclo de vida y macrocíclico, es decir que posee varios tipos de esporas.

En el trópico es común observar dos tipos de esporas: las uredosporas o esporas vegetativas que son las que generalmente inician la enfermedad y las teliosporas o esporas sexuales.

Si el inóculo está presente y las condiciones climáticas son favorables, la aparición de los primeros síntomas de roya en la planta dependen de la susceptibilidad de la variedad; en las muy susceptibles se pueden observar 5 a 6 días después de la inoculación, manchas muy pequeñas, cloróticas o blancas ligeramente protuberantes tanto en el haz como en el envés de la hoja (Fig. 1), pero generalmente se observan más comúnmente en el envés.

Estas manchas tanto en el haz como en el envés, aumentan de tamaño hasta formar pústulas maduras pardo-rojizas que al romper la epidermis de la hoja y sacudirse levemente, liberan una especie de polvillo herrumbroso, constituido por masas de uredosporas aptas para germinar al encontrar las condiciones propicias. El ciclo completo de infección tiene una duración de 10 a 15 días. Alrededor de la pústula principal pueden formarse pústulas secundarias (Fig. 2).

Figura 1. Pústulas inmaduras de roya.

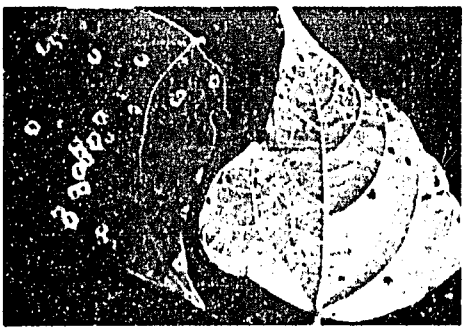


Figura 2. Pústulas de roya.

Cuando estas pústulas maduran toman una coloración negruzca debido a la presencia de teliosporas. Cuando la infección es muy severa, o aparece temprano antes de la floración, puede ocurrir defoliación prematura con una disminución drástica en la formación y llenado de vainas; cuanto más jóvenes sean las vainas, más susceptibles serán al ataque (Fig. 3). El patógeno también puede atacar tallos y pecíolos, donde se pueden observar pústulas.

La diseminación de la roya es muy fácil: cualquier objeto que haya estado en contacto con las hojas infectadas o que haya entrado en contacto indirectamente con la masa de uredosporas, será un agente diseminador: herramientas de trabajo, ropa, insectos, vertebrados, la piel del hombre, gotas de agua. El viento es agente diseminador por excelencia a grandes distancias. Este hongo no es transmitido por semilla.

Figura 3. Infección en las vainas.

Control

Una medida de control de la roya en el frijol consiste en determinar regionalmente las épocas de siembra para que las condiciones ambientales sean desfavorables a la rápida multiplicación durante las etapas críticas de infección del patógeno que son prefloración y floración. Sin embargo, en la práctica es difícil de aplicar exitosamente este método de control pues generalmente las siembras están determinadas por épocas de lluvia definidas. Otras medidas que se recomiendan son la rotación de cultivos que no sean hospedantes de este patógeno y la eliminación de residuos de cosecha para rebajar el nivel del inóculo en el terreno.

El control químico es más efectivo durante las etapas iniciales del ataque. Se han reportado buenos resultados en el control de la roya del frijol tanto con fungicidas protectantes como con sistémicos. En general, los protectantes tales como Dithane M 45 (Mancozeb), Daconil (Bravo o cloratalonil) y Manzate D (Maneb) no son tan eficientes en áreas con lluvias frecuentes que tienden a lavar el fungicida impregnado en las plantas. Varios fungicidas sistémicos como el Plantvax (Oxicarboxín) y Baycor, son bastante eficientes en el control de esta enfermedad. En muchas regiones del trópico, sobre todo en áreas donde es necesario hacer varias aplicaciones de fungicidas para tener un control eficiente de la roya del frijol, el uso de estos no es una práctica económica. Quizás esta práctica es más rentable en el control de la roya en la habichuela o frijol verde.

Encontrar variedades resistentes a la roya es la medida de control más adecuada; sin embargo ésto ha sido difícil dado que Uromyces phaseoli es uno de los patógenos del frijol más variable que se conoce (18, 55), pues continuamente surgen razas diferentes (22). La metodología empleada para

transmitir resistencia genética a diferentes materiales de frijol, ha sido descrita detalladamente por CIAT (18). Al crearse en 1974 el Vivero Internacional de Roya del Frijol (IBRN) se indicó entre sus objetivos el de identificar cultivares y líneas de Phaseolus vulgaris por su resistencia a un amplio rango de las razas del hongo que causan la roya del frijol (22). El informe correspondiente al período 1981-82 analiza la información recopilada durante 8 años y obtenida en un promedio de 20 localidades de América Latina, Estados Unidos, Europa, Asia, Africa y Australia (23). En el Cuadro 1 se presentan las variedades "monitores", o sea aquellas que han sido constantes en el IBRN desde 1975, con el mas amplio rango de resistencia a las razas del patógeno de la roya, a través del tiempo y de localidades. El Cuadro 2 presenta las líneas de frijol de CIAT y de programas nacionales con amplio rango de resistencia.

Con referencia a escalas de evaluación que se usan actualmente, se utiliza una escala para estimar el porcentaje de daño y otra escala para el tamaño de pústula y en acuerdo con la reunión de trabajo sobre roya del frijol realizada en Puerto Rico en 1983 (52).

El Cuadro 3, presenta las nuevas líneas de frijol que servirán como diferenciales para las diferentes razas de roya, con informaciones sobre color de grano, según se acordó en Puerto Rico en 1983.

En la actualidad se busca obtener una resistencia genética durable evaluando diferentes mecanismos de resistencia a la enfermedad. Entre estos se destacan: a) el tipo de pústula pequeña, b) un período de latencia prolongado y c) una baja receptividad a la roya (43).

Antracnosis

Agente causal:
Colletotrichum lindemuthianum (Sacc & Magn.) Briosi & Cav. estado asexual; Glomerella cingulata (Stonem Spauld et V. Schrenk) estado sexual

Otros nombres de la enfermedad:
Antracnose (português), L'anthracnose (francés), Anthracnose (inglés)

La antracnosis es una de las principales enfermedades del frijol que más pérdidas económicas causa en todo el mundo. Se han registrado severos ataques en Brasil, México, Guatemala, Cuba, Colombia, Nicaragua, El Salvador, Honduras, Uganda y más recientemente en Argentina. Las pérdidas difieren según el grado de resistencia de las variedades, pero pueden ser hasta de 100% si las condiciones son favorables para el desarrollo de la enfermedad.

La enfermedad es favorecida por temperaturas frescas entre 13° y 26°C una óptima de 17°C y por alta humedad relativa en forma de lluvias moderadas y frecuentes acompañados de vientos; factores que contribuyen a la diseminación del patógeno.

El medio más importante de diseminación, a corta distancia, es el salpique de agua lluvia sobre residuos de cosecha que contienen conidias, conidióforos o acérvulos del hongo. Las conidias, contenidas en una matriz gelatinosa soluble en agua, germinan e invaden el tejido vegetal. El ataque del hongo es más intenso y rápido en plantíos de alta densidad. El agua también actúa como diseminador al arrastrar las conidias en su movimiento superficial.

Cuadro 1. Variedades testigo de la roya del frijol del IBRN con la resistencia más amplia de Uromyces phaseoli, evaluadas de 1975 a 1985.

Variedades	Número de locaciones																			
	1975				1976				1977-78				1979-80				1981-82				1983-84			
	IM	R	IT	S	IM	R	IT	S	IM	R	IT	S	IM	R	IT	S	IM	R	IT	S	IM	R	IT	S
Redlands Pioneer					2	7	5	2	3	11	2	0	3	20	7	0	3	10	7	0	1	12	5	0
Redlands Green Leaf C	1	2	2	0	1	7	6	2	4	8	4	0	2	12	8	0	6	6	8	1	2	6	10	1
Redlands Green Leaf B	7	3	2	0	2	8	5	2	3	11	2	0	4	8	9	1	1	11	6	0	1	9	8	1
Cuilapa 72	4	7	1	1	8	3	3	3	7	7	0	0	5	7	9	1	5	9	4	2	4	8	6	0
Cocacho	5	4	0	1	0	5	2	2	2	7	8	0	3	7	10	1	4	10	4	2	1	10	6	0
México 309	6	5	1	0	8	4	3	2	8	7	1	1	8	10	3	1	1	7	9	2	7	8	3	1
México 235	2	1	2	0	6	4	4	2	5	6	2	2	4	14	4	0	7	3	7	3	2	7	8	1
Ecuador 299	5	7	1	0	3	6	6	2	4	6	4	2	1	1	11	1	5	5	7	3	2	8	8	0
Redlands Autum Crop	2	1	1	0	0	9	5	2	1	6	5	4	1	7	10	3	4	8	5	4	3	7	7	2
México 6					1	2	2	1	3	7	5	1	1	7	13	1	3	6	8	4	2	8	6	3
Turrialba 4	7	5	1	1	7	3	4	3	8	3	4	2	3	7	9	3	4	7	7	1	4	6	8	1

IM = Inmune; R = Resistente; IT = Intermedio; S = Susceptible.

Cuadro 2. Línea IBRN del CIAT con la resistencia más amplia a la roya. Estas fueron las primeras evaluaciones del IBRN en 1979-1980.

	1979-80				1981-82				1982-83			
	IM	R	IT	S	IM	R	IT	S	IM	R	IT	S
BAT 76	4	13	5	0	4	11	4	1	5	8	6	0
BAT 93	4	10	7	1	5	11	4	0	6	8	5	0
BAT 520	6	10	5	1	7	9	4	0	4	9	6	0
51051 (G 3834)	6	10	6	0	4	10	5	1	1	2	9	7
BAT 48	1	5	6	2	5	9	6	0	6	7	6	0
BAT 308	5	9	7	1	4	8	7	1	4	12	3	0
BAT 63	4	9	7	2	4	10	5	1	5	9	5	0
ICA L 24	2	6	9	4	4	8	8	0	2	4	11	0

IM = Inmune; R= Resistente; IT = Intermedio; S= Susceptible.

Cuadro 3. Variedades de frijol diferenciales para roya, acordadas en el taller de trabajo de la roya del frijol en Puerto Rico, 1983.

1. Olathe	7. NEP-2	13. Redlands Pioneer
2. Brown Beauty	8. Ax S 37	14. Early Gallatin
3. México 309	9. Kentucky Wonder 780	15. Golden Gate Wax
4. U.S. N° 3	10. Pinto 650	16. Compuesto Negro Chimaltenango
5. 51051	11. México 235	17. California Small White 643
6. Aurora	12. Ecuador 299	18. Kentucky Wonder 765
		19. Kentucky Wonder 814

El otro medio de diseminación importante sobre todo a largas distancias es la semilla contaminada. Una planta con antracnosis produce semillas que porta internamente el hongo. Los insectos y el hombre también pueden transportar conidias de plantas afectadas a plantas o lotes sanos.

Los síntomas pueden aparecer en cualquier parte de la planta, pero no en las raíces. Estos dependen del grado de desarrollo de la planta al momento de la infección y de la fuente de donde provenga el inóculo. Las fuentes de inóculo que pueden iniciar la enfermedad son los residuos de cosecha, las semillas infectadas y plantas vecinas enfermas. Si la fuente de infección es la semilla, los primeros síntomas aparecen en las hojas cotiledonares ó en los cotiledones como lesiones necróticas. La infección puede ocurrir en el pecíolo de la hoja; en casos severos la debilita hasta tal punto que la hoja se dobla por el sitio de la lesión (Fig. 4). También hay síntomas de lesiones deprimidas en tallos y ramas.

Figura 4. **Lesiones de antracnosis en el pecíolo de las hojas.**

Las lesiones foliares ocurren inicialmente en el envés de las hojas, a lo largo de las nervaduras principales, en forma de manchas pequeñas, angulares, de color rojo ladrillo a púrpura, las que posteriormente se vuelven de color oscuro (Fig. 5). La antracnosis se reconoce con mayor facilidad en las vainas (Fig. 6), donde las lesiones son chancros deprimidos, de forma redondeada, con márgenes ligeramente prominentes delimitados por un anillo negro con borde café rojizo.

Cuando las condiciones ambientales son favorables al hongo, aparece en el centro de la lesión una masa rosada formada principalmente por las conidias del hongo.

Figura 5. Antracnosis.

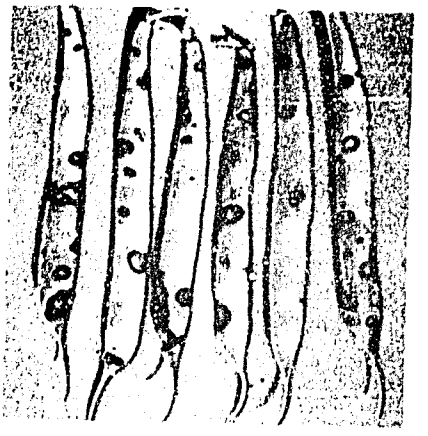


Figura 6. Vainas con antracnosis.

El patógeno puede afectar las semillas y atravesar el tegumento, produciendo lesiones en los tejidos de los cotiledones; las lesiones son chancros ligeramente deprimidos de tamaño variable, desde pequeños puntos hasta lesiones que cubren la semilla y pueden ser de color amarillo, pardo o negro, según el color de la testa (Fig. 7). En semillas de testa negra estos síntomas son difícilmente observables.

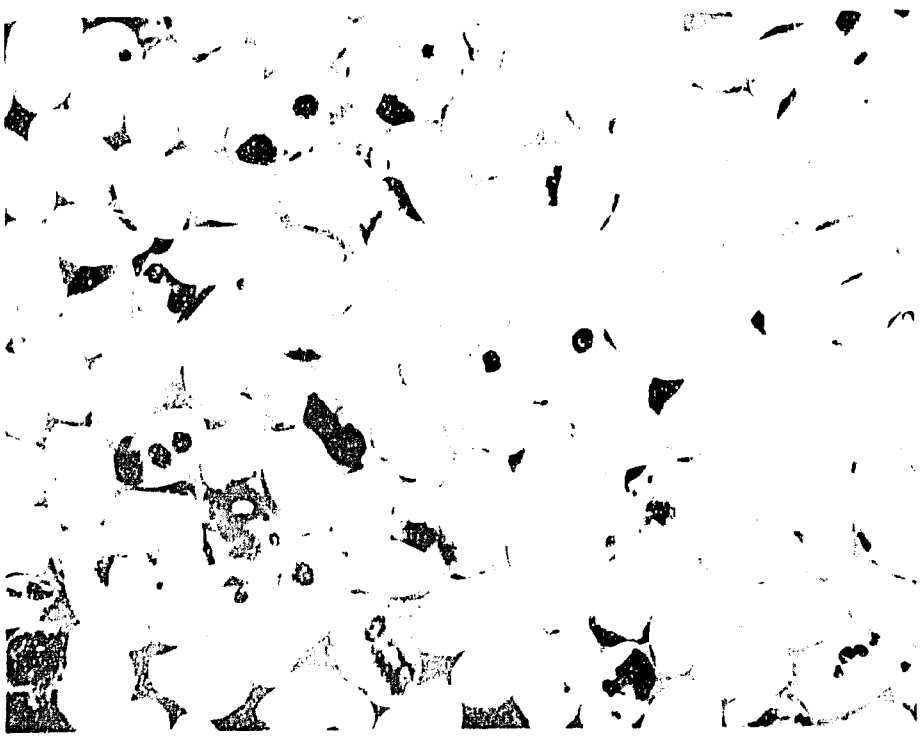


Figura 7. **Lesiones de antracnosis en semillas.**

Control

La semilla limpia libre del patógeno ha sido utilizada eficientemente en muchos países para controlar la antracnosis. La mayoría de agricultores de América Latina obtienen directamente la semilla de frijol en sus plantíos y tienen dificultades para ejercer un adecuado control de calidad de su semilla en cuanto a limpieza fitosanitaria; VIEIRA et al (56) hace una serie de recomendaciones entre las cuales se deben mencionar, por su relativa facilidad de aplicación: eliminar las plantas enfermas dentro del cultivo, cosechar después de su madurez fisiológica y eliminar las semillas anormales y con síntomas evidentes de la enfermedad. Otro medio de control es la rotación por dos o tres años con cultivos no hospedantes del patógeno, para rebajar el nivel del inóculo ó eliminar el problema. El sistema de cultivo influencia la severidad de la antracnosis en el frijol.

La eliminación de residuos infectados de la cosecha anterior es también un buen método para reducir el nivel de inóculo. Se ha informado sobre un buen control del patógeno que viene en la semilla, sumergiendo ésta en agua a 60 grados centígrados durante 5 minutos; una desventaja de este tipo de tratamientos es la posible pérdida de la germinación de la semilla, la cual, debe ser sembrada inmediatamente después de tratada. Este método no es muy utilizado.

Se han utilizado fungicidas para tratar la semilla en aspersiones foliares (12). La posibilidad de controlar la infestación de las testas de las semillas con fungicidas, ha dado resultados positivos con productos químicos como ferbán, zirán, tirán y ceresán; en la mayoría de los casos se recomienda aplicar de 1 a 5 gramos de producto por kilogramo de semilla. Para aspersión foliar los fungicidas más utilizados son el maneb, zineb, carbendazim, benomil, captafol o difolatán; sin embargo en Colombia, el mayor rendimiento se obtuvo con la rotación benomil-hidróxido de fentin (40). Se ha registrado resistencia persistente del Colletotrichum al benomil (53), así como fitoxicidad al acetato trifenil estaño (35). Es necesario anotar que en la mayoría de los casos los fungicidas son costosos y a veces difíciles de conseguir en regiones frijoleras de América Latina.

La resistencia genética es la medida de control que más se ha utilizado para el manejo o control de la antracnosis generalmente porque es la más adecuada, fácil de utilizar y práctica. Es necesario recordar que las variedades de frijol resistentes al patógeno de la antracnosis en una localidad pueden ser susceptibles en otra ya que Colletotrichum lindemuthianum posee una gran variabilidad patogénica. Desde 1918, año en que se reportó por primera vez que este patógeno poseía razas, hasta ahora se han reportado muchas razas de este hongo, tanto en Europa así como en Africa y América Latina (12). De estudios conducidos en CIAT (4, 14, 15, 16) se sabe que la variación patogénica C. lindemuthianum en América Latina es diferente y más amplia que aquella reportada en Europa. Así por ejemplo los cultivares BAT 44, BAT 841 y Amapola del camino que fueron ? resistentes a todas las razas del patógeno presentes en Europa, fueron susceptibles en condiciones de campo en México 1982. Igualmente la conocida fuente de resistencia Cornell 49242, una variedad originaria de Venezuela, donante del gene ARE de resistencia a la antracnosis, que ha sido utilizada con mucho éxito en Europa, Norte América y Africa, no es adecuada en América Latina. Cornell 49242 es susceptible a la antracnosis en Colombia y Brasil, por ejemplo. Por todas estas razones en CIAT se empezó a evaluar grandes cantidades de cultivares procedentes del banco de germoplasma con el objetivo de identificar nuevas y mejores fuentes de resistencia a esta importante enfermedad. De 13,000 accesiones que fueron evaluadas en el campo y en el invernadero por un periodo de 3 años, se han identificado muchas líneas que tienen amplia resistencia al patógeno de la antracnosis (51). Entre los cultivares que han sido ampliamente evaluados tanto en el campo como en el invernadero y que poseen amplia resistencia, se destacan: G 811, G 904, G 2333, G 2338, K2, princor, A 252, A 475, 483 y AB 136.

Algunos cultivares como Ica Llanogrande, (G 12488) son altamente resistentes en el campo en todos los lugares donde se les ha evaluado, sin embargo son susceptibles cuando se les inocula en estado de plántula en el invernadero (44). Otros cultivares con amplia resistencia de campo son Gloriabamba (G 2829) y Ancash 66 (G 4727).

En la actualidad la sección de fitopatología de frijol del CIAT distribuye un vivero internacional de resistencia en frijol a la antracnosis (IBAT) que incluye las mejores fuentes de resistencia así como los cultivares diferenciales.

La evaluación de este vivero permite identificar no sólo la efectividad de la resistencia presente en las nuevas fuentes, así como su estabilidad a través de localidades y del tiempo, sino también tener un mejor conocimiento de la distribución de las razas del patógeno. Basado en esta información la estrategia de mejoramiento para la antracnosis de frijol incluye el uso del mayor número posible de fuentes de resistencia diferentes para así ampliar la base genética del frijol y contrarrestar los efectos de esta enfermedad causada por un patógeno que posee amplia variación. Así mismo se está tratando de combinar en un mismo cultivar cuatro y a veces hasta cinco fuentes diferentes de resistencia a la antracnosis en cultivares con color de grano comercial y de diferentes hábitos de crecimiento.

Mancha Angular

Agente causal:
Isariopsis griseola Sacc. [= Phaeoisiaropsis griseola (Sacc.) Ferraris]

Otros nombres de la enfermedad:
Mancha Foliar Angular, Mancha Angular (Portugués), Taches anguleuses (francés), Angular Leaf Spot (inglés).

La mancha angular del frijol es causada por el hongo Isariopsis griseola Sacc. y se ha registrado su ataque en regiones tropicales y subtropicales tales como Colombia, Costa Rica, Guatemala, México, Perú, Venezuela, Brasil, Argentina. La mancha angular es también una enfermedad de amplia distribución y económicamente importante en varios países de Africa como Rwanda, Burundi, Zaire y Kenya. Las pérdidas económicas que esta enfermedad puede causar varían según la susceptibilidad de la variedad, las condiciones ambientales al momento del ataque y de la virulencia de la raza o razas presentes. Se han realizado evaluaciones de pérdidas de hasta 50 en Estados Unidos, 40-60% en Colombia (2) y 90% en México (7).

Los síntomas aparecen 6 días después de la inoculación (6). Dado que el inóculo del patógeno proviene principalmente de los restos de cosecha contaminados, pero también de semilla contaminada con el patógeno, las lesiones pueden aparecer inicialmente en las hojas primarias y sólo se generalizan en la planta después de la floración, o cuando comienzan a formarse las vainas (3). Cuando el ataque se presenta en las hojas primarias, los síntomas se manifiestan como manchas semicirculares, con esporulación en ambos lados de la hoja, pero esta acontece generalmente en el haz.

Cuando las lesiones están bien establecidas en el follaje, éstas son típicamente angulares en ambos lados de la hoja (Fig. 8) y delimitadas por las nervaduras; inicialmente son manchas grises que se van oscureciendo, en algunas oportunidades se puede presentar un halo clorótico que depende de la variedad, hasta tornarse necrótica y generalmente adquirir la forma angular característica. Cuando el ataque es severo estas lesiones coalescen produciendo manchas necróticas muy grandes. Es posible también encontrar manchas semicirculares en las hojas trifoliadas.

Posteriormente, las manchas son cubiertas por las estructuras fructíferas del patógeno o sinemas y adquieren la apariencia de un pequeño cepillo. En el tallo, las ramas y los pecíolos, las lesiones son de color café-rojizo, de bordes oscuros y forma alargada. En las vainas las manchas son ovaladas o circulares, con centros café-rojizos y a veces con bordes más oscuros (Fig. 9).

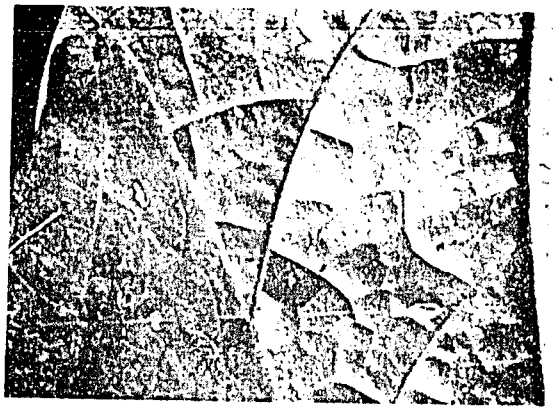


Figura 8. Lesiones de *Isariopsis griseola*.

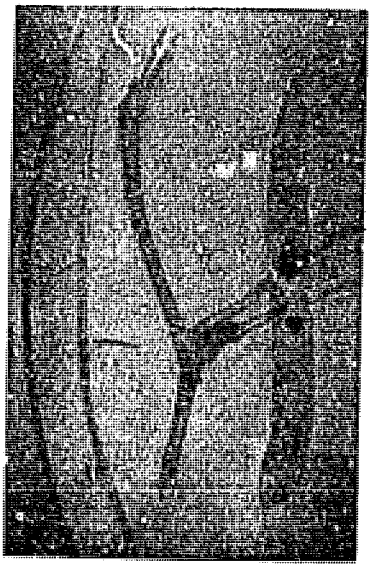


Figura 9. Lesiones de *Isariopsis griseola*.

Control

Los residuos de cosecha son el medio primario de sobrevivencia del hongo de una siembra a otra donde pueden sobrevivir hasta los 12 meses (9). Por tal motivo, donde hay antecedentes del problema o se presentan las características climáticas favorables al hongo, que son temperaturas entre 18-25°C y alta humedad relativa acompañada de períodos cortos de baja humedad, es importante la eliminación cuidadosa de los residuos de cosecha.

El patógeno es diseminado por el salpique de la gota de agua sobre el residuo contaminado, o por contacto directo de la plántula al emerger con el material vegetal infectado. Una buena medida preventiva sería rotar el frijol con otro cultivo no hospedante del patógeno durante dos años al menos después de que se haya presentado un ataque severo. Es importante recordar que el sistema de cultivo puede influenciar la severidad de la mancha angular en el frijol.

El viento también arrastra las esporas del hongo y ésto es conveniente tenerlo en consideración cuando hayan lotes infestados cercanos a lotes donde no se ha presentado el ataque, para efectuar entonces alguna protección química preventiva. Aunque se ha reportado que la transmisión del patógeno por semilla es muy baja (5), este es un peligro potencial. En Brasil es importante (1). Una buena medida de control integrado es escoger para la siembra una semilla de excelente calidad, con buena apariencia, tamaño y coloración.

El uso de fungicidas es un complemento de las prácticas anteriormente mencionadas y no un sustituto de ellas. Las aplicaciones deberán ser efectuadas en las etapas iniciales del ataque. Se ha usado con éxito carbendazím, benomil, triforin (19), oxicloruro de cobre y cardo bordelês (25), y el zineb y maneb (29A). El fungicida Baycor ha dado un control muy eficiente en condiciones de Popayán, Colombia.

La utilización de la resistencia varietal es la alternativa más importante de control. Se viene trabajando intensamente en la evaluación de germoplasma distribuído en múltiples países y por diferentes equipos de investigadores, aunque últimamente se hace mayor énfasis en experimentar grupos semejantes de variedades en diferentes regiones, comunicandose en forma sistemática los resultados para obtener realmente los mejores materiales genéticos y con mayor estabilidad posible.

La evaluación en Colombia, Argentina y Brasil en las américas; Rwanda, Burundi, Zaire y Zambia en Africa, así como en el invernadero de un gran número de nuevas líneas de frijol con diferentes fuentes de resistencia, ha permitido diferenciar razas del hongo causal de la mancha angular en estos países y en Colombia. Aunque las líneas CIAT A 160, A 210 y BAT 332 son resistentes en Colombia, en Brasil son susceptibles, lo contrario ocurre para las líneas A 339 y A 340. Las líneas BAT 67, BAT 76, A 140, A 154, A 295 y Jalo EEP 558 entre otros son resistentes en ambas zonas.

El CIAT ha desarrollado una metodología para evaluación de resistencia a Isariopsis (19).

La diferencia de estas lesiones con las de la antracnosis, es que este último ocasiona chancros deprimidos en las vainas; con Isariopsis es común encontrar las manchas de las vainas cubiertas de sinemas (Fig. 10).

Cuando el patógeno ataca las vainas jóvenes, ocasiona su vaneamiento perdiéndose la totalidad de la semilla. El hongo puede atravesar la vaina dando origen a semillas decoloradas, mal desarrolladas o totalmente arrugadas (Fig. 11).

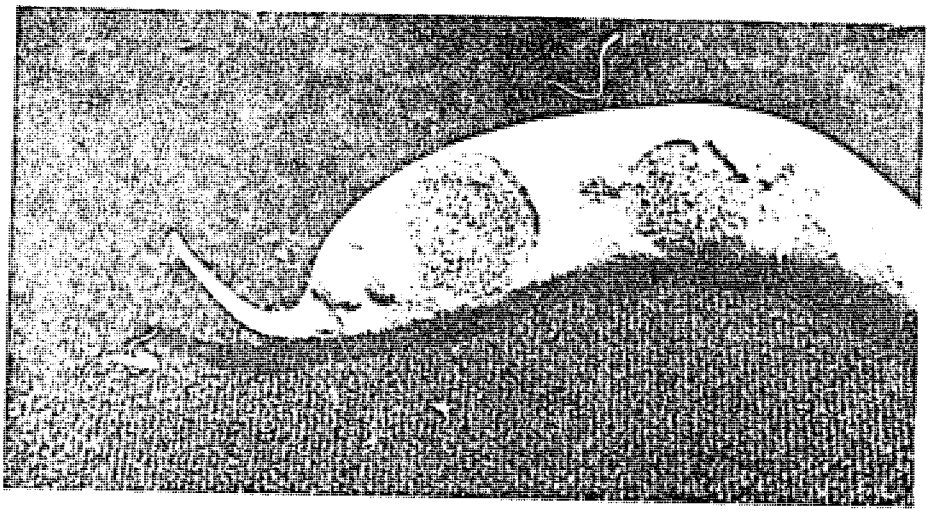


Figura 10. Lesiones en las vainas con la formación de sinemas.

Figura 11. Arrugamiento y decoloración de la semilla de plantas afectadas.

Mustia Hilachosa

Agente causal:
Thanatephorus cucumeris (Frank) Donk, (estado sexual); Rhizoctonia solani Kuhn (estado asexual)

Otros nombres de la enfermedad:
Telaraña, quema, chasparria, rhizoctonia del follaje, mela y murcha-de-téia-micélica (português), la maladie de la toile (francês), web blight (inglés)

Esta enfermedad es considerada como uno de los principales factores limitantes de la producción de frijol en las zonas húmedas y cálidas del trópico, como la región amazónica o en las tierras bajas de Centro América. En Costa Rica es una enfermedad endémica (27), y en Argentina se ha registrado recientemente su aparición (46). Es importante también en Brasil (57). Su ataque causa defoliación rápida y drástica en las plantas y, en una o dos semanas puede ocasionar la pérdida total de la cosecha si se presenta en la etapa crítica de llenado de vainas (47).

Se han evaluado pérdidas económicas de hasta 90% en Costa Rica y también en México (32). Además de las condiciones climáticas favorables para el desarrollo del patógeno, desequilibrios en el estado nutricional de la planta tales como alto contenido de nitrógeno y bajos niveles de calcio toman más susceptible el cultivo al ataque (34). También la presencia de agua sobre el tejido foliar favorece la infección.

En los períodos secos se restringe considerablemente la incidencia y el desarrollo de la enfermedad.

La diseminación del patógeno se hace a través del viento, la lluvia, el agua de escorrentía y el movimiento de implementos agrícolas dentro del cultivo. Los esclerocios generalmente constituyen el inóculo primario (30) y pueden permanecer viables por uno o más años, además de que el hongo también puede sobrevivir como micelio vegetativo en los residuos de la cosecha.

T. Cucumeris ataca principalmente el follaje, tallos, ramas y vainas de la planta de frijol en cualquier estado de desarrollo, pero no causa lesiones en las raíces.

Los primeros síntomas que aparecen en las hojas, que son generalmente causados al producirse el salpique de los esclerocios y micelio (estado asexual) se presentan como pequeñas lesiones acuosas circulares de 1-3 mm de diámetro y de coloración más clara que la hoja. Otro tipo de lesión, en este caso ocasionada por basidioesporas (estado sexual) son manchas necróticas de 2-3 mm de diámetro en las cuales al necrosarse el tejido, éste se puede desprender formando lo que comúnmente se denomina "ojo de gallo" (Fig. 12).

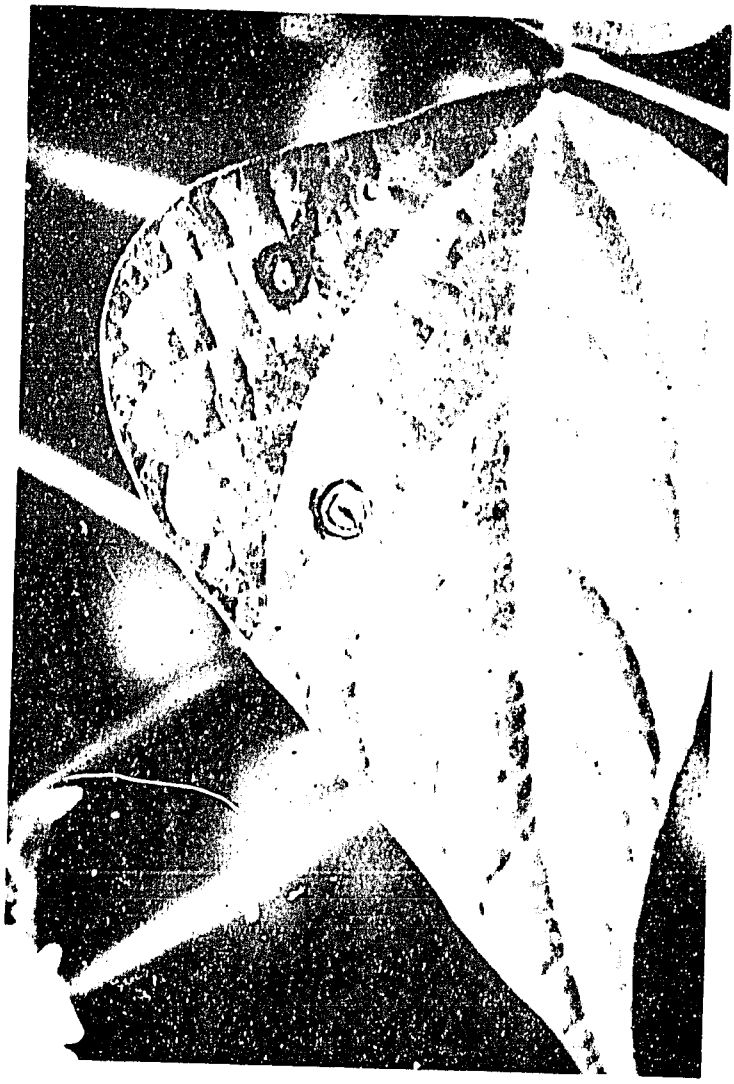


Figura 12. Síntoma denominado "ojo de gallo".

A medida que se desarrolla la infección por micelio, las lesiones van adquiriendo una coloración café delimitada por un halo oscuro y pueden comenzar a aparecer lesiones leves en las vainas; las manchas de las hojas adquieren un color gris-verdoso a café oscuro dando la apariencia de ser el resultado de escaldaduras (Fig. 13).

Figura 13. Síntomas de Mustia hilachosa.

El micelio del hongo pasa a otros órganos de la planta y puede crecer en forma de abanico o telaraña, cubriendola; las hojas se adhieren entre sí y se produce defoliación severa. Las vainas jóvenes pueden ser destruidas totalmente (Fig. 14). En las vainas maduras las lesiones coalescen, causando daño severo y vaneamiento. El hongo puede infectar la semilla.

Control

Se recomienda un programa de control integrado que incluye la siembra de semilla libre de contaminación interna y externa; la eliminación de residuos de cosecha infectados por el patógeno, dada su amplia capacidad de vivir sobre materia orgánica aún en descomposición.

Donde se presenta el problema de esta enfermedad es conveniente rotar con cultivos no hospedantes del patógeno, como por ejemplo las gramíneas. Si es posible, es conveniente coincidir la maduración de las vainas con una época seca; la siembra en surcos permite un mejor control preventivo a la enfermedad (24). El método de control cultural que ha dado los mejores resultados en Costa Rica es el uso de coberturas, ya que sirve de barrera al salpique de la gota de lluvia sobre material contaminado; se ha utilizado con éxito la cobertura de arroz con 2.5 cms de espesor, superando el uso de productos químicos incluido el benomil (32). Esta práctica sin embargo no se recomienda. En su lugar se usan coberturas de malezas muertas con herbicidas.

Para el control químico se recomienda el uso de zineb, benomil, tiofanato, maneb, zinam, captafol, metiran y baycor (20). En Brasil emplean con éxito el tiabendazole y el benomil (10 y 11), pero no han obtenido buenos resultados con el PCNB.

Figura 14. Vainas con infección avanzada de mustia hilachosa.

El sistema de labranza mínima reduce los efectos del salpique como factor primario de la enfermedad. Costa Rica emplea el sistema de siembra de "frijol tapado", que también controla bien la enfermedad pero reduce un poco los rendimientos por causa de la competencia de las malezas con el cultivo (3°). Incorporar resistencia genética a los materiales de frijol para la mustia hilachosa se considera la mejor alternativa de control, pero ha sido difícil avanzar con rapidez. Aunque ninguna línea conocida es inmune, algunas líneas de frijol han sido identificadas como moderadamente resistentes bajo intensa presión de la enfermedad. Esta resistencia ya ha conseguido ser incorporada a varias líneas promisorias (14). En los viveros internacionales de frijol, que es donde se viene trabajando actualmente con más intensidad en selección genética, se han hecho evaluaciones para resistencia a mustia hilachosa en Colombia, Panamá, Costa Rica, Nicaragua, El Salvador, Guatemala y México.

Las líneas BAT 1235, BAT 1256, Porrillo 70, S-6538 y Porrillo 1 han mostrado niveles aceptables de resistencia al ataque de la enfermedad. Sin embargo, como esa resistencia no es suficiente para obtener niveles de producción satisfactorios es necesario complementarla con controles culturales y químicos (14). En Panamá se ha establecido un sistema eficiente de control de la enfermedad utilizando coberturas y combinándolo con el sistema de labranza mínima y el uso de herbicidas postemergentes (15).

El CIAT ha publicado un Sistema de Evaluación para mustia (16); haciendo uso de este sistema, las lecturas de los observadores serán comparables en todas las regiones del mundo en que se presente la necesidad de hacer estudios al respecto.

Ascochyta del Frijol

Agente causal:

Ascochyta phaseolorum Sacc. [= A. boltshauseri Sacc., = Phoma exigua var. diversispora)

Otros nombres de la enfermedad:
Mancha de Ascochyta (Portuguës), Ascochytose (Francés), Ascochyta Blight (Inglés).

Esta enfermedad ha llegado a ser muy importante en la región Andina (14), dejando así su condición de enfermedad secundaria como hasta ahora se había manifestado, pues bajo condiciones de alta humedad y baja temperatura ha ocasionado graves pérdidas económicas. Regiones con más de 1500 m de altitud favorecen su desarrollo. En Guatemala, Shieber (47) señaló que esta enfermedad había sido confundida frecuentemente con la antracnosis. En Popayán (Colombia), Ascochyta es una enfermedad endémica (15), en Brasil, los Estados de Mina Gerais (38) y Espiritu Santo (8) han registrado ataques de esta enfermedad con niveles de daño económico.

Inicialmente los síntomas aparecen en las hojas, con lesiones circulares de color oscuro, que al crecer adquieren la apariencia de un conjunto de círculos concéntricos y donde pueden estar presentes masas de pequeños picnidios negros (Fig. 15). Las lesiones también se pueden presentar en los peciolos, pedúnculos, vainas (Fig. 16) y en el tallo, el cual disminuye de diámetro en el lugar de la lesión provocando volcamiento y muerte de la planta.

Las lesiones en las vainas producidas por Ascochyta presentan manchas de coloración oscura sin forma definida ni depresiones, pero sí los anillos concéntricos y a veces la presencia de los picnidios. En condiciones favorables, el ataque de este patógeno es muy rápido, ocasionando quemadura severa en el follaje, defoliación prematura y muerte de la planta.

El hongo puede diseminarse por residuos de cosecha contaminados, por salpique del agua con picnidios o por contacto directo del tejido sano con micelio. Otra forma de diseminación del hongo es por la semilla contaminada (21).

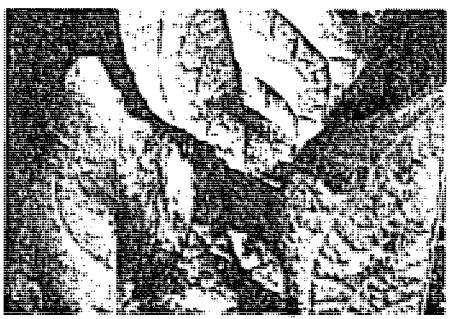


Figura 15. Ascochyta en hojas.

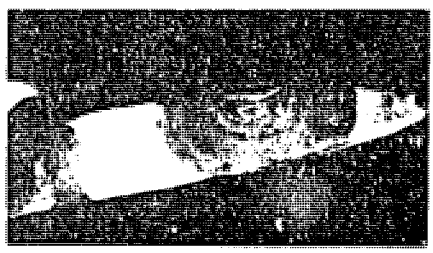


Figura 16. Ascochyta en la vaina.

Control

Algunas de las prácticas recomendadas para el control son: la siembra de semilla limpia, o en caso de duda, tratada química o físicamente para eliminar el patógeno que allí puede ser transportado; rotación de cultivos, pues el nivel del inóculo puede aumentar en años seguidos como fué constatado en Brasil (38); establecer un mayor espaciamiento entre las plantas. Con respecto a la siembra asociada de frijol y maíz, hay información que en variedades altamente susceptibles la asociación aumentó los niveles de ataque (16). Un trabajo sobre control integrado en Colombia (41) recomienda aplicaciones de benomil cada 15 días con distancia de siembra 60 x 60 cm. para una variedad arbustiva. En Brasil, el uso de benomil también ha dado buenos resultados (8). Se recomiendan también los productos a base de azufre, también el clorotalonil y el zineb (20). Los fungicidas Daconil (Bravo) y Derosal (Bavistin ó Carbendazim) han dado resultados muy satisfactorios en Colombia.

Para mancha foliar por Ascochyta se han hecho hasta el momento evaluaciones de resistencia genética en Guatemala, Colombia, Ecuador, Perú, Rwanda y Tanzania (15). También se ha evaluado la diferente reacción del tipo de frijol trepador y arbustivo, a esta enfermedad. Un material se ha presentado como muy resistente, identificado como GUATE 1076-CM, (G 35182) correspondiente a Phaseolus coccineus subs polyanthus, la progenie de los cruces realizados entre este material y P. vulgaris ha resultado también resistente. Dentro de P. vulgaris una de las accesiones más resistente ha sido GUATE 1213-CM y de las líneas avanzadas para la región andina está VRA 81022 que es la más resistente (16). El tipo trepador favorece el escape de la enfermedad pues Ascochyta tiende a atacar más severamente el tejido más cercano al suelo. El uso de espaldera ha favorecido la resistencia genética que oponen los materiales evaluados a la enfermedad (15). CIAT presenta además un sistema de evaluación estándar para mancha por Ascochyta en frijol.

Pudrición Gris

Agente causal:

Macrophomina phaseolina (tassi) Goidanich [= M. phaseoli (Maubl.) Ashby]

Otros nombres de la enfermedad:

Podredumbre carbona, tizón cenizo del tallo, mancha ceniza del tallo, pudrición carbonosa de la raíz, pudrición gris de la raíz; podridão cinzenta do caule (Português); pourriture charbonneuse (Francés); ashy stem blight y charcot rot (Inglés).

Esta enfermedad es más común en frijol expuesto a stress de sequía y a temperaturas altas. Bajo estas condiciones, ha sido reportada en la mayoría de las regiones frijoleras tanto de las Américas así como de África, Asia y algunos países de Europa. En América Latina su recurrencia es reportada en algunos estados del Noroeste de Brazil como Bahía, en Chile, Costa del Perú, Venezuela, Cuba y en algunas regiones de América Central. El patógeno que causa la pudrición gris tiene la capacidad de atacar muchos cultivos como soya, alfalfa, maní, sorgo y maíz.

Macrophomina phaseolina puede atacar al frijol en estado de plántula o en estado adulto. En plántulas, los síntomas se pueden observar antes, pero más comúnmente después de la emergencia en los tallos a la altura de las hojas cotiledonarias como chancros negros, deprimidos con bordes bien definidos. A veces los bordes de los chancros se observan como anillos concéntricos (Fig. 17).

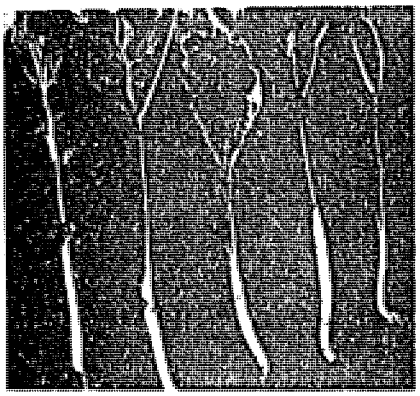


Figura 17. Infección en plántulas causada por *M. phaseolina*.

Cuando las condiciones ambientales son adecuadas para el desarrollo de la enfermedad, los síntomas se extienden rápidamente, generalmente sólo en un lado de la planta, progresando de la base de los cotiledones en ambas direcciones a veces hasta los pecíolos de las hojas primarias y frecuentemente llegando a destruir el punto de crecimiento de la plántula. También puede ocasionar el rompimiento de la plántula en el punto del tallo debilitado por el chancro. En estos casos, es común que el hongo forme en los chancros estructuras de supervivencia llamados esclerocios. En los tallos y pecíolos también puede formar picnidios que son las estructuras que contienen las esporas asexuales del hongo. Ambos, los esclerocios y picnidios formados en la superficie del tallo, se observan como pequeños puntos negros que parecen granos de pimienta molida (Fig. 18).

La infección en plantas adultas causa síntomas similares. Generalmente los síntomas son también más pronunciados en un lado del tallo o de las ramas y pueden causar clorosis, marchitamiento, defoliación prematura, raquitismo y muerte de la planta. Las lesiones posteriormente se vuelven de color gris o ceniza y generalmente presentan externa o internamente los esclerocios de color negro. También es común observar externamente los picnidios sumergidos sobre un fondo gris. La coloración gris o ceniza de las lesiones con la presencia de esclerocios o picnidios le dan la apariencia característica a esta enfermedad.

Los esclerocios sobreviven en los residuos de cosecha y en el suelo y son la fuente primaria de inóculo que inician la enfermedad cuando germinan e infectan los tallos de las plantas cerca de la superficie del suelo. Las conidias que se encuentran dentro de los picnidios pueden ser transportados por el viento y así iniciar infecciones secundarias sobre todo en plantas adultas. El patógeno también puede sobrevivir en la semilla.

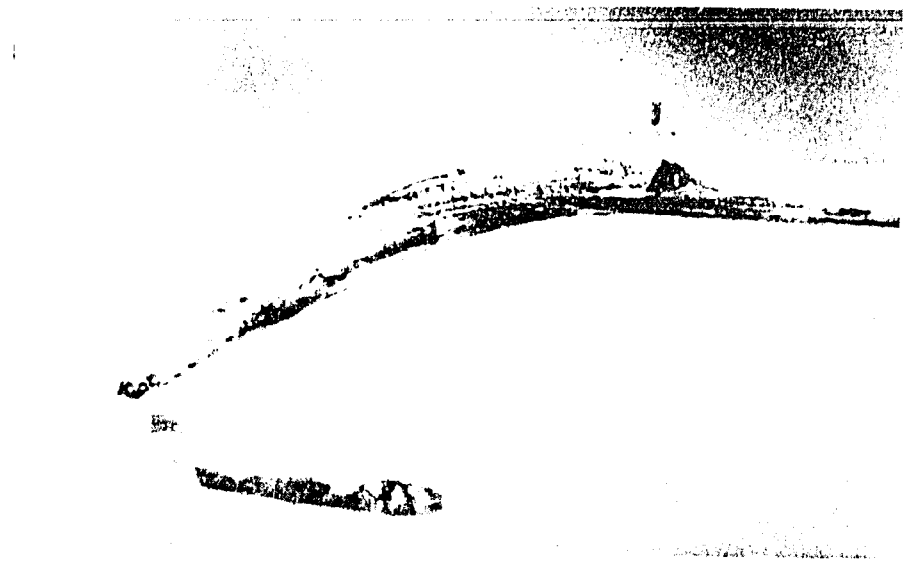


Figura 18. Esclerocios de *M phaseolina* en un tallo.

Control

Aunque la rotación de cultivos se recomienda para disminuir el inóculo presente en el suelo, esta medida no es muy efectiva porque el patógeno puede atacar muchos hospederos. Se recomienda sembrar semilla libre del patógeno ya que este puede ser transportado internamente en ella. También se ha utilizado el tratamiento de la semilla con productos químicos como Terosán. Las aradas profundas así como la destrucción de los residuos de cosecha infectados tienden a disminuir el inóculo. La humedad alta en el suelo y las adiciones de orgánica también reducen los niveles de los esclerocios así como la fumigación del suelo con bromuro de metilo. Se han identificado algunas líneas de frijol como BAT 95, BAT 477 y G 5059 que tienen muy buenos niveles de resistencia a Macrophomina phaseolina.

ENFERMEDADES CAUSADAS POR HONGOS

A - Enfermedades de las partes aéreas

1. Araya, A.C. 1977. Efecto de la época de producción y tratamiento de semilla en el vigor y transmisión de enfermedades fungosas en la semilla de frijol (Phaseolis vulgaris). Tesis, Univ. de Costa Rica, 47 p.

2. Barros, O.; Cardeñosa, R. y Skiles, R.L. 1957. The severity and control of angular leaf spot of beans in Colombia. Phytopathology 47:3.

3. _____ 1958. Angular Leaf Spot of Beans in Colombia. Plant Dis. Report. 42:420-424.

4. Bolaños, J.I. 1984. Variedades patogénicas de aislamientos mexicanos de Colletotrichum lindemuthianum (Saac y Magn), agente causal de la antracnosis del frijol común (Phaseolus vulgaris L.). Tesis de Ing. Agrónomo. Univ. Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Palmira, Colombia.

5. Cafati, E.C.; Alvarez, A.M. 1981. Análisis de las principales enfermedades del frijol en Chile. In Seminario de Leguminosas de Grano, 2°, Santiago, Chile, 1981. pp 122-140.

6. Campos, A.J. & Fucikovsky, Z.L. 1980. Estudio de algunas características de Isariopsis griseola Sacc., agente causal de la mancha angular de frijol. Agrociencia 39: 41-48.

7. _____ 1981. Estudio de algunos aspectos de la mancha angular causada por Isariopsis griseola Sacc., en el cultivo de frijol. Fitopatología 16 (1): 16-19.

8. Candal Neto, J.F.; Pacova, B.E.V.; Dan, E.; Ventura, J.A. 1981. Ocorrencia da mancha de ascoquita (Ascochyta sp.) na cultura do feijao (Phaseolis vulgaris) no Espiritu Santo. Cariacica, E.S., Brasil, Empresa Capixaba de Pesquisa Agropec. Serie Comunicado EMCAPA V3 #1 9 p.

9. Cardona-Alvarez, C. & Walker, J.C. 1956. Angular leaf spot of bean. Phytopathology 46: 610-615.

10. Cardoso, J.E. 1980. Eficiencia de tres fungicidas no controle da murcha da téia micélica no feijoeiro no Acre. Rio Branco-AC, Brasil, EMBRAPA. Unidade de execucao de pesquisa de ambito estadual. Comun. Téc. #13 4 p.

11. _____; Oliveira, E.B. 1982. Controle da mela do feijoeiro através de fungicidas. Pesquisa Agropec. Brasileira 17(12): 1811-18 3.

12. Chávez, G. 1980. Antracnosis. En H.F. Schwartz y G.E. Gálvez (Edits.), Problemas de Producción de Frijol: Enfermedades, insectos, limitaciones edáficas y climáticas de Phaseolus vulgaris. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Serie 09EB-1, Cali, Colombia, P. 37-54.

13. CIAT. 1981. Informe Anual. Programa de Frijol.

14. CIAT. 1982. Informe Anual. Programa de Frijol.

15. CIAT. 1983. Informe Anual. Programa de Frijol.

16. CIAT. 1984. Informe Anual. Programa de Frijol.

17. CIAT. La Antracnosis del Frijol y su Control; guía de estudio para ser usada como complemento de la Unidad Audiotutorial sobre el mismo tema. Contenido Científico: ... Producción: ... Cali, Colombia. CIAT nnp.

18. CIAT. La Roya del Frijol y su Control; guía de estudio para ser usada como complemento de la Unidad Audiotutorial sobre el mismo tema. Contenido Científico: ... Producción: ... Cali, Colombia. CIAT

19. CIAT. 1982. La Mancha Angular del Frijol y su Control; guía de estudio para ser usada como complemento de la Unidad Audiotutorial sobre el mismo tema. Contenido Científico: Schwartz, H.F.; Correa, V.F.; Corrales, M.P. Producción: Ospina, H.F. y Flor, C. CIAT, (Serie 04SB-06.09).

20. CIAT. 1982. La Mustia Hilachosa del Frijol y su Control; guía de estudio para ser usada como complemento de la Unidad Audiotutorial sobre el mismo tema. Contenido Científico: Gálvez, G.; Galindo, J. y Castaño, M. Producción: Ospina, H.F.; López, M. y Bonilla, M. Cali, Colombia. CIAT 20 p. (Serie 04SB-06.12).

21. CIAT. 1980. Enfermedades del Frijol Causadas por Hongos y su Control; guía de estudio para ser usada como complemento en la Unidad Audiotutorial sobre el mismo tema. Contenido Científico: Schwartz, H.F. Producción: Ospina, H.F. Cali, Colombia, CIAT. 56 p. (Serie 04SB-06.01).

22. CIAT. 1982. Informe del Vivero Internacional para Roya. 1979-1980.

23. CIAT. 1984. Informe del Vivero Internacional para Roya del Frijol 1981-1982.

24. Correa, J.R.V. 1982. Controle da Murcha da Têia Micêlica na Transamazónica. Altamira, PA, Brasil. EMBRAPA. Com. Téc. #2 8 p.

25. Costa, A.S. 1972. Anais do I Simposio Brasileiro de Feijao. II. Investigacoes sobre moléstias do feijoeiro no Brasil. pp 316-319. Univ. Fed. Vicosa. Brasil.

26. Devos, P; Vandurme, J.; Kabengele, K. 1983. Phaseolus beans, a Staple Food in Burundi. Tropicultura 1(2): 43-46 (Institute des Sciences Agronomiques du Burundi).

27. Echandi, E. 1966. Principales Enfermedades de Frijol Observadas en Diferentes Zonas Ecológicas de Costa Rica. Turrialba. 16: 359-363.

28. Fernández, F.; Gepts, P.; López, M. 1982. Etapas de desarrollo de la planta de frijol común; guía de estudio para ser usada como complemento de la Unidad Audiotutorial sobre el mismo tema. Cali, Colombia. CIAT. 26 p.

29. Fukuda, M.G. 1982. Heranca da resistencia a tres rancas fisiológicas de Colletotrichum lindemuthianum em feijoeiro. Tese Mag. Sc. Vicosa, MG. Brasil. Univ. Fed. de Vicosa. 29 p.

29A- Ferraz, S. 1980. La Mancha Angular. En H.F. Schwartz y G.E. Gálvez (Edits), problemas de producción de frijol: enfermedades, insectos, limitaciones edáficas y climáticas de phaseolus vulgaris. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Serie 0 EB-1-Cali, Colombia, p. 55-56.

30. Galindo, J.J. 1982. Epidemiology and Control of Web Blight of Beans in Costa Rica. Ph. D. thesis. Ithaca, N.Y., Corneil University, 141 p.

31. _____ 1983. Effect of mulching on web blight of beans in Costa Rica. Phytopathology 73(4): 610-615.

32. Gálvez, G.E. 1980. La Mustia Hilachosa. En H.F. Schwartz y Gálvez (Ver #49).

33. _____ 1982. Investigaciones sobre el picudo del frijol, la mustia hilachosa y el mosaico dorado en Centroamérica y México. Cali, Colombia. CIAT. Seminarios Internos Serie SE-11.82. 7 p.

34. IICA. 1962. La Chasparria del frijol provocada por Pellicularia filamentosa. Informe Técnico, San José, Costa Rica, 1962. 61 p.

35. Institut des Sciences Agronomiques du Rwanda. 1982. Legumineuses: Essais comparatifs de fongicides contre les champignons macullicolles du haricot. In Compte rendu des travaux... 1981. Rubona.

36. Martínez, M.S. 1983. Principales enfermedades fungosas del frijol. In Curso intensivo de posgrado en la producción de frijol, 4°, Matanzas, Cuba, 1983. Conferencias, Cuba, Minagricultura pp 12-32.

37. Miranda, C.S. 1965. Mejoramiento del frijol en México. México, Inst. Nal. de Invest. Agrícolas. 34 p.

38. Mora, B.B. 1983. Estimativa de perdas no rendimento do feijoeiro comum, (Phaseolis vulgaris) causadas pela mancha angular (Isariopsis griseola Sacc.). Tese Mag. Sc. Vicosa, MG., Brasil. Univ. Fed. Vicosa. 60 p.

39. Muhalet, C.S.; Adams, M.W.; Saettler, A.W.; Ghaderi, A. 1981. Genetic system for the reaction of field beans to beta, gamma, and delta races of Colletotrichum lindemuthianum. Journal of the Am. Soc. for Hort. SC 106(5): 601-604.

40. Navarro, A.R.; Puerta, O.D.; Isaza, L. 1981. Uso alternado de fungicidas para el control de la antracnosis (Colletotrichum lindemuthianum) en Frijol (Phaseolus vulgaris) en el Oriente Antioqueño. Fitopatología Colombiana 10 (1/2): 3-6.

41. _____ 1981. Efecto combinado de las densidades de población y el control químico de las enfermedades foliares y el rendimiento del frijol. Fitopatología Colombiana 10(1/2): 7-9.

42. Onim, J.F.M. 1983. Mutation breeding for disease resistance in food beans and cowpea in kenya. In Research coordination meeting on the induced mutations for disease resistance in crop plants. 2nd. Denmark, 1981. Proceeding, Viena, FAO/IAEA. pp 193-199.

43. Pastor-Corrales, M.A. and F. Correa. 1983. Yield evaluations of some cultivars with small or large pustule. Phytopathology 73: 124.

44. Pastor-Corrales, M.A. and Germán Llano, 1985. Disease resistance mechanisms in beans to the anthracnose pathogen. Phytopathology.

45. Pastor-Corrales, M.A., F. Correa y H. , 1983. Pérdidas en rendimiento causadas por la mancha angular del fríjol. Phytopathology 73:124.

46. Ploper, L.D. 1981. La mustia hilachosa nueva enfermedad en los cultivos de poroto (Phaseolus vulgaris) del noroeste argentino. Revista industrial y agrícola de Tucumán. 58(2): 101-111.

47. Prabhu, A.S.; Polaro, R.H.; Correa, J.R.V.; Silva, J.F. de A.F. da; Zimmerman, F.J.P. 1982. Relacao entre murcha da téia micélica e producao no feijoeiro comum. PAB 17(11): 1607-1613.

48. Processors & Growers Research Organization (England). 1977. Seed treatments for peas and beans. Thornhaugh, England. The research station. Information sheet #66. 2 p.

49. Schieber, E. 1983. Principales enfermedades del frijol en guatemala. In Proyecto Centreamericano para Mejoramiento del frijol. 2a., San Salvador, El Salvador, 1983. Turrialba, Costa Rica, IICA. pp 31-36.

50. Schwartz, H.F.; Correa, F.; Pineda, P.A.; Otoya, M.M.; Katherman, M.C. 1981. Dry beans losses caused by ascochyta, angular and white leaf spots in Colombia. Plant disease 65(6): 494-496.

51. Schwartz, H.F., Pastor Corrales, M.A., and Singh, S.P. 1982. New Sources of resistance to Anthracnose and Angular Leaf Spot of beans (Phaseolus vulgaris) Euphytica 31: 741-754.

51A. Schwartz, H.F. y J.R. Steadman. 1980. El Moho Blanco. En H.F. Schwartz y G.E. Galvez (Edits), problemas de producción de frijol: enfermedades, insectos, limitaciones edáficas y climáticas de phaseolus vulgaris. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Serie 0 EP-1-Cali, Colombia, p. 55-56.

52. Stavely, J.F.; Freytag, G.F.; Steadman, J.F. and Schwartz, J.F. 1983. Reunión de trabajo sobre roya del frijol. Puerto Rico.

53. Tanaka, M.A.S. & Junqueira Netto, A. 1982. Efeito de fungicidas sitêmicos sobre a intensidade de Doencas na parte aérea e a qualidade sanitária da semente de feijao (Phaseolus vulgaris). Fitopat. Brasileira 7(3): 381-386. EMBRAPA. Minas Gerais, Brasil.

54. TU, J.C.; Mc Naughton, M.E. 1980. Isolation and Caracterization of Benomyl-resistant biotypes of the delta race of Colletotrichum lindemuthianum. Canadian Journal of Plant Sci. 60(2): 585-589.

55. Vargas, E. 1980. La Roya. En. H.F. Schwartz y G.E. Gálvez, (Edit.), Problemas de producción del frijol: Enfermedades, insectos, limitaciónes edáficas y climáticas de Phaseolus vulgaris. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Series 09EB-1, Cali, Colombia, p. 17-36.

56. Vieira, R.F.; Sartorato, A. 1980. Recomendacoes técnicas para producao de sementes de feijao (Phaseolus vulgaris) de alta qualidade. Goiania, GO, EMBRAPA, CNP Arroz-Feijao. Circular Técnica #10. 20 p.

57. Vieira, C. 1983. Doencas e Pragas do Feijoeiro. Vicosa, UFN, IMP. Univ. V 658d. 231 p.

B- Enfermedades de las partes subterráneas

Las pudriciones radicales del frijol

En la mayoría de los casos, las pudriciones radicales del frijol no son causadas por un sólo patógeno sino por un complejo de ellos. Estos hongos patógenos que están presentes en el suelo donde sobreviven, al atacar al frijol generalmente tienen entre ellos una relación de sinergismo, es decir los daños causados al frijol por la interacción de dos o más patógenos es mayor que la suma de los daños individuales.

Los hongos más comunes que forman parte de este complejo son:

Organismo	Enfermedad
Rhizoctonia solani	Pudrición radical por Rhizoctonia
Fusarium solani f. sp. phaseoli	Pudrición radical por Fusarium
Fusarium oxysporum f. sp. phaseoli	Amarillamiento por Fusarium
Sclerotium rolfsii	Añublo sureño
Thielaviopsis basícola	Pudrición negra de la raíz
Varias especies de Pythium	Pudrición radical por Phytium

También se reporta en el estado de Wisconsin, EEUU el hongo Aphonomyces eutichis causando una pudrición en las raíces de frijol; este patógeno ataca mas comúmente a las arvejas (Pisum sativum). De una manera similar se ha reportado también el hongo Phymatotrichum omnivorum, un patógeno generalmente asociado con pudriciones de raíces en el algodonero y árboles frutales como el durazno. La enfermedad es conocida como producción tejana de la raíz. El hongo Macrophomina phaseolina que causa la pudrición carbonosa o pudrición gris del frijol, también produce estructuras de sobrevivencia (esclerocios) que permanecen en el suelo; sin embargo, los síntomas de esta enfermedad se presentan mayormente en el tallo y raramente ataca la raíz del frijol; por esa razón, aquí no se le considera como una pudrición de la raíz sino que es tratada en otro capítulo como una enfermedad del tallo y otras partes aéreas del frijol.

Los patógenos asociados con las pudriciones radicales del frijol se encuentran ampliamente distribuidos en la mayoría de los suelos donde se cultiva frijol; sin embargo, la sola presencia de estos patógenos no significa que causen pérdidas económicas. Muchas veces la importancia económica de las pudriciones radicales es difícil de evaluar con precisión, porque los síntomas que causan ocurren por debajo del nivel del suelo y muchas de las manifestaciones de estas enfermedades como amarillamiento, marchitamiento, enanismo y aun la germinación y emergencia pobres muchas veces son atribuidas a factores edáficos y ambientales como exceso de agua, suelos pobres, etc.

A continuación se hace una breve descripción de los síntomas característicos de las enfermedades radicales más importantes del frijol, su epidemiología y control.

Pudrición radical por Rhizoctonia

Esta enfermedad es también conocida como chancro o tizón; podridao radicular de Rhizoctonia (Portugués); fonte des semis (Francés) y Rhizoctonia root rot (Inglés). El patógeno, Rhizoctonia solani Kuhn se encuentra en la mayoría de los suelos agrícolas del mundo y tiene la capacidad de atacar un gran número de hospederos. El ataque de este patógeno de frijol muchas veces está acompañado por ataques de Fusarium solani f. sp. phaseoli pudiendo resultar en daños bastante severos. La severidad de la enfermedad depende de temperatura y humedad del suelo entre otros factores. La enfermedad se desarrolla en temperaturas de moderadas a bajas y en humedad del suelo de moderadas a altas. Se reporta que la temperatura óptima para formación de los chancros en frijol producidos por R. solani es de 18°C.

El patógeno en el frijol puede producir podredumbre del pie (damping-off), pudrición radical, chancro del tallo y pudrición de la vaina.

Los daños son mas severos principalmente durante las dos primeras semanas después de la siembra. El frijol es mas susceptible antes de la emergencia. El ataque puede disminuir considerablemente la emergencia de las plántulas sobre todo cuando la siembra es profunda y el frijol se siembra en suelos de textura pesada con presencia de costras sobre la superficie a causa del mayor tiempo de exposición de la semilla en germinación al patógeno. Algunas veces las semillas en emergencia atacadas producen plántulas con el ápice muerto y con visibles chancros en el hipocótilo (Figura 1). Estos chancros en el hipocótilo y raíces, inicialmente son manchas oblongas pero a veces semiredondos que se transforman en chancros deprimidos y delimitados por márgenes de color rojo. Posteriormente estos chancros aumentan de tamaño, se tornan más profundos y rojizos, llegando a la médula y bordes se vuelven ásperos y secos (Figura 2).

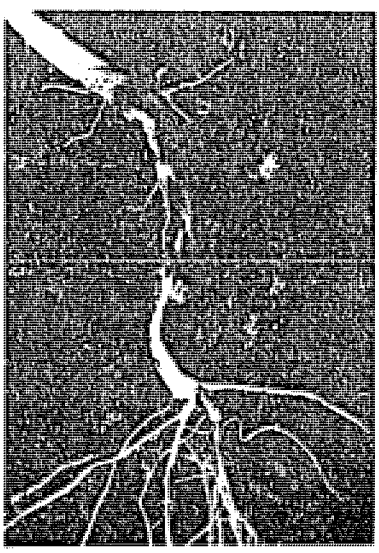


Figura 1. Chancros en el hipocótilo causados por *R. solani.*

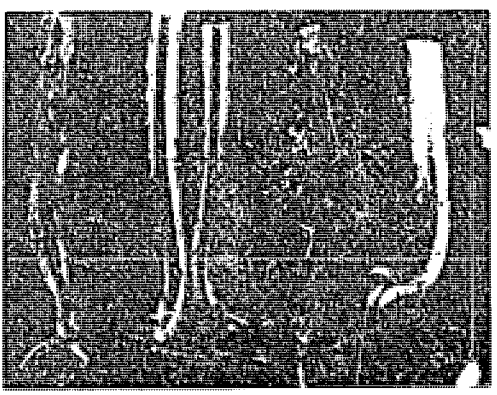


Figura 2. Infección de la médula ocasionada por *R. solani.*

Las plantas con chancros son por lo general más pequeñas y menos vigorosas. Muchas veces se puede encontrar esclerocios de color café y micelio sobre la superficie y dentro de estos chancros. Ambos esclerocios y micelios son la fuente de inóculo que empieza una nueva infección y sobrevive en el suelo o en los residuos de cosecha. Después de la emergencia los tallos por lo general son mas resistentes al ataque.

El patógeno también ataca a las vainas en contacto con el suelo produciendo primero manchas grandes y acuosas las que posteriormente se tornan en lesiones deprimidas de color café con bordes mas oscuros y bien delimitadas. La semilla infectada se decolora y puede transportar el patógeno.

Control

El nivel de inóculo del patógeno incrementa considerablemente en el suelo después de siembras continuas de frijol en el mismo lote por lo que se debe hacer rotaciones con cultivos de especies no leguminosas como trigo, cebada, avena, que disminuyen rápidamente el nivel de inóculo. También se debe utilizar semilla libre del patógeno y evitar las siembras profundas que exponen las semillas al patógeno por mas tiempo. La siembra no se debe hacer tampoco en suelos con temperaturas bajas y deben posponerse hasta que la temperatura sea lo suficientemente alta para disminuir la infección. La humedad del suelo debe ser la mínima necesaria para la germinación y durante las épocas de lluvias se debe hacer en camas que faciliten el buen drenaje. Entre los fungicidas mas efectivos para el control de Rhizoctonia solani está el PCNB conocido como Brasicol. También se utiliza Demosan (Cloroneb) carboxin (Vitavax, benomil, tiram, zineb, y captan. Tanto PCNB como Demosan son muy específicos al control de R. solani. Generalmente se aplican a la semilla en dosis de 1-3 y de ingrediente activo por kilo de semilla. También se ha utilizado PCNB para tratar el suelo antes de la siembra en dosis de g kg/ha. Este es más efectivo cuando se asperja directamente en el surco abierto, inmediatamente antes de la siembra. El control químico es efectivo durante la germinación y desarrollo inicial de las plántulas. Después ya no es efectivo; además las plantas aumentan su resistencia a medida que crecen. Son pocos los cultivares con buenos niveles de resistencia a R. solani, entre estos se reporta a Ica Pijao.

Pudrición radical por Fusarium

Esta enfermedad conocida también como pudrición seca de la raíz es causada por Fusarium solani (Mart.) Appel y Wollen W. f. sp. phaseoli (Burk) Snyder y Hansen. En Portugués se llama podridao radicular seca; en Francés fonte fusariose y en Inglés Fusarium root rot

Los síntomas iniciales aparecen en el hipocótilo y raíz principal como lesiones o vetas rojizas la que gradualmente aumentan de tamaño, se vuelven de color café, uniendose al coalescer llegando a extenderse hasta la supervicie del suelo y a cubrir toda la raíz. Estas lesiones no tienen márgenes muy definidos y a medida que avanzan en edad, pueden convertirse en agrietamientos longitudinales en las raíces primarias y laterales las que muchas veces mueren a causa de la enfermedad.

Cuando la raíz primaria muere, la parte inferior del tallo se vuelve medulosa o hueca y lo que generalmente estimula el desarrollo de raíces laterales por encima del tejido infectado permitiendo que la planta sobreviva y produzca algunas vainas. Si después de un ataque severo de esta enfermedad, las plantas infectadas son expuestas a deficiencia de humedad, estas muchas veces se vuelven raquíticas y mueren.

El patógeno sobrevive en el suelo en forma de estructuras de sobrevivencia que se llaman clamidosporas que están asociadas con las partículas o con los residuos de cosecha. Las esporas del hongo producidas sobre el tejido atacado se convierten en clamidosporas las que inician la enfermedad al germinar estimulados por los exudados de raíces tanto de las plantas susceptibles como no susceptibles.

La enfermedad es mas severa cuando el frijol se siembra en suelos compactos que no permiten el rápido desarrollo de las raíces y en temperaturas frescas. La enfermedad ha sido reportada como mas severa en temperaturas de 22°C que a 32°C. Los períodos de alta humedad del suelo que reducen la taza de difusión del suelo, así como el ataque de nematodos del género Pratylenchus y Meloidogyne, contribuyen a que la pudrición radical por F. solani sea mayor.

Control

Es importante tener en cuenta que las plantas vigorosas son menos susceptibles a esta enfermedad; por lo tanto se debe sembrar en suelos bien fertilizados y con buen drenaje que favorezcan el crecimiento rápido y vigoroso de la planta. Las medidas de control utilizando prácticas de cultivos deben ser enfocadas a disminuir la competencia entre raíces, lo cual puede hacerce distribuyendo uniformemente las semillas en el suelo y no sembrar varias semillas en un sólo sitio. Se ha conseguido un control adecuado con benomil aplicado por aspersión al surco inmediatamente después de la siembra. Lo mismo se ha conseguido con Difolatán. Una vez iniciada la enfermedad la mayoría de los tratamientos químicos no son muy efectivos ya que las raíces laterales no se benefician con la aplicación del producto. No existen muchas variedades con resistencia a este patógeno aunque se han reportado algunos como PI 203958, NY 2114-1° y Porrillo Sintético.

Pudrición radical por Pythium

Esta enfermedad puede ser causada por varias especies de Pythium que sobreviven en el suelo y cuyos requerimientos de temperatura varían considerablemente de una especie a otra. Pythium ultimum y P. debaryanum son frecuentes en suelos con temperaturas bajas, mientras que P. myriotylum y P. aphanidermatum son más frecuentes en suelos con temperaturas altas. En todos los casos, la alta humedad del suelo es uno de los factores que mas favorece al ataque de estos patógenos, cuyos efectos o síntomas se conocen comúnmente como damping off.

Las especies de Pythium pueden atacar la semilla en germinación, los cotiledones, la yema terminal, la radícula y el tejido del hipocótilo antes de la emergencia lo que puede causar la muerte de la plántula y lo que se conoce como damping off de preemergencia (Figura 3).

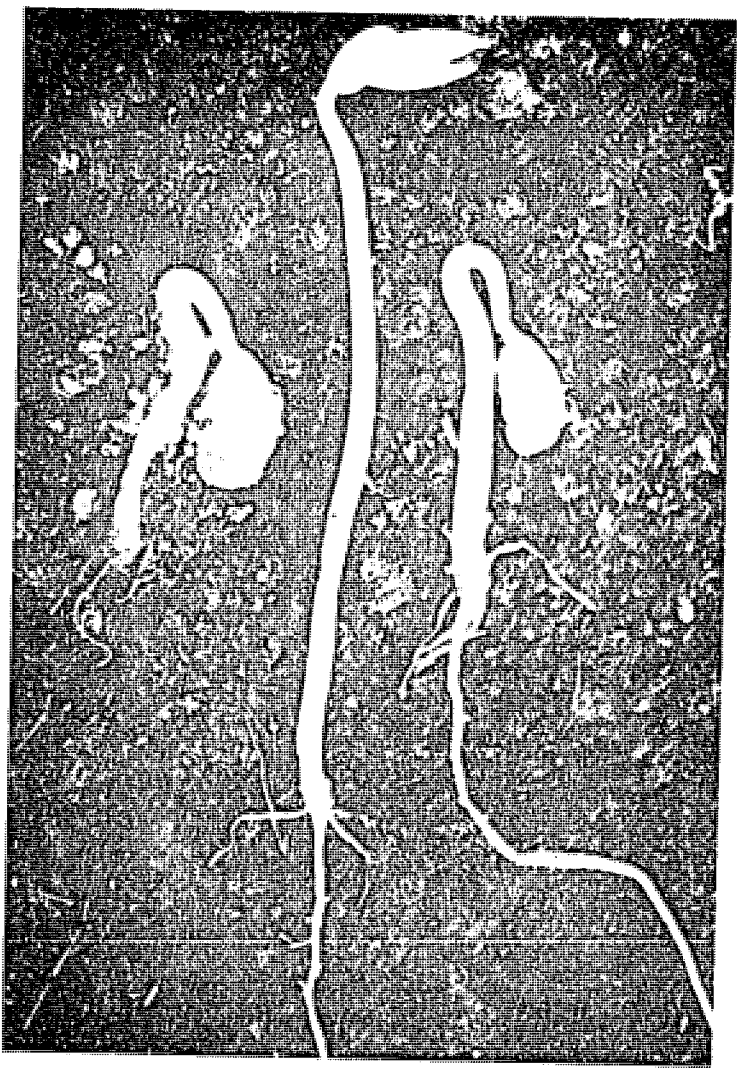


Figura 3. Lesiones causadas por *Pythium* sp.

Las plantas que sobreviven pueden morir tres a cinco días después de la emergencia, lo que se conoce como damping-off de postemergencia. Los síntomas que resultan en marchitamiento se manifiestan como lesiones acuosas y alargadas en la parte mas baja del hipocótilo y en las raíces, una de tres semanas después de la siembra. Estas lesiones se pueden extender y a medida que la infección progresa, se secan y toman un color entre café y canela (Fig. 4) con la superficie levemente deprimida. Las raíces de las plantas infectadas aparecen cortadas y el tallo podrido de abajo hacia arriba.

Bajo condiciones de alta humedad estos patógenos pueden infectar la parte aérea del tallo y causar la muerte de las plantas bien desarrolladas y en los que muchas veces se observa el micelio blanco y muy fino del hongo creciendo sobre la superficie del tallo.

Control

La incidencia de Pythium se puede reducir mediante algunas prácticas culturales. Una mayor distancia de siembra proporciona una buena aireación y menos sombra, lo que disminuye la humedad y la transmisión entre plantas. Es importante tener suelos bien drenados. Los camellones reducen la incidencia de la enfermedad. Como estos patógenos atacan a un gran número de plantas, las rotaciones de cultivos no dan resultados satisfactorios. Entre los productos químicos que se pueden utilizar con eficacia, están: Dexon (Fenaminosulf), Demosan (Cloroneb) y Ridomil (Apron). La resistencia a las especies de Pythium es común en las variedades de grano negro como Cornell 2114-12.

Amarillamiento por Fusarium

Esta enfermedad causada por Fusarium oxysporum Schlecht f. sp. phaseoli Kendrick y Snider, es también conocida como marchitamiento o amarillamiento por Fusarium, fusariosis, tizón por Fusarium; murcha de Fusarium (Portugués) y en Inglés como Fusarium yellows. Este patógeno ocurre frecuentemente y tiene importancia económica en el noroeste de Brasil, Perú, en el sur de Colombia, América Central y en algunas regiones de Estados Unidos. De las expecies de Fusarium que atacan al frijol, esta es la que causa daños mas severos. Generalmente su efecto es sobre el sistema vascular al que lo invade causando el marchitamiento y muerte de las plantas.

Cuando el ataque es a temprana edad del cultivo, éste generalmente se queda pequeño, pudiendo sufrir raquitismo a tal punto que las plantas no llegan a florecer y producen pocas vainas.

La infección generalmente ocurre a través de las heridas en las raíces o en los hipocótilos y avanza hacia los tallos, los cuales cuando la enfermedad está en etapas avanzadas de desarrollo se ven podridos (Fig. 5). El hongo causa el taponamiento del sistema vascular lo que resulta en un amarillamiento y envejecimiento prematuro de las hojas inferiores (Fig. 6). Posteriormente este amarillamiento se hace más pronunciado y afecta las hojas más jóvenes sin que la planta sufra un severo marchitamiento. En las vainas el patógeno puede causar lesiones acuosas sobre las vainas y así llegar a la testa de la semilla donde sobrevive.

Control

Algunas medidas generales de control son las buenas prácticas de drenaje y fertilización que favorecen un crecimiento vigoroso de la planta. La semilla puede ser tratada con Captafol (Difolatán), Ceresán o semerán. También se recomienda las rotaciones de cultivos con cereales como arveja, trigo, etc. Se debe sembrar variedades resistentes o menos susceptibles.

Figura 4.
Síntomas de pudrición radical por *Pythium* en 3 plantas infectadas (izquierda) y planta sana (derecha).

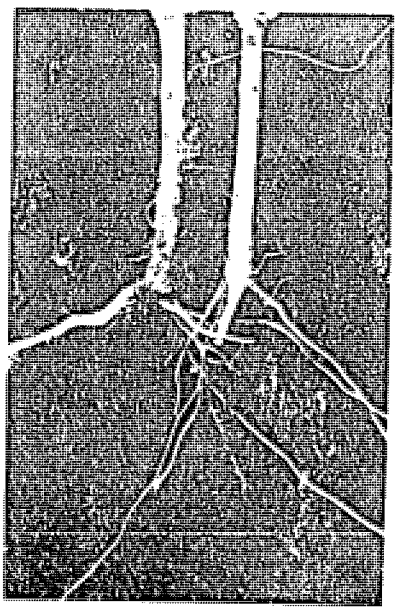


Figura 5. Infección de la raíz y del hipocótilo producida por *F. oxysporum.*

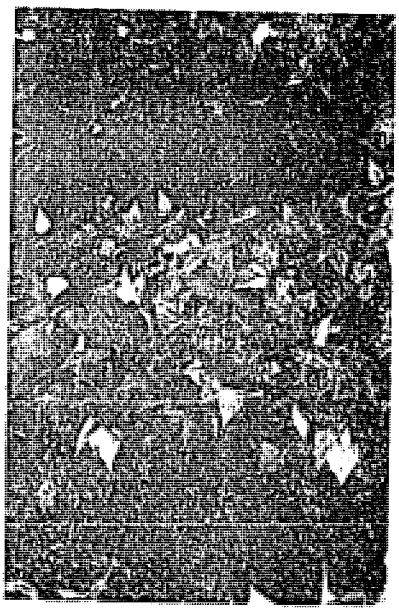


Figura 6. Amarillamiento foliar causado por *F. oxysporum.*

BIBLIOGRAFIA

ENFERMEDADES CAUSADAS POR HONGOS

B - Enfermedades de las partes subterráneas

1. Abdel-Rahman, M. 1976. Bean root rot control. Amer. Phytopath. Soc. Fungicide and Nematocide Tests: Results of 1975, 31:76.

2. Adegbola, M.O.K. y D.J. Hagerdron. 1970. Host resistance and pathogen virulence in Pythium blight of bean. Phytopathology 60: 1477-1479.

3. Baker, R. 1970. Epidemiology of diseases caused by Rhizoctonia solani, biology and pathology. pp. 172-188. University of California Press, Berkeley.

4. Bolkan, H.A. 1980. Las pudriciones radicales. In Schwartz, H.F. y G.E. Gálvez. Problemas de Producción del Frijol. CIAT, Cali, Colombia pp 67-69.

5. Burke, D.W. 1965. The near immobility of Fusarium solani f. phaseoli in natural soils. Phytopathology 55: 1188-1190.

6. Cafati, C. Alvarez, A.M. 1981. Análisis de las principales enfermedades del frijol en Chile. In Seminario de Leguminosas de Grano, 2°, Santiago, Chile, 1981. pp 122-140.

7. Cardona, C.; Flor, C.A.; Morales, F.J.; Pastor Corrales, M. 1982. Problemas de campo en los cultivos de frijol de América Latina. 2a. Ed. Cali, Colombia, Centro Internacional de Agricultura Tropical. 100 p.

8. Christou, T. 1962. Penetration and host-parasite relationship of Thielaviopsis basicola in the bean plant. Phytopathology 52: 194-198.

9. CIAT. 1981. Pudriciones radicales del frijol y su control; guía de estudio para ser usada como complemento de la Unidad Audiotutorial sobre el mismo tema. Contenido Científico: Beebe, S. Production: Ospina, H.F. CIAT, Cali, Colombia 52 p. (Serie 04BS-06.07).

10. CIAT. 1983. Informe Anual. Programa de Frijol. Cali, Colombia.

11. CIAT. 1982. Programa de Frijol - Informe Anual. Cali, Colombia.

12. Cruz, B.P.B., J. Teranichi, E. Issa, J. Botter Bernardi y H. Vaz de Arruda. 1984. Resistencia de cultivares de feijao vagem a murcha de Fusarium O. Biológico 40: 25-32.

13. Dickson, M.H. y G.S. Abawi. 1974. Resistance to Phythium ultimum in white seeded beans (Phaseolus vulgaris). Plant Dis. Reptr. 58:774-776.

14. Dickson, M.H. y M.A. Boettger. 1977. Breeding for multiple root rot resistance in snap beans. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 102:373-377.

15. Dongo, S.L. y L.E. Muller. 1969. Pathogenecity studies of Fusarium oxysporum f. phaseoli in beans. II Varietal trials. Turrialba 19: 82-90.

16. Dongo, S.D. y A. B. Osores. 1961. Especies de Fusarium en el cultivo de frijol en el Perú. Turrialba 12:161-162.

17. Gay, J.D. 1969. Effects of temperature and moisture of snap bean damping-off caused by three isolates of Phythium myriotylum. Plant Dis. Reptr. 53:707-709.

18. González, M; Marrero, H.; Herrera, F. 1982. Incidencia de distintos hongos del suelo en las zonas frijoleras de la Provincia de Holguín. Ciencias de la agricultura 12: 17-21.

19. Hassan, A.A., D.H. Wallace y R.F. Wilkinson. 1971. Genetics and heritability of resistance to Fusarium solani F. phaseoli in beans. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 96:623-627.

20. Maloy, O.C. y W.H. Burkholder. 1959. Some effects of crop rotation on the Fusarium root rot of bean phytopathology 49:583-587.

21. Maier, C.R. 1961. Selective effect of barley residue on fungi of the pinto bean root-rot complex. Plant Dis. Reptr. 45:808-811.

22. Maramba, P. 1982. Damping-off disease. Zimbabwe Agricultural Journal 79(5): 157-158.

23. Nik, W.Z.W.; Yap, M.Y. 1979. Rhizoctonia solani, a seed borne pathogen of French bean in Malaysia. (Rhizoctonia solani, patógeno de la habichuela transmitido por semilla en Malasia). Pertanika 2(1): 11-15.

24. Mussa, A.E.A.; Russell, P.E. 1977. The influence of pesticides and herbicides on the growth and virulence of Fusarium solani f. sp. phaseoli. J. Agr. Sci. Cambridge 88: 705-709.

25. Nash S.M., T. Christou y W.C. Snyder. 1961. Existence of Fusarium solani f. phaseoli as chlamydospores in soil. Phytopathology 51:308-312.

26. Prasad, K. y J.L. Weigle. 1976. Association of seed coat factors with resistance to Rhizoctonia solani in Phaseolus vulgaris. Phytopathology. 66:342-345.

27. Pieczarka, D.J. y Abawi, G.S. 1978. Effect of interaction between Fusarium, Pythium and Rhizoctonia on severity of bean root rot. Phytopathology 68: 403-408.

28. Ploper, L.D. 1981. Enfermedades del poroto. Avance Agroindustrial 2(7): 11-14. Esp., Ilus.

29. República Dominicana. Secretaría de Estado de Agricultura. 1979. Protección vegetal; incidencia de las enfermedades del frijol en la Cordillera Central. (Plant protection: disease incidence in beans in the Cordillera Central). In ___ Informe Anual 1979. La Herradura, Santiago de los Caballeros, Centro de Desarrollo Agropecuario, Zona Norte. pp. 106-111. Span., Illus.

30. Sippell, D.W.; Hall, R. 1982. Effects of Fusarium solani phaseoli Pythium ultimum and F. oxysporum on yield components of white bean. Canadian Journal of Plant Pathology 4(1): 54-58.

31. Smiley, R.W. 1975. Forms of nitrogen and the ph in the root zone and their importance to root infections. In Bruhel, G.W. Ed. Biology and Control of soil-borne plant pathogens, pp. 55-62. Amer. Phytopath. Soc., St. Paul, Minnesota.

32. TU, J.C.; Vaartaja, O. 1981. The effect of the hyperparasite (Giocladium virens) on Rhizoctonia solani and on Rhizoctonia root rot of white beans. Canadian Journal of Botany 59: 22-27. Engl., Fr., 20 Refs., Illus.

33. Walker, J.C. 1952. Diseases of Vegetable Crops. McGraw-Hill Book Company Inc., New York.

34. Wallace, D.H. y R.W. Wilkinson. 1975. Breeding for resistance in dicotyledonous plants to root rot fungi. En, Bruehl, G.W. ed. Biology and control of soil-borne plant pathogens, pp. 177-184. Amer. Phytopath. Soc., St. Paul, Minnesota.

35. Wilkinson, R.E.; Krikun, J.; Wallace, D.H. 1983. Resistance to Thielaviopsis basicola en frijol. Bean Improvement Cooperative Anual Report N° 6:29.

36. Zanmeyer, W.J. y H.R. Thomas. 1957. A monographic study of bean diseases and methods for teir control USDA. Agr. Tech. Bull. N° 868, 255 p.

ENFERMEDADES DEL FRIJOL CAUSADAS POR BACTERIAS

Marcial Pastor Corrales

Añublo de halo

Agente causal:

Pseudomonas syringae pv. phaseolicola (Burk holder) Young et al [= P. phaseolicola (Burk.) Dowson]

Otros nombres de la enfermedad:

Tizón de halo, mancha de halo; crestamento bacteriano de halo (Portugués), graisse du haricot (Francés), halo blight (Inglés).

Esta es una enfermedad de importancia económica en las regiones con temperaturas de moderadas a frías. En América Latina, añublo de halo es más importante en las zonas altas y frías de los andes como los departamentos de Cuzco, Perú y Nariño, Colombia y en el altiplano de Guatemala y México, pero también se ha reportado en Chile y Brasil (3, 6, 9, 14, 19, 22). En Africa oriental puede ser de importancia económica en Kenya y Malawi aunque también ocurre en Rwanda, Burundi, Uganda y Tanzania (1, 5). La enfermedad también es importante en muchos países de Europa como Inglaterra, Francia, Holanda, Bulgaria y de Asia Menor como Turquía. Se han reportado pérdidas en los rendimientos del frijol entre el 23 a 43% causados por esta enfermedad (22).

Los síntomas del añublo de halo generalmente aparecen de tres a cinco días después de la infección en el envez de la hoja como pequeños puntos acuosos que posteriormente se convierten en halos redondos aceitosos y de color verde claro (Figura 1). Cuando las condiciones climáticas prevalentes favorecen a la enfermedad, la infección ocurre en cualquier parte aérea de la planta llegando a cubrir gran parte del área foliar, tallos y vainas, las que presentan típicas manchas acuosas y grasosas. Típicamente los síntomas en las vainas son muy parecidos a los que se observan en las hojas, es decir, éstas también presentan un halo generalmente de un color más oscuro que la vaina, y que muchas veces tienen un exudado de color blanco plateado producido por el patógeno (Figura 2).

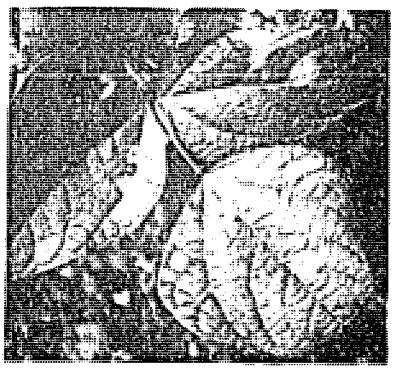


Figura 1. Hoja con síntomas de añublo de halo.

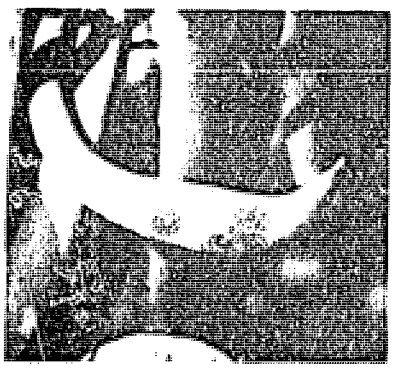


Figura 2. Exudado bacteriano producido por *P. phaseolicola*.

Estas también pueden presentar manchas amorfas acuosas de color café o rojizo, causando muchas veces la deformación, decoloramiento y pudrición de la semilla.

Cuando la infección se produce por el uso de semilla contaminada, los síntomas se pueden observar en plantas muy jóvenes y muchas veces se observa un adelgazamiento en un punto específico del tallo o una especie de pudrición en el nudo de los cotiledones. La infección vascular hace que el tejido de las ramas y el adyacente a las nervaduras aparezca húmedo y con coloración rojiza.

También puede presentarse clorosis sistémica causada por una toxina producida por el patógeno que resulta en el amarillamiento y malformación del tejido foliar. Es posible observar esta clorosis sistémica aunque la planta tenga los otros síntomas típicos de la enfermedad.

La bacteria generalmente sobrevive en la semilla infectada y en los residuos de cosecha infectados. Este patógeno penetra en la planta a través de las heridas o a través de los estomas durante los períodos de alta humedad relativa o ambiental. La capacidad infectiva del patógeno es muy considerable ya que una docena de semillas infectadas por hectarea es suficiente para iniciar una epidemia cuando existen las condiciones ambientales favorables para el desarrollo de la enfermedad. La enfermedad es más frecuente y favorecida por temperaturas frescas entre 16-20°C (22). También es común observar una mayor severidad de añublo de halo en monocultivo de frijol que en la asociación frijol- maíz.

Control

La utilización de semilla limpia, libre del patógeno producida en ambientes que desfavorecen esta enfermedad es una práctica que ha sido utilizada con excelentes resultados. Esta medida sin embargo no sería muy práctica si sólo unos pocos agricultores en una zona dada la utilizan ya que es posible la contaminación de un campo por inóculo transportado a cortas distancias por insectos, y los vientos acompañados de lluvias.

Considerando que el patógeno sobrevive en los residuos de cosecha se recomienda la rotación de cultivos así como la limpieza de los residuos infectados ya sea a través de una arada profunda, quema u otro método. En ambos casos se trata de destruir los focos de infección que inician la enfermedad (10).

También es posible controlar el añublo de halo mediante la utilización de agroquímicos aplicados al follaje, tales como el oxicloruro de cobre, oxido cúprico, y los antibióticos sulfato de estreptomicina y sulfato de hidroestreptomicina. Sin embargo, se reporta que estos productos no siempre son efectivos o prácticos además del riesgo del desarrollo de mutantes que pueden ser resistentes a los antibióticos.

También se ha utilizado sulfato de estreptomicina para tratar la semilla contaminada pero aquí también existe el riesgo de reducir considerablemente la germinación de la semilla tratada. Taylor y Dudley reportan que disminuyeron la infección de semilla contaminada cuando usaron 0.25 y de ingrediente activo de estreptomicina o de kasugamicin por kilogramo de semilla (22).

La resistencia genética ha sido utilizada en muchos países como la principal estrategia para controlar el añublo de halo. Mucho del trabajo de mejoramiento para incorporar resistencia a este patógeno ha sido conducido en Nebraska, EE.UU., Francia, Bulgaria e Inglaterra.

El patógeno que causa añublo de halo presenta variación patogénica o sea que ciertas poblaciones de la bacteria atacan a unas variedades y no a otras. Este tipo de variación cualitativa se basa en la reacción de la variedad Red Mexican Ul 3.

Los aislamientos que no causan reacción de patogenecidad en esta variedad se les considera de la raza 1 ya que si la causan pertenecen a la raza 2. Este tipo de variación es más que nada reportado en las poblaciones del patógeno procedentes de las Américas, sobre todo de Norte América y de Europa.

Es muy probable que cuando se evaluen las poblaciones de la bacteria procedentes de otras regiones, como Africa Central (Rwanda, Burundí), se encuentre aún más variación cualitativa y por consiguiente la presencia de otra u otras razas sólo presentes en esas localidades.

Se ha observado que muchas variedades de frijol son resistente a Pseudomonas syringae pv. phaseolicola en el follaje pero susceptibles en las vainas. Genes independientes gobiernan la resistencia de las hojas y de las vainas.

Entre las variedades de frijol identificados como resistentes a la variación del patógeno (Razas 1 y 2), se conocen: Great Northern Nebraska N° 1 Selección 27 (G 5477), PI 150414, California small white 59, OSU 101 83. Recientemente del trabajo colaborativo entre CIAT y el sustituto NVRS (National Vegetable Research Station) de Inglaterra se han identificado las líneas Gloriabamba (G 2829), Pajuro (G 11766), Nariño 20 (G 12666), Palomo (G 12669), como fuentes de amplia resistencia a todos los aislamientos del patógeno del añublo de halo.

Bacteriosis común del frijol

Agente causal:

Xanthomonas campestris pv. phaseoli (Smith) Dye
[= X. phaseoli (Smith) Dowson]

Otros nombres de la enfermedad:

Añublo común y fusco, tizón común, añublo bacteriano común, bacteriosis; crestamento bacteriano común (Português); bacteriose (Francês) y common bacterial blight y fuscous blight (Inglês).

La bacteriosis común del frijol es una enfermedad de climas cálidos a diferencia del añublo de halo que generalmente ocurren en climas fríos. Esta enfermedad en general es favorecida por temperatura y humedad altas.

El patógeno causa más daño al frijol a 28°C que a temperaturas mas bajas (17). Bajo estas condiciones puede causar pérdidas en el rendimiento que oscilaron entre el 22 y 45% en Colombia, entre el 10 al 20% en EE.UU. en 1967 y en un 38% en Canadá (22). La enfermedad ocurre en la mayoría de las regiones donde se siembra frijol con ambientes favorables para el desarrollo de la enfermedad y ha sido reportada en la mayoría de los países de las Américas, Europa y Africa (15, 18, 26).

Es común ver reportada en la literatura a esta enfermedad como dos enfermedades: añublo o bacteriosis común y añublo fusco. En práctica, ambos son la misma enfermedad causada por el mismo patógeno. La única diferencia es que el añublo fusco es causado por una variante o por aislamiento de X. Campestris pv. phaseoli que en un medio de cultivo que contenga tirosina, producen un pigmento difusible de color café (16). Muchos de los aislamientos que produce este pigmento, y por lo tanto que causan añublo fusco, tienden a ser más virulentos que los otros que no la producen; sin embargo, esta no es una generalidad, por lo tanto no se justifica hacer la diferenciación entre ellos como patógenos diferentes o de considerar al añublo común y al fusco como dos enfermedades diferentes.

Inicialmente los síntomas foliares aparecen como puntos acuosos en el envez de la hoja, los que aumentan de tamaño y van adquiriendo una forma irregular y que muchas veces coalescen para formar una lesión mas grande. Estas áreas se notan flácidas y rodeadas de un borde angosto de color amarillo limón, el cual posteriormente al necrosarse se vuelve de color café llegando muchas veces a cubrir un área bastante grande de la hoja (Figura 3).

Frecuentemente se observa también en el envez de las hojas un exudado bacteriano que inicialmente es de color amarillento pero posteriormente al secarse se torna negro dando la impresión de ser costras delgadas sobre el tejido necrosado. Los ataques severos al follaje además de producir primero flacidez y después amarillamiento y necrosamiento de las hojas, causan también defoliación prematura.

A pesar de que el patógeno no induce síntomas sistémicos, éste puede llegar a los elementos vasculares desde las hojas o cotiledones infectados y puede producir un adelgazamiento del tallo y una consecuente pudrición en el nudo cotiledonario que resulta en una forma que hace que la planta se doblegue y caiga (4). Estos síntomas son mas comunes en plantas provenientes de semillas infectadas, las cuales suelen presentar lesiones en los cotiledones, nudos y hojas primarias (27).

En las vainas, los síntomas iniciales son manchas húmedas muy pequeñas que gradualmente adquieren primero color café y después se tornan oscuras con bordes rojizos y levemente deprimidos. Estas lesiones coalescen cubriendo extensas áreas en la vaina y muchas veces mostrando el exudado bacterial. La infección de las vainas durante la formación de la semilla resulta en semillas infectadas que se arrugan, decoloran y a veces se pudren (Figura 4). En la semilla el patógeno generalmente se encuentra en la testa pero también puede llegar a los cotiledones. La diseminación secundaria del patógeno es facilitada por la lluvia acompañada de vientos, partículas de viento y por insectos y posiblemente por el agua de riego (26, 27).

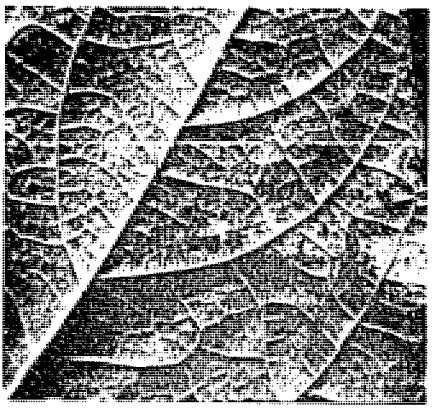


Figura 3. Lesiones acuosas causadas por los añublos común y fusco.

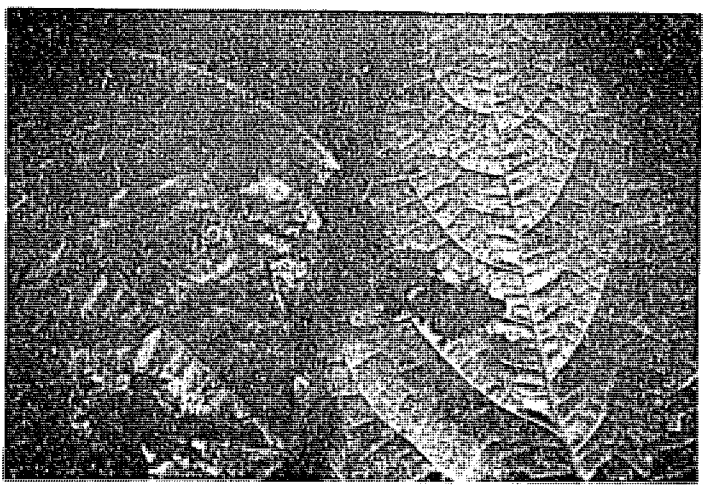


Figura 4. Lesiones causadas por añublo común.

Control

Las medidas de control utilizadas para la bacteriosis común son muy similares a las que se usan para el añublo de halo, la otra enfermedad bacteriana importante del frijol. El uso de semilla limpia, libre del patógeno, ha sido utilizada con mucho éxito para controlar esta enfermedad tanto en Estados Unidos como en Australia. Esta medida es muy importante ya que la bacteria se transmite muy fácilmente por la semilla. La rotación con cultivos no susceptibles al patógeno de la bacteriosis común también es una manera eficiente de reducir el inóculo presente en los residuos de cosecha; igualmente la arada profunda tiene el mismo efecto. Es necesario tener en cuenta que algunas de estas recomendaciones pueden ser inaplicables en algunas regiones del trópico.

Similarmente, el control químico de la bacteriosis común generalmente no es muy satisfactorio tanto en el trópico como en otras regiones. Para este fin se han utilizado varios productos aplicados a la semilla o al follaje. En algunos casos ha sido posible obtener un buen control de la enfermedad pero no aumenta el rendimiento. Generalmente en el follaje se han utilizado compuestos cúpricos como sulfato de cobre, hidróxido de cobre, oxicloruro de cobre. También se han utilizado, tanto en el follaje como para el tratamiento de la semilla, antibióticos como la estreptomicina, resultando sólo en control limitado y con el riesgo de producir variantes de la bacteria resistentes a los antibióticos (26).

Como para el añublo de halo, el método más práctico y económico de controlar esta enfermedad es a través de la resistencia genética, pero a diferencia del patógeno que causa el añublo de halo, los aislamientos de Xanthomonas campestris pv. phaseoli difieren en virulencia (variación cuantitativa) pero no hay evidencia de que difieran en patogenecidad o sea que existen razas (variación cuantitativa) (21). Para evaluar la resistencia del frijol al patógeno se han utilizado muchos métodos artificiales de inoculación (16), pero con cualquier metodología usada no se reporta una reacción de inmunidad en Phaseolus vulgaris al patógeno de la bacteriosis común, pero si muchas líneas con resistencia intermedia, anteriormente referidas como tolerantes. Algunas variedades de P. acutifolius como Tepary Buff y PI 169932 son altamente resistentes y no presentan síntomas al ser evaluados (25). Las plantas de frijol generalmente son más susceptibles a la infección una vez empezado el período de floración o durante el estado reproductivo de la planta. Muchos investigadores inoculan las plantas de frijol artificialmente con el patógeno de la bacteriosis común durante la floración para evaluar la resistencia tres o cuatro semanas después; sin embargo, las inoculaciones después de tres a cuatro semanas después de la siembra son muy eficientes en el trópico y sobre todo si considera que hay mucha variación en el germoplasma en cuanto a época de floración, madurez, hábito de crecimiento y adaptación (24).

También se ha buscado resistencia tanto en Paseolus coccineus como en P. acutifolius (frijol tepari) (20). En este último se han encontrado algunas líneas con niveles muy altos de resistencia, los que han sido utilizados para hacer cruces interespecíficos con P. vulgaris, resultando en variedades con buenos niveles de resistencia como Great Northern Nebraska N° 1 selección 27.

Algunas otras líneas de P. vulgaris con buenos niveles de resistencia incluye: Jules, PI 207262, PI 163117, PI 167399 (11, 13). Sin embargo, la mala adaptación a las condiciones de crecimiento de Colombia han limitado la utilización de estas fuentes de resistencia (Jules, PI 207262) en el trópico (24). Por esa razón en el CIAT se han evaluado varios miles de accesiones de frijol procedentes del Banco de Germoplasma. Así mismo ha sido posible identificar líneas del programa de mejoramiento por resistencia a la bacteriosis común del CIAT, con altos niveles de resistencia. En este grupo destacan las líneas XAN 112, XAN 87, XAN 93, XAN 116, XAN 40, XAN 80 y XAN 131. Algunas de estas han sido evaluadas extensivamente en muchas localidades donde la bacteriosis común es endémica. XAN 112, por ejemplo, además de mostrar niveles muy altos de resistencia a la bacteriosis común en muchos lugares, también muestra niveles intermedios de resistencia a la mustia hilachosa, precocidad a la madurez y una arquitectura erecta.

Algunas líneas como ICA L 24 de hábito arbustivo, grano grande rojo moteado y de hojas gruesas, generalmente presenta buenos niveles de resistencia foliar a la bacteriosis común bajo condiciones de campo; sin embargo, las vainas muchas veces presentan ataques bastante severos (6, 7). Esta observación también ha sido hecha por Coyne y Schuster en otras líneas de frijol y quienes reportaron que la variación diferencial entre hojas y vainas a la infección del patógeno de la bacteriosis común, es controlada por la presencia de genes diferentes (12). Por esta razón al evaluar y seleccionar germoplasma de frijol por su resistencia a la bacteriosis común se debe evaluar tanto el follaje como las vainas.

Mas recientemente han sido reportadas por el CIAT nuevas líneas procedentes de cruzas interespecificas entre Phaseolus vulgaris y P. acutifolius hechos en la Universidad de California, que tienen niveles muy altos de resistencia a la bacteriosis común (7). Estas líneas han sido codificadas como XAN 159, XAN 160 y XAN 161.

ENFERMEDADES DEL FRIJOL CAUSADAS POR BACTERIAS

BIBLIOGRAFIA

1. Allen, D.J. 1983. The Pathology of Tropical Food Legumes.

2. Basu, P.K. y V.R. Wallen. 1967. Factors affecting virulence and pigment of Xanthomonas phaseoli var. fuscans. Canadian J. Bot. 45: 2367-2374.

3. Cafati, K.C.; Alvarez, A.M. 1981. Análisis de las principales enfermedades del frejol en Chile. In Seminario de Leguminosas de Grano, 2°, Santiago, Chile, 1981. Santiago pp 122-140.

4. Cardona, C.; Flor, C.A.; Morales, F.J.; Pastor Corrales M. 1982. Problemas de campo en los cultivos de frijol en América Latina. 2a. Ed. Cali, Colombia, CIAT. 100 p.

5. CIAT. 1980. Potential for Field Beans in Eastern Africa.

6. _____. 1983. Programa de frijol: Informe Anual. Cali, Colombia.

7. _____. 1982. Programa de frijol: Informe Anual. Cali, Colombia.

8. _____. 1982. Informe Anual.

9. _____. 1983. Informe Anual.

10. _____. 1981. Enfermedades Bacterianas de Frijol: Identificación y control. Guía de estudio para ser usada como complemento de la unidad audiotutorial sobre el mismo tema. Cali, Colombia (Serie 04SB-06.05).

11. Coyne, D.P. y M.L. Schuster. 1973. Phaseolus germplasm tolerant to common blight bacterium (Xanthomonas phaseoli) Plant Dis. Reptr. 57: 111-114.

12. _____. 1974. Differential reaction of pods and foliage of beans (Phaseolus vulgaris) to Xanthomonas phaseoli. Plant Dis. Reptr. 58: 278-282.

13. _____. 1974. "Great Northern Valley" dry bean. Hort. Sci. 9:482.

14. Figueroa, G. 1980. Control genético de la resistencia al añublo de halo (Phseudomonas phaseoli) en frijol y la búsqueda por resistencia en variedades de Guatemala y otros países. Cali, Colombia, CIAT. 17 p.

15. Hernández, D.T. 1983. Principales enfermedades bacterianas del frijol (Phaseolus vulgaris). In Curso intensivo de postgrado en la producción de frijol. 4a. Matanzas, Cuba, 1983. Conferencias, Cuba, Minagricultura. pp 1-11.

16. Pastor C., M.A.; Beebe, S.E.; Correa, E.J. 1981. Comparing two inoculation techniques for evaluating resistance in beans to Xanthomonas campestris pv. phaseoli. In Lozano, J.C. Ed. International Conference on Plant Pathogenic Bacteria, 5th., Cali, Colombia. 1981. Proceedings. CIAT. pp 493-503.

17. Patel, P.N. y J.C. Walker. 1963. Relation of air temperature and age and nutrition of the host to the development of halo and common bacterial blights of bean. Phytopathology 53: 407-411.

18. Ploper, L.D.; Ricci, J.R.; Dantur, N.C. 1982. Impresiones de la primera reunión técnica nacional de poroto. Avance agroindustrial 3(9): 3-11, 29. Argentina.

19. Sañudo, S.B.; Pumalpa, C.N. 1982. Algunas consideraciones sobre el añublo bacterial de halo (Phseudomonas phaseolícola) del frijol en el Departamento de Nariño. Ascolfi Informa 8(2): 19-21.

20. Schuster, M.L. 1955. A method for testing resistance of beans to bacterial blights. Phytopathology 45: 519-520.

21. Schuster, M.L.: D.P. Coyne y B. Hoff. 1973. Comparative virulence of Xanthomonas phaseoli straints from Uganda, Colombia and Nebraska. Plant. Dis. Reptr. 57: 74: 74-75.

22. Schwartz, H.F. 1980. Diversas enfermedades bacterianas In (ver #12 Los Hongos).

23. Stoetzer, H.A.I.; Odhiambo, G.W.; Rheeren, H.A. van. 1983. A virulent straint of Phseudomonas syringae pv. phaseolícola from Kenya, National Horticultural Research Station. Grain Legume Project. 2 p.

24. Webster, D.M. 1978. Evaluation of resistance in beans (Phaseolus vulgaris) to Xanthomonas phaseoli. Ph. D. Dissert., Univ. of Wisconsin, Madison, 117 p.

25. Yoshii, K., G.E. Gálvez-E. y G. Alvarez-A. 1978. Screening bean germplasm for tolerance to common blight caused by Xanthomonas phaseoli and the importance of pathogenic variation to varietal improvement. Plant. Dis. Reptr. 62: 343-347.

26. _____. 1980. Los añublos común y fusco. In Schwartz, H.F. y Gálvez, G.E. Problemas de Producción de Frijol: Enfermedades, insectos, limitaciones edáficas y climáticas de Phaseolus vulgaris, CIAT, Cali, Colombia. pp 155-171.

27. Zaumeyer, W.J. y H.R. Thomas. 1957. A monographic study of bean diseases and methods for their control. U.S.D.A. Agr. Tech. Bull. N° 868 1 pp. 65-74.

ENFERMEDADES CAUSADAS POR VIRUS

Francisco Morales

Virus del Mosaico Común del Frijol

Bean common mosaic virus (BCMV);
Virus do mosaico comum do feijoeiro

El mosaico común del frijol es la enfermedad viral que viene recibiendo prioridad en los programas actuales de mejoramiento genético del frijol, no sólo por las importantes pérdidas económicas que ocasiona y por ser la enfermedad de más amplia distribución geográfica, sino porque ya se han identificado diversas fuentes de resistencia.

En América Latina, la mayoría de los cultivares nativos son susceptibles a todas las cepas conocidas del BCMV. El mosaico común afecta particularmente los cultivos de frijol en áreas de producción localizadas por debajo de los 1500 m.s.n.m. La presencia de cepas necróticas del BCMV en países como Chile, agrava aún más la situación general del cultivo con respecto a esta enfermedad. El BCMV y, en especial, sus cepas necróticas, constituyen el principal problema viral del cultivo de frijol en Africa.

Se pueden distinguir dos sintomatologías principales en las variedades de frijol susceptibles al BCMV: El mosaico y la necrosis sistémica. Sinembargo, algunas variedades pueden sufrir la infección sistémica y no presentar ninguno de estos síntomas (24). El mosaico es la manifestación de la infección sistémica crónica causada por el virus en plantas que poseen el tipo de resistencia recesiva encontrado originalmente en el cultivar 'Robust' (27). La necrosis sistémica, conocida también como 'raíz negra', es el resultado de una reacción de hipersensibilidad con que los cultivares que poseen resistencia monogénica dominante al mosaico común, responden a la infección sistémica producida por algunas cepas del BCMV (29).

Un síntoma característico del mosaico es la presencia de áreas de color verde oscuro bien definidas sobre un fondo verde claro, que se distribuyen irregularmente sobre la lámina foliar a lo largo de las nervaduras (Fig. 1).

Este síntoma puede ir acompañado por otros, tales como el enrollamiento y el ampollamiento (Fig.2). Cuando la infección proviene de la semilla, las hojas primarias presentan síntomas. Las hojas afectadas, generalmente, son más largas y angostas que las hojas de las plantas libres de virus. Las vainas de las plantas severamente infectadas son de menor tamaño y su número es marcadamente reducido (8).

La necrosis sistémica se caracteriza por el deterioro del sistema vascular de las hojas trifoliadas más jóvenes (Fig. 3). La necrosis se extiende luego al resto de la lámina foliar y, en forma descendente, al sistema vascular de toda la planta incluyendo las vainas, las cuales pueden presentar lesiones necróticas locales.

Figura 1.
Mosaico común del frijol.

Figura 2. **Mosaico común del frijol.**

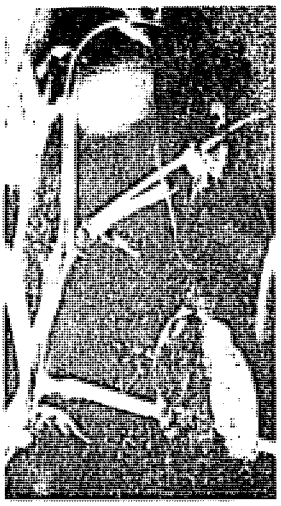


Figura 3. **Raíz negra "Black root".**

Las plantas que presentan reacción sistémica de hipersensibilidad mueren antes de permitir la infección crónica del virus, por lo que en éstas plantas nunca se presentan síntomas de mosaico ni ocurre la transmisión del virus por la semilla.

El BCMV puede ser transmitido por la semilla, por áfidos, por transmisión mecánica y por el polen. En América Latina, la transmisión por la semilla es la vía más importante de diseminación, pues los programas de certificación de semilla se ocupan principalmente de evaluar su pureza genética y por lo tanto no son garantía de que esta semilla estará libre de virus. Sólo los cultivares que posean resistencia de carácter recesivo pueden transmitir el virus por semilla (24). El porcentaje de semilla infectada proveniente de un lote de plantas infectadas, depende del cultivar y de la época en que se haya presentado la infección; cuando las plantas han alcanzado la etapa de formación de vainas sin haber sido infectadas por el virus, es baja la probabilidad de que el virus infecte la semilla. El porcentaje de semilla infectada en la mayoría de los cultivares de frijol observados en el CIAT oscila entre 15 y 50% (24).

Los áfidos son vectores muy eficientes del BCMV; no se requiere de una alta infección inicial en el cultivo para tener, en corto plazo, el campo completamente afectado por mosaico debido a la acción de los áfidos (8).

La transmisión mecánica es relativamente fácil, y se realiza al poner en contacto plantas sanas con extractos de plantas infectadas. La transmisión mecánica es empleada en la metodología desarrollada para seleccionar materiales promisorios o para otros fines experimentales (24).

Control

El uso de variedades resistentes al mosaico común es la principal forma de control. Sinembargo, la fácil transmisión del BCMV por la semilla y la abundancia de áfidos vectores en la mayor parte de las áreas de producción de frijol, son factores que se constituyen en una amenaza constante de introducción de cepas necróticas del virus capaces de quebrar la resistencia genética de tipo monogénico dominante. Así, la incorporación de resistencia genética deberá además estar apoyada por un severo control fitosanitario, en lo que se refiere a uso de semilla libre de cepas exóticas del BCMV.

La producción de semilla libre de virus, debe realizarse en áreas alejadas de los centros de producción de frijol, donde las poblaciones de áfidos sean mínimas y donde no se siembre semilla infectada.

El control fitosanitario y de calidad de semilla, puede realizarse mediante pruebas serológicas tales como ELISA (22).

La fecha de siembra está correlacionada con la incidencia del virus, por su asociación con las poblaciones de los áfidos vectores (5). En siembras de verano, por lo general, las poblaciones de áfidos vectores son mas altas. El control químico de los áfidos vectores no ha demostrado ser eficaz, debido a que el BCMV es transmitido en cuestión de segundos.

Los progresos genéticos para transferir resistencia a los cultivares de frijol en la región andina han sido lentos, debido principalmente a la susceptibilidad de todos los materiales parentales allí producidos y a la dificultad en recobrar rápidamente características tales como color y tamaño de grano aceptables. Actualmente se han seleccionado 11 líneas homocigotas resistentes al BCMV con el tipo de grano 'Calima' de color rojo moteado, y más de 15 líneas con los tipos de grano 'Red Mexican', 'Pompadour' y 'Sangretoro'; algunas ya han sido aceptadas para su producción comercial en América Central (12). En México se ha obtenido la línea A 409 y en Argentina las líneas A 494 y A 497, con características semejantes a la variedad comercial local (10).

Kenya ha informado que, tras cinco años de observaciones comparando la incidencia de BCMV cuando el cultivo del frijol está en monocultivo o en asocio con maíz, la incidencia del virus es menor en asocio.

Mosaico Amarillo del Frijol

Bean yellow mosaic virus (BYMV);
Virus do mosaico amarelo do feijoeiro

Su distribución e importancia en América Latina es menor que el virus común del frijol debido a que está limitado a los países del extremo sur del continente. Chile es el país más afectado actualmente por el BYMV y esta enfermedad ha llegado a constituirse en uno de los factores que más limitan el cultivo de frijol en ese país (11). El BYMV pertenece al mismo grupo de virus del mosaico común (potyvirus), y por lo tanto, posee características similares tales como ser transmitido por áfidos y mecánicamente. Sin embargo, el BYMV posee un rango de hospedantes mucho más amplio que el del BCMV. Hampton (20) informó que el BYMV puede causar severas pérdidas en el rendimiento al reducir el número de vainas y semillas en 33 y 41%, respectivamente.

Poco se ha hecho en América Latina por determinar las pérdidas en rendimiento producidas por este virus, quizá por la existencia de complejos virales que dificultan la medición del efecto de cada virus en particular (9).

El progreso significativo alcanzado en Chile en el desarrollo de cultivares resistentes al mosaico común ha sido parcialmente encubierto por la incidencia creciente del virus amarillo del frijol en la mayoría de las áreas productoras (1). Una diferencia entre el BYMV y el BCMV es que el primero no es transmitido por semilla en Phaseolus vulgaris. Este importante factor también ha contribuído para que su importancia sea menor dentro de las enfermedades virales.

Los síntomas de mosaico amarillo pueden confundirse con síntomas inducidos por otros virus. Cuando se presenta el ataque del mosaico amarillo la planta de frijol afectada presenta un amarillamiento de las hojas acompañado de malformación general de la planta (Figura 4).

Algunas cepas del BYMV pueden inducir síntomas sistémicos de necrosis local o sistémica.

Control

La utilización de variedades resistentes es la única forma efectiva de control del virus del mosaico amarillo. Sin embargo, la gran variabilidad patogénica de las numerosas cepas conocidas del BYMV, limitan considerablemente la selección de genotipos resistentes que pueden ser usados como material parental.

Virus del mosaico dorado del frijol

Bean golden mosaic virus;
Virus do mosaico dourado do feijoeiro

El virus del mosaico dorado del frijol es un grave problema en algunas de las regiones frijoleras del Brasil, donde se registró por primera vez en 1961 (14) como una enfermedad de poca importancia. Sinembargo, su incidencia viene aumentando, sin encontrarse hasta el momento un control eficaz, debido principalmente a la abundancia de su vector, la mosca blanca Bemisia tabaci. El BGMV es un problema del cultivo del frijol en algunas regiones de la América Central (16). En México, en las tierras bajas y en la costa oriental, el BGMV es la enfermedad más común en el frijol (16). En el sur-oriente de Guatemala es uno de los principales factores limitantes para la producción del frijol, reduciendo su rendimiento en un promedio de 90 .

Los síntomas del mosaico dorado son muy característicos: las hojas presentan un color amarillo intenso (Fig. 5); debido al desarrollo desigual de las áreas sanas y enfermas, las hojas pueden deformarse (Fig. 6). Si las plantas han sido infectadas antes de la floración, hay aborto prematuro de las flores y deformación de las vainas. Las semillas presentan manchas y deformaciones y su peso disminuye. Las pérdidas por este virus pueden alcanzar el 100 .

Figura 4. Mosaico amarillo del frijol.

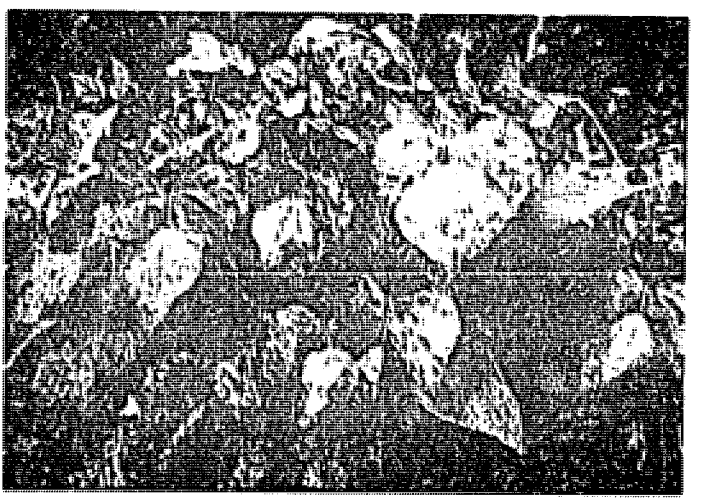


Figura 5. Mosaico dorado del frijol.

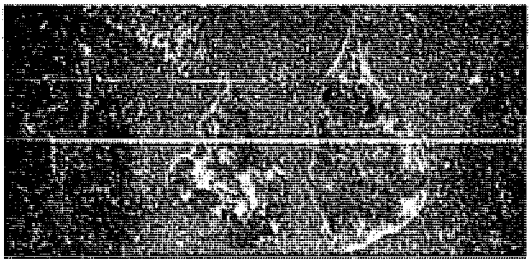


Figura 6. Mosaico dorado del frijol.

Control

El control genético ha obtenido resultados alentadores para México y la América Central. A través de una intensa selección de materiales que presentaban tolerancia entre más de 8.000 accesiones de Phaseolus vulgaris del banco de germoplasma del CIAT, se obtuvieron los progenitores de las que ahora se denominan 'Líneas Dorado': ICA Pijao, Porrillo Sintético y 70 y Turrialba 1. A partir de estos padres, se obtuvieron las variedades DOR 41 o ICTA-Quetzal, DOR 42 o ICTA-Cutiapan y DOR 44 o ICTA-Tamazulapa, liberadas por el ICTA en Guatemala. El INIA en México liberó en 1982 la variedad D-145 o Negro Huasteco 81. Actualmente Guatemala ha seleccionado nuevas líneas tolerantes al BGMV y 13 de ellas superaron la variedad ICTA-Quetzal entre 6 y 23 bajo presión con el virus (2). Actualmente se están evaluando en CIAT líneas avanzadas las cuales recombinan la resistencia al BGMV con la precocidad. Las líneas de grano rojo presentan menos tolerancia al BGMV y tienen problemas de madurez tardía, grano pequeño, e inestabilidad de los colores del grano (12). Estos problemas, sin embargo, están siendo corregidos en la actualidad.

Otro método de control es la utilización de insecticidas para disminuir la población del insecto vector, Bemisia tabaci; los insecticidas sistémicos aplicados al momento de la siembra han sido los mas eficientes. La amplitud de hospederos de B. tabaci dificulta también su control, pues el insecto se multiplica en cultivos de algodón, tomate, soya y tabaco (9). Por eso se recomienda como control cultural la siembra del frijol en áreas aisladas donde no existan estos cultivos.

La siembra en épocas de menor temperatura y de precipitación moderada constituye una práctica cultural efectiva para el control de la enfermedad (6). El BGMV no se transmite por la semilla del frijol.

Moteado clorótico del frijol (BCIMV)

Existe otro virus transmitido por la mosca blanca, que en algunos casos produce pérdidas en la producción del frijol, y se conoce como el virus del moteado clorótico. En 1981, Argentina perdió más de 50.000 has. de frijol debido a este virus (13). La epidemia de la enfermedad coincidió con la expansión de las siembras de soya en el área, lo cual aumentó a su vez la población de la mosca blanca, Bemisia tabaci.

Los síntomas varían desde el moteado clorótico (Fig. 7) hasta la deformación completa de las vainas y de la planta en general (Fig. 8), provocando enanismo y achaparramiento en las plantas severamente afectadas. Algunas variedades infectadas tardíamente presentan el síntoma de 'escoba de bruja' (Fig. 9). En ataques severos las pérdidas son totales.

Figura 7.
Moteado clorótico del frijol.

Figura 8.
Moteado clorótico del frijol.

Figura 9. Síntoma de "escoba de bruja".

Control

La mayoría de las variedades resistentes al BGMV también han probado ser resistentes al BCIMV. La línea DOR 41, lanzada como ICTA-Quetzal en Guatemala, se registró en Argentina en 1982 y rápidamente está reemplazando a la variedad local, Negro Común. Las líneas BAT 7, BAT 14, BAT 15, BAT 58 y BAT 64 también han demostrado diferentes grados de resistencia al moteado clorótico (13).

En tanto se obtienen variedades resistentes del tipo 'Alubia', grano blanco y grande, se ha logrado mantener la producción en áreas afectadas por este virus con la aplicación de insecticidas sistémicos al momento de la siembra, suplementada con aspersiones foliares de insecticidas según la dinámica de las poblaciones de la mosca blanca (13).

Enfermedades transmitidas por crisomélidos

Existen varios virus transmitidos por crisomélidos, particularmente, especies de Cerotoma y Diabrótica, que afectan el cultivo del frijol. Las enfermedades más importantes son el mosaico sureño, el mosaico suave, y el mosaico rugoso. Con excepción de la última enfermedad donde se observan síntomas claros de deformación foliar (Figura 10), estas enfermedades pasan a menudo desapercibidas debido a los síntomas débiles que se manifiestan. Esto no quiere decir que estos virus no causen pérdidas de rendimiento, como se comprobó recientemente en CIAT, en una investigación con el virus del mosaico sureño del frijol (Informe Anual, 1984).

Además de ser transmitidos por crisomélidos, estos virus son fácilmente transmitidos a través de implementos agrícolas y personal de campo. Los virus causales del mosaico suave y mosaico sureño también pueden ser transmitidos por semilla contaminada o infectada.

El principal método de control, por el momento, es el control químico de crisomélidos vectores. Como práctica cultural se podría recomendar el monocultivo del frijol ya que en cultivos asociados con maíz hay una mayor población de algunos crisomélidos debido a la presencia del maíz. La resistencia genética es posible de considerarse necesario su uso.

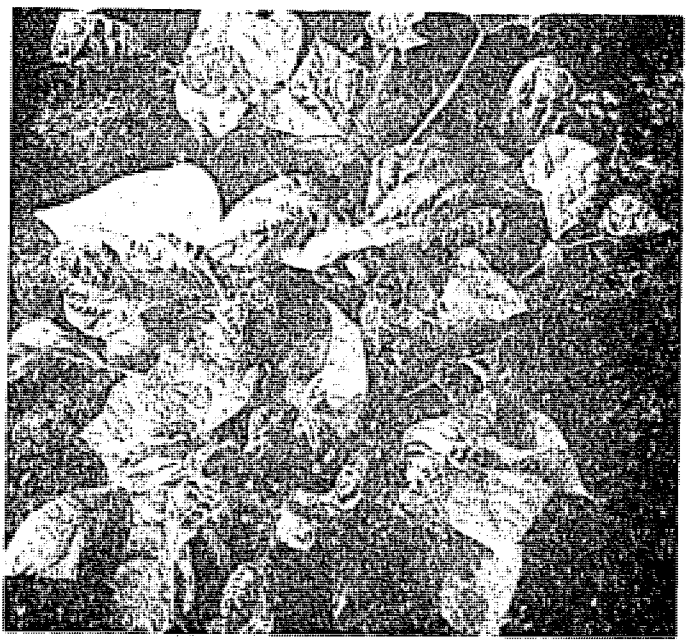


Figura 10. Mosaico rugoso del frijol.

ENFERMEDADES CAUSADAS POR VIRUS

BIBLIOGRAFIA

1. Aldana de León, L.F. 1981. Estudio del efecto de la resistencia genética y el control químico del vector sobre la incidencia del mosaico dorado del frijol (Phaseolus vulgaris). Tesis, Ing, Agr. Guatemala, Univ. de San Carlos. 81 p.

2. Aldana de León, L.F.; Salguero, V.; Beebe, S.; Masaya, P.; Temple, S.; Gálvez, G.E.; Orozco. S.H. 1982. Avances del mosaico dorado (BGMV) en Guatemala. Guatemala, ICTA, 6 p.

3. Bianchini, A.; Hohmann. C.L.; Albertini, J.L. 1981. Distribucao geografica e orientacoes técnicas para prevencao do mosaico dourado do feijoeiro no estado do Paraná. Informe de Pesquisa 5(42):1-3.

4. Bos, L. 1971. Bean common mosaic virus N° 73. Descriptions of plant viruses. Common. Mycol. Inst. and Assoc. Apl. Biol., Kew Surrey, England. 4 p.

5. Burke, D.W. 1964. Time of planting in relation to disease incidence and yields of beans in Central Washington. Plant Dis. Report. 48:789-793.

6. Cardona, D.; Flor, C.A.; Morales, F.J.; Pastor Corrales, M. 1982. Problemas de campo en los cultivos de frijol en América Latina. 2a. Ed. Cali, Colombia, CIAT. 100 p.

7. CIAT. 1984. Enfermedades virales. In Sistema de evaluación estándar para frijol. CIAT, Cali, Colombia. 26 p. (mimeografiado).

8. CIAT. 1983. Control genético del mosaico común del frijol (BCMV). Guía de estudio para ser usada como complemento de la unidad audiotutorial sobre el mismo tema. Cont. Científico: Morales, F.J.; Castaño, M. Producción: Ospina H.F. CIAT, Cali, Colombia (Serie 04SB-06.03).

9. CIAT. 1980. Enfermedades del frijol causadas por virus y su control. Guía (Serie 04BS-06.02).

10. CIAT. 1983. Informe Anual.

11. CIAT. 1981. Informe Anual.

12. CIAT. 1983. Programa de Frijol. Informe Anual.

13. CIAT. 1982. Programa de Frijol. Informe Anual.

14. Costa, A.S. 1969. Witeflies as virus vectors. pp 95-119 In Viruses. Vectors and Vegetation. K. Maramotosch y H. Koprowski, eds. Academic Press, N.Y.

15. Gálvez, G.E. 1980. Virus transmitidos por Afidos. In Problemas de Producción de Frijol: ... CIAT, Cali, Colombia. pp 212-238.

16. Gálvez, G.E. 1982. Investigaciones sobre el picudo del frijol, la mustia hilachosa y el mosaico dorado en Centroamérica y México. Cali, Colombia, CIAT. Seminarios Internos. Serie SE-11-82. 7 p.

17. Gálvez, G.E.; Cárdenas, M.R. Virus transmitidos por Moscas Blancas. In Problemas de Producción de Frijol. Cali, Colombia, CIAT. pp 263-289.

18. Gámez, R. 1980. Los virus transmitidos por crisomélidos. In Problemas de Producción de Frijol. Cali, Colombia, CIAT. pp 239-259.

19. Gámez, R. 1971. Los virus del frijol en Costa Rica I. Transmisión por moscas blancas y plantas hospedantes del virus del mosaico dorado. Turrialba, 21: 22-27.

20. Hampton, R.O. 1975. The nature of bean yield reduction by bean yellow and bean common mosaic viruses. Phytopathology 65:1342-1346.

21. Lima, P.R. de A.; Méndez, M.C. 1981. Competicao de cultivares de feijao safra das aguas em tre municipios do Matto Grosso do Sul, em 1980/81. Dourados-MS Brasil, EMBRAPA. Unidade de execucao de pesquisa de ambito estadual de Dourados. 12 p.

22. Lister, R.M. 1978. Aplication of the enzyme-linked assay for detecting viruses in soybean seed and plants. Phytopathology 68: 1393-1400.

23. Menten, J.O.M.; Roston, A.J. 1980. Mosaico dourado e a necessidade da regionalizacao da cultura do feijoeiro no Estado de Sao Paulo. Revista de Agricultura. (Sao Paulo) 54(4): 287-300.

24. Morales, J.F. 1983. El mosaico común del frijol: Metodología de investigación y técnicas de control. Ed. revisada. Centro Internacional de Agricultura Tropica. Cali, Colombia, 26 p.

25. Nelson, R. 1932. Investigations in the mosaic disease bean. Tech. Bull. 188, Michigan, Agr. Expt. Ann. Arbor. 71 p.

26. Ordoñez, M.L.F.; K. Yoshii. 1978. Evaluación de pérdidas en rendimiento de frijol debidas al mosaico dorado bajo condiciones de campo. Caribbean, Guatemala, Phytopath. Newsletter 12:66.

27. Spragg, F.A.; Down, E. e. 1921. The robust bean. Spec. Bull 108. Michigan Agr. Expt. Stat. Ann Arbor. 9 p.

28. Westphalen, S.L.; Nunes, J.C.; Bergamaschi, H. 1980. Ocorrencia do mosaico dourado do feijao (Phaseolus vulgaris) no Rio Grande do Sul. Agronomía Sulriograndense (Porto Alegre) 16(1): 155-160.

29. Zaumeyer, W.J. 1969. The origin of resistance to common bean mosaic in snap beans. Seed, World. 105:8-9.

CAPITULO IV

PLAGAS QUE ATACAN AL CULTIVO DE FRIJOL

PAGINA

CONCEPTOS BASICOS DE ENTOMOLOGIA Y MANEJO DE PLAGAS..... 231
T. Zúñiga

METODOLOGIA DE INVESTIGACION EN ENTOMOLOGIA DE FRIJOL..... 241
C. Cardona, T. Zúñiga

EL CONTROL QUIMICO DE PLAGAS DE FRIJOL..... 247
G. Hallman

PLAGAS QUE ATACAN LA PLANTULA..... 257
A. v. Schoonhoven, C. Cardona

HYLEMYA
ELASMOPALPUS
BABOSAS
GRILLO
PHYLLOPHAGA
AGROTIS

PLAGAS QUE ATACAN EL FOLLAJE..... 263
A. v. Schoonhoven, C. Cardona

CRISOMELIDOS
EMPOASCA
EPILACHNA
TRICHOPLUSIA
BEMISIA
AFIDOS
TETRANYCHUS
POLYPHAGOTARSONEMUS
MINADORES

PLAGAS QUE ATACAN LAS VAINAS..... 275
A. v. Schoonhoven, C. Cardona

APION
EPINOTIA
MARUCA
HELIOTHIS

PLAGAS QUE ATACAN GRANOS DE FRIJOL ALMACENADOS.... 279
A. v. Schoonhoven

ACANTHOSCELIDES
ZABROTES

CONCEPTOS BASICOS DE ENTOMOLOGIA Y MANEJO DE PLAGAS

Tomás Zúñiga

Antes de tratar de controlar a los insectos plagas, debemos aprender a convivir con ellos, a realizar un inteligente manejo de nuestros recursos, pensando fundamentalmente, que el control de insectos plagas en la agricultura se ha convertido no sólo en una ciencia importante; y que los razonamientos que hagamos deben estar orientados no sólo en función económica, sino también en función ecológica.

Generalmente la importancia que alcanza una plaga en un cultivo, es el resultado de las actividades del hombre transportando plagas a regiones antes no infestadas, introduciendo a su medio nuevas plantas y animales exóticos, produciendo variedades o razas de organismos y simplificando los ecosistemas como un resultado de las actividades agrícolas o industriales.

Desde hace muchos años se viene insistiendo en la conveniencia de ejercer un control integrado de plagas y enfermedades, sin embargo, en la mayoría de los cultivos su control se ha realizado casi exclusivamente en base a pesticidas no selectivos, estrategia que no funcionó a largo plazo.

Los plaguicidas deben considerarse como componentes indispensables para el control de plagas, pero aplicados en el momento preciso y cuando falten las otras alternativas de control.

Su utilización indiscriminada durante las últimas décadas, ha puesto al descubierto los problemas que se generan de su excesiva utilización, tales como: contaminación ambiental, residuos tóxicos en los alimentos, aumentos en los costos de producción, disminución en las poblaciones de parásitos y predatores, aparición como plagas de artrópodos que se consideraban como secundarios; y un creciente aumento en la resistencia de los insectos plagas a los insecticidas, por muy tóxicos y complejos que sean. Existen en la actualidad algo mas de 300 especies de insectos resistentes a insecticidas.

La crisis surgida por cultivos que han dependido de los insecticidas para el control de plagas, ha obligado a técnicos y agricultores a entender que el control integrado es la manera mas racional de regular las poblaciones de las especies dañinas.

El manejo o control integrado de plagas usa todos los métodos prácticos para reducir los niveles de insectos dañinos en una forma sintetizada y armoniosa, con el fin de mantener por debajo el nivel que causa daño económico al cultivo.

La exitosa aplicación del control integrado de plagas no es tan fácil, puesto que requiere un profundo conocimiento de la correcta identificación de la especie, de su biología y comportamiento de los factores que regulan sus poblaciones como parásitos y predatores. Es igualmente indispensable, establecer sistemas de muestreo que faciliten determinar los niveles de población de las distintas plagas, con posibilidad de ocasionar pérdidas de importancia económica, durante los diferentes estados de desarrollo del cultivo.

Niveles de daño económico

El nivel de daño económico no se puede determinar por un simple número o porcentaje, es un factor variable que depende de muchos parámetros, tales como: vigor de la planta, parte afectada por la plaga, condiciones climáticas y edáficas, exigencias del mercado en calidad y presentación, etc.

Los componentes básicos para tomar decisiones en los programas de manejo de plagas son:

1. Los muestreos para determinar la densidad de población de los insectos plagas.

2. El nivel de daño económico para determinar la densidad de población que causa pérdidas a un cultivo.

3. Los factores de mortalidad que regulan las poblaciones de los insectos.

Factores naturales de mortalidad

Los factores naturales de mortalidad tienen un papel muy importante en la regulación de las poblaciones de los insectos.

Howard and Fiske (1949), distinguieron dos categorías de causas naturales de mortalidad entre los insectos:

En una categoría están los factores que causan un porcentaje constante de mortalidad, sin importar la abundancia de los insectos; a estos factores se les ha denominado factores catastróficos.

En la otra categoría, están los factores que causan porcentaje creciente de mortalidad, a medida que el número de insectos hospederos se incrementa; a éstos se les denominó factores facultativos.

Smith (1935), llamó estos factores como factores de mortalidad independientes de la densidad a los primeros y dependientes de la densidad los últimos.

Puede entenderse fácilmente, que los factores físicos (clima y tiempo) que ofrecen resistencia ambiental son independientes de la densidad, o sea que su acción varía independientemente de las variaciones de la población de insectos, y que los factores biológicos, tales como: competencia por alimento, competencia por espacio, competencia por abrigo, los predatores y los parásitos, son dependientes de la densidad, esto es, que ellos son afectados por el alza y caída de la población del insecto hospedero (Soria 1982).

El entomólogo agrícola está interesado en los factores de mortalidad que pueden determinar la densidad de población promedial, o la posición de equilibrio de una especie. Si tales factores tienen éxito en mantener una posición de equilibrio bajo el nivel de daño económico, "cero económico", entonces son importantes, de otra manera no lo son. (Smith, 1935), ha demostrado que los factores de mortalidad independientes de la densidad pueden determinar la posición de equilibrio en la población de una especie y, que los factores dependientes de la densidad no pueden hacerlo nunca si operan solos.

En el caso de un insecto hospedero bajo control biológico, el porcentaje de mortalidad causado por factores bióticos, particularmente insectos entomófagos, incrementa su valor porcentual cuando la densidad del hospedero tiende a aumentar y por el contrario decrece cuando la densidad del hospedero tiende a disminuir. Los factores dependientes de la densidad son los únicos que son realmente reguladores.

Las variaciones en el clima pueden causar fluctuaciones en el número de insectos huéspedes de un cultivo, cambio que puede tener importancia económica. Sin embargo, se debe hacer una distinción entre estas fluctuaciones y las densidades de población promedias, controladas por factores bióticos.

En los ecosistemas naturales todos los seres vivos están regulados por factores de mortalidad; y de no existir estos factores reguladores, el incremento de una población sería infinito. Se sabe que no ocurre así, sino que las poblaciones tienen una fluctuación muy dinámica sobre lo cual se establece la posición de equilibrio. Este es el promedio de la densidad de la población sobre la cual la cantidad de individuos fluctúa (Fig. 1).

La frecuencia con que ocurren estas oscilaciones depende del tipo de organismo, en el caso de bacterias pueden ser horas, en el caso de insectos, días o meses, en el caso del hombre décadas y, en el caso de algunos árboles, miles de años (Falcon 1982).

En los ecosistemas artificiales o manejados (agroecosistemas), lo que interese a las técnicas es conocer cuándo la población de un insecto alcanza densidades que causen disminución económica en los rendimientos de las cosechas o "nivel de daño económico", y cuál sería la densidad de población a la cual se deben aplicar medidas de control para que no ocurra ninguna pérdida, "Umbral económico" (Fig. 1). En la aplicación práctica del control integrado, si una plaga tiene su posición de equilibrio en el nivel A (Fig. 2), se pretende causar una reducción de su densidad de población hasta una nueva posición de equilibrio, el nivel B, mediante la introducción de un enemigo natural o por cualquier otro factor regulador (Falcon). Pero lo que se pretende con un buen manejo de plagas es que no ocurra lo contrario, es decir, que por causa del abuso con los insecticidas, se eliminen también los enemigos naturales de alguna plaga secundaria, provocando un nuevo nivel de equilibrio del insecto, que lo convierte en plaga de importancia económica.

Para atender el efecto de estas fluctuaciones sobre los cultivos y para facilitar las decisiones que se deben tomar dentro de un programa, se discuten someramente algunas posibles posiciones.

Un insecto cuya densidad de población ocurra alrededor de su posición de equilibrio, sin que llegue al punto de umbral económico, se considera un insecto que no es plaga (Fig. 3). Puede ocurrir que en la fluctuación de su población una plaga llegue a sobrepasar temporalmente el umbral económico, como se observó en la Figura 1, tenemos entonces una plaga ocasional. En este caso no se quiere permitir que la plaga llegue a niveles de daño económico, por lo cual las medidas de control se deben iniciar cuando sus poblaciones lleguen al umbral económico (nivel de control).

Cuando la densidad de población de un insecto dañino sobrepasa en forma frecuente el umbral económico (Fig. 4), nos encontramos con una plaga

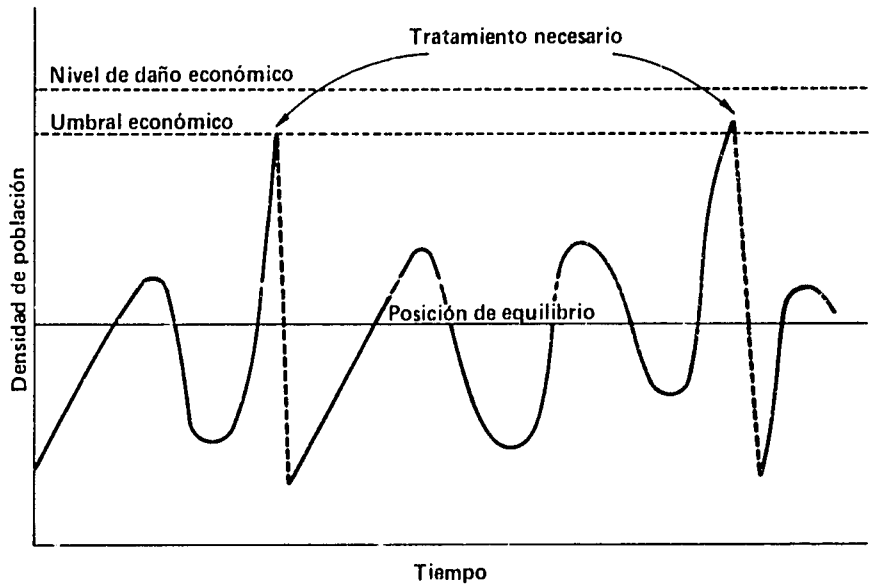


Figura 1. Posición de equilibrio en una población de insectos, umbral económico y daño económico (Plaga ocasional).

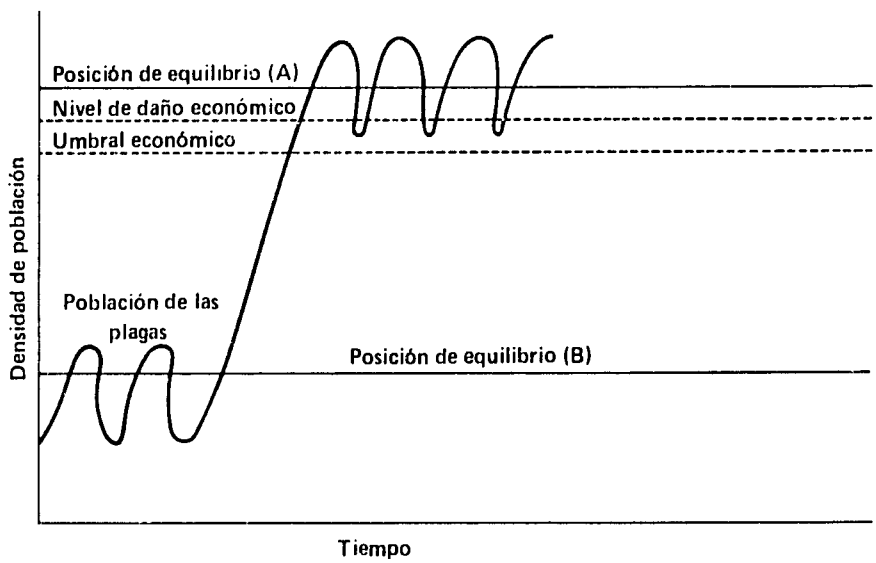


Figura 2. Cambio de la posición general de equilibrio de un insecto plaga.

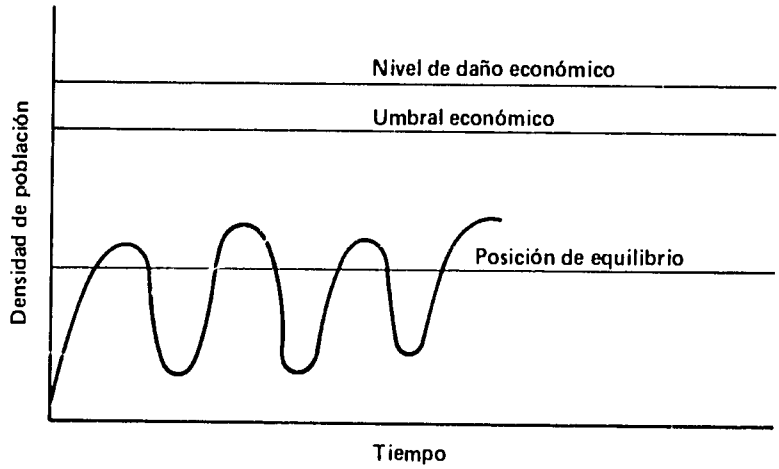


Figura 3. Insecto no plaga (Plaga potencial).

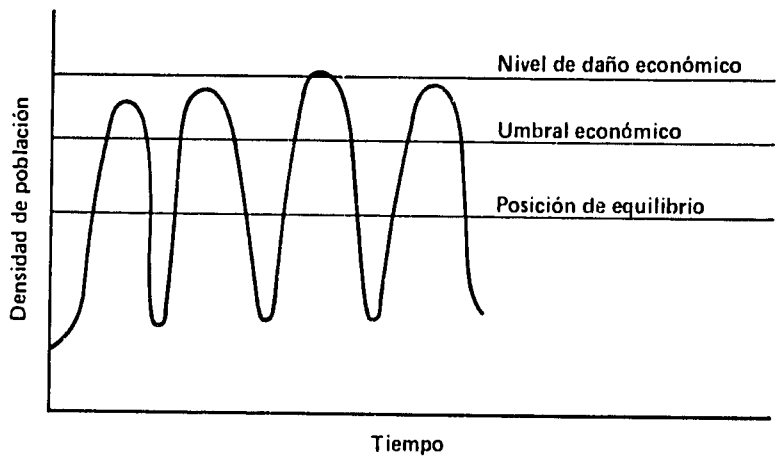


Figura 4. Plaga clave.

clave, que requiere frecuentes medidas de control. Estas situaciones son provocadas generalmente por el uso indiscriminado de insecticidas; normalmente durante estas situaciones las poblaciones de plagas se recuperan rápidamente después de cada aplicación de pesticidas y plagas que en raras ocasiones causaban daño, se convierten en plagas claves; de esta forma se llega a una época de crisis seguida por una etapa de desastre, en la cual el uso indiscriminado de agroquímicos eleva los costos de producción hasta el punto que el cultivo pasa a ser antieconómico y los agricultores prefieren cambiar de cultivo.

En la gran mayoría de los casos los técnicos encargados de atender cultivos comerciales, presionados por temor de los agricultores, con justificada razón se preocupan por conocer la plaga, saber sobre su indicativo del nivel con que se debe controlar y la dosis de los productos más efectivos, que son por lo general los que más efectos letales tiene sobre todo tipo de vida de un ecosistema.

Esta situación está cambiando por una condición más favorable y menos azarosa que nos brinda el control integrado.

Resistencia varietal

La resistencia varietal es base fundamental para poder tener éxito en un programa de control integrado de plagas y enfermedades. De poco sirve a un técnico entender y querer aplicar las diferentes técnicas de control integrado, si no hay resistencia varietal.

La especie Phaseolus vulgaris L. se encuentra entre las que poseen resistencia varietal a plagas y enfermedades.

Son numerosas las ventajas de utilizar plantas resistentes a los ataques de insectos, puesto que no implican costo adicional al agricultor; no ofrece riesgo de residuos dañinos o polución, no hay efectos adversos sobre la fauna benéfica; se integra muy bien con otros métodos de control y es un método permanente de control de insectos (Maxwell 1970).

Painter, define la resistencia como la suma relativa de cualidades heredables poseídas por una planta, que influyen en último grado el daño causado por los insectos.

La naturaleza de las variedades resistentes a insectos está clasificada en tres amplias categorías: no preferencia o antixenosis, tolerancia y antibiosis.

No Preferencia

Una planta posee diferentes factores que no la hacen atractiva al insecto para la oviposición, alimentación o refugio (Painter).

Antixenosis

Término propuesto por Kogan (1978) para reemplazar la categoría de no preferencia de Painter; dice: Si los mecanismos de defensa afectan al insecto, la resistencia es antixenosis, que define la forma como la planta afecta el establecimiento de la plaga.

El mecanismo antixenosis incorpora lo que se ha definido como preferencia, pero es más amplio porque involucra los mecanismos de defensa mecánicos y

los mecanismos de defensa químicos, que afectan al insecto a nivel de selección de la planta, antes de que inicien la ingestión del alimento (Kogan 1982).

Tolerancia

Las plantas que presentan mecanismos de defensa que no afectan directamente al insecto, se consideran como plantas tolerantes. Las plantas tienen capacidad para recuperarse del daño y es un mecanismo defensivo eficiente, puesto que el costo metabólico se realiza sólo si existe daño del insecto (Kogan 1982).

Antibiosis

Las defensas que afectan la fisiología del insecto después de la ingestión son los factores antibióticos (Kogan 1982). En la mayoría de los casos estudiados, la antibiosis parece deberse a diferencia en los constituyentes químicos de la planta.

Estas diferencias pueden ser cuantitativas o cualitativas, pueden existir sólo en ciertas partes de la planta, o en ciertos estados de su crecimiento. Los factores bioquímicos que intervienen en la antibiosis han sido clasificados en dos grandes categorías, inhibidores fisiológicos y deficiencias nutricionales (Maxwell 1970).

La planta tiene efecto tóxico sobre el insecto causando mayor mortalidad, menor fecundidad o más larga vida.

En la práctica pueden existir dos o las tres reacciones en el mismo genotipo de la planta.

La resistencia varietal al parecer tiene éxito para toda clase de plagas, monófagas y polífagas, y desde plagas que atacan la raíz y follaje hasta las que atacan la semilla.

Para buscar resistencia a cualquier plaga, se hace un tamizado primero de todas las variedades comerciales y actuales de la región. Ha sucedido en ocasiones que ya existen variedades comerciales suficientemente resistentes a alguna plaga y el problema queda resuelto.

Si no hay resistencia en las variedades actuales, se busca en las variedades comerciales viejas, después de las variedades criollas y progresivamente lejos de la planta moderna hasta llegar a accesiones silvestres, o inclusive otras especies del mismo género. Por ejemplo, en cuanto a resistencia de frijol a Apion godmani se encontraron buenos niveles de resistencia en accesiones de P. vulgaris no comerciales, y solamente niveles moderados en variedades actuales.

En cuanto a resistencia de frijol a los brúchidos, no se encontró resistencia hasta llegar a las accesiones silvestres de P. vulgaris.

Buenos niveles de resistencia a E. kraemeri se siguen encontrando en P. vulgaris.

El método de tamizado es muy importante para poder identificar los verdaderamente resistentes de los "escapes". Aunque la infestación sería lo ideal, con plagas de campo, muchas veces hay que aprovechar las poblaciones naturales por la dificultad y costos de criar insectos.

Hay que conocer algunos datos básicos de biología y distribución estadística del insecto para poder utilizarlo en los tamizados. Por ejemplo con A. Godmani aparentemente siembras temparanas susceptibles para atraer al picudo y aumentar sus poblaciones en los viveros, no funcionan. Parece que el A. Godmani tiene una sola generación por semestre y la mejor forma de asegurar una buena infestación en el vivero es sembrar temprano. Lo contrario para E. kraemeri, es decir, sembrar una variedad espaciadora primero para aumentar las poblaciones del insecto, y continuar con la siembra del vivero y asegurar una buena infestación. Para A. Godmani, la variación de intensidad de la infestación es más grande que E. kraemeri; por eso, se usan más repeticiones para el primero.

Es importante conocer el mecanismo principal de la resistencia. Si hay preferencia, es posible que las diferencias halladas cuando muchas accesiones están sembradas juntas en pequeñas parcelas, no existan en monocultivos de una sola variedad. Eso se debe a que el insecto puede escoger cuáles accesiones quiere atacar cuando estén solas. Esto se puede probar por medio de jaulas, obligando al insecto a atacar una accesión no preferida. Si no la ataca cuando es la única ofrecida, entonces la no preferencia de la accesión es buena.

La tolerancia es, a menudo, difícil de medir y se puede confundir con adaptación de las plantas al lugar donde se realiza el tamizado, cuando la tolerancia es el mecanismo principal de la resistencia el número de insectos usualmente no se reduce. Inclusive, el número de insectos encontrados en una accesión tolerante puede ser mayor que en una susceptible, porque la tolerante, estando en mejores condiciones, es más atractiva.

Otros casos son más difíciles, como la tolerancia del frijol a la defoliación. Se ha observado en Africa que existen accesiones de frijol que sufren menos pérdidas a pesar de igual defoliación por crisomélidos. Para medir el efecto de esta tolerancia, hay que tomar rendimiento sin y con el ataque de los insectos. Este tipo de resistencia medida en rendimiento es tal vez la más difícil para utilizar en resistencia varietal debido a las dificultades en medirlo.

La antibiosis es relativamente confiable y fácil de medir. Se nota cuando se observan efectos perjudiciales sobre plagas criadas en accesiones resistentes en comparación con el crecimiento normal de la población en accesiones susceptibles. Un ejemplo notable en el frijol son las accesiones silvestres que ocasionan muy alta mortalidad a los Brúchidos que las infestan.

En la resistencia varietal de plantas o patógenos hay problemas con razas de patógenos que atacan variedades resistentes. Por eso, a menudo es necesario probar nuevas fuentes de resistencia a varios patógenos en diferentes lugares para medir su reacción a las diferentes razas.

El problema de razas existe en algunos insectos (Mayetohia destructor la mosca del trigo; Nilaparvata lugens de arroz y unos áfidos) pero en general con las plagas no es de amplia importancia.

Debe tenerse especial cuidado con las diferentes especies de insectos. A menudo se tratan varias especies como si fueran una sola.

BIBLIOGRAFIA

1. Falcon, L.A. 1982. Control integrado de plagas. Conferencia Control Integrado de Plagas en Yuca. CIAT.

2. Kogan, M. 1982. Principios de la relación insecto - planta y su aplicación en la resistencia varietal.

3. Maxwell, F. G. 1970. Host plant resistance to insects. Conferencia en curso de radioisótopos aplicados a la entomología, Turrialba, Costa Rica.

4. Reyes, J.A. 1982. Agentes benéficos en el cultivo de la yuca y su importancia en la regulación de las poblaciones de plagas.

5. Soria, S. 1982. Bases teóricas del control biológico.

METODOLOGIA DE INVESTIGACION EN ENTOMOLOGIA DE FRIJOL

César Cardona
Tomás Zúñiga

Introducción

Debido al gran número de especies de insectos y ácaros y la diversidad de especies vegetales cultivadas que éstos atacan, no hay normas precisas o dogmáticas sobre las metodologías de investigación que deben seguirse en entomología de un cultivo dado. Un buen investigador necesita entonces conocer ciertos principios metodológicos generales, los cuales deben adaptarse a los problemas a resolver en el campo. Como la Entomología puede investigar desde aspectos puramente taxonómicos hasta los de simple implementación de métodos de control directo, es indispensable para el entomólogo definir muy bien sus prioridades de estudio mediante unos objetivos claros y precisos. En el caso del CIAT, el Programa de Entomología de Frijol ha establecido muy bien sus objetivos básicos:

1. Reconocimiento e identificación de las especies de insectos y ácaros perjudiciales al cultivo en Latinoamérica.

2. Establecimiento de la importancia económica de las especies plagas en términos de la reducción del rendimiento y de su distribución geográfica.

3. Evaluación de cultivares por su resistencia a determinadas especies.

4. Incorporación de resistencia en variedades mejoradas.

5. Desarrollo de métodos de muestreo.

6. Desarrollo de métodos de control.

Resistencia Varietal

Dentro de estos objetivos generales, la mayor prioridad se ha dado a la resistencia varietal como método ideal de control de plagas con el fin de minimizar o si fuera posible, eliminar el uso de insecticidas para el combate de los insectos o ácaros.

Discutiremos a continuación algunos de los métodos de investigación que se vienen utilizando. Estos desde luego, cambian mucho según las circunstancias. Algunos son originales, fruto del ingenio del investigador; otros son más universales. Pero en ninguno de los casos puede decirse que sean absolutos y desde luego son susceptibles de modificar según sea el problema a resolver.

Como la mayor prioridad del CIAT es la obtención de variedades mejoradas que permitan aumentar los rendimientos con un mínimo uso de insumos, se ha desarrollado un programa masivo de selección por resistencia a las principales plagas. En la sede principal del CIAT estos estudios se adelantan con Empoasca kraemeri, ácaros e insectos del frijol almacenado.

En colaboración con instituciones nacionales se está también probando resistencia varietal al picudo, Apion godmani y a Epinotia Aporema, especies que no se pueden estudiar en Colombia.

Para la obtención de mayores niveles de resistencia de frijol común a Empoasca kraemeri, es conveniente aclarar que no se pretende obtener inmunidad al insecto, sino lograr un aumento en la resistencia que permita ganancias en rendimientos y disminuya en lo posible la necesidad de utilizar insecticidas. Los materiales seleccionados deben tener características sobresalientes en cuanto a otros factores que afectan la producción. El mejoramiento genético del frijol en lo que respecta a resistencia a Empoasca kraemeri comprende tres etapas principales que son:

1. Escogencia de fuentes de resistencia.

2. Hibridación de los materiales seleccionados.

3. Selección de progenies resistentes.

Escogencia de fuentes de resistencia

La escogencia de fuentes de resistencia se logra mediante un tamizado masivo de cultivares de frijol que comprende tres etapas de selección, bajo condiciones de campo, en parcelas de 2 a 3 metros/variedad y en épocas en que se presenta la mayor población del insecto. Normalmente, el proceso de selección por resistencia se inicia con materiales provenientes del banco de germoplasma (I Etapa de selección). Los mejores pasan a una II y III etapas de selección. Simultáneamente se estudian materiales provenientes de otras disciplinas (vivero internacional de mosaico dorado, vivero internacional de roya, ensayos preliminares de rendimiento, vivero equipo de frijol). También se incluyen en las evaluaciones cultivares no vulgaris, Phaseolus lunatus, Ph. coccineus, Ph. Acutifolius entre ellos.

El esquema básico de selección en las primeras etapas consiste en la eliminación de materiales susceptibles mediante una escala de apreciación visual del daño, en evaluaciones realizadas durante los 50 días después de la siembra; comúnmente se realizan tres evaluaciones, la escala es la siguiente:

0= La planta no presenta síntomas de daño.

1= Daño leve; se presentan pequeñas deformaciones en los bordes de las hojas.

2= Daño moderado: hay ligero encrespamiento en las hojas.

3= Daño moderado: como 2, pero acompañado de atrofiamiento y amarillamiento de los bordes de las hojas.

4= Daño severo: encrespamiento de las hojas, atrofiamiento o enanismo y amarillamiento mayores.

5= Daño muy severo: atrofiamiento severo, no hay producción y frecuentemente muere la planta después de la floración.

También se dan las siguientes clasificaciones intermedias entre los grados antes presentados: 0.5; 1.5; 2.5; 3.5 y 4.5.

Para un mejor criterio de selección, se acostumbra someter los materiales cuando cumplan su madurez fisiológica a la evaluación de adaptación reproductiva (carga), parámetro que nos indica el potencial de producción de un material en presencia de la plaga, mediante una escala de 1-5.

Se consideran resistentes los materiales con calificaciones entre 0-2; intermedios aquellos con valores mayores de 2, hasta 3; susceptibles aquellos con calificaciones superiores a 3. Siempre se hacen las siembras de tal manera que los surcos de los testigos resistente y susceptible (en el CIAT se utiliza el ICA Pijao como resistente y la línea BAT 41 como testigo susceptible), en lo posible vayan intercalados cada 10 variedades en prueba, para que sirva como patrón de comparación.

Los cultivares seleccionados en la primera etapa pasan a las denominadas segunda y tercera etapas de selección para la reconfirmación de su resistencia y su posible escogencia como progenitores. En estos casos se hacen las siembras con más repeticiones y las lecturas son más detalladas.

La selección por apreciación visual del daño es un criterio confiable que correlaciona relativamente bien con el rendimiento pero no con los conteos detallados de ninfas y adultos. En el Cuadro 1, se muestra que no es muy alto el coeficiente de correlación entre el número de ninfas o el número de adultos y la calificación del daño mediante apreciación visual, mientras que fue mejor, aunque no perfecta, la correlación entre el rendimiento y la selección por apreciación visual del daño. En otras palabras, la variedad más susceptible, no necesariamente alberga las mayores poblaciones de ninfa y adultos, mientras que una variedad resistente puede tener muchos insectos y no mostrar un daño severo. Por esta razón, los conteos de ninfas y adultos se han descartado, al menos para las primeras etapas de selección.

Cuadro 1. Coeficientes de correlación entre poblaciones de ninfas, adultos de E. kraemeri, rendimiento y calificación mediante la apreciación visual del daño.

Correlación entre	Coeficiente:
Ninfas/hoja y calificación visual	0.3
Adultos/M2 y calificación visual	0.3
Calificación visual y rendimiento	0.6

La organización que se dé a los materiales en el campo, puede ser muy importante en relación con la confiabilidad de las evaluaciones visuales.

Así por ejemplo, en presencia de infestaciones altas, la disposición de los cultivares por familias genéticas y por color influyó en la expresión de la resistencia genética. Cuando los cultivares se randomizaron, el coeficiente de correlación entre la calificación visual de una variedad y las que sus ocho vecinos fue mucho menor que el coeficiente que se obtuvo cuando las variedades fueron distribuidas por familias genéticas y por color (Cuadro 2), indicando así que cuando se randomiza completamente, la expresión de la resistencia es mucho más independiente y real.

Cuadro 2. Coeficiente de correlación entre la evaluación visual de daño por Empoasca en un cultivar de frijol y las de sus 8 vecinos.

Disposición en el campo	C.C.
Organización por familias	0.31
Randomización	0.027

Un factor importante en un programa de mejoramiento es la identificación de una función discriminante, es decir, de alguna característica morfológica y fisiológica de la planta que permita predecir con cierta precisión su comportamiento frente al insecto. Para el caso de Empoasca, esta clase de función o índice de selección no se halla en el frijol común, por esta razón, se ha recurrido a fijar una escala de daño que permite separar los materiales resistentes y los materiales.

Hibridación de los materiales seleccionados

Una vez seleccionados los materiales como fuentes de resistencia, se inicia el proceso de hibridación entre los materiales más resistentes y la posterior selección de progenies resistentes para aumentar el nivel alcanzado e incorporarlo a materiales comerciales.

Selección de progenies resistentes

En el caso específico de Empoasca, se ha escogido el método de selección recurrente con prueba de progenies, esquema flexible que permite introducir nuevo germoplasma en cualquier ciclo de hibridación.

Al cabo de dos o tres ciclos de selección recurrente se adelantan ensayos de rendimiento, para medir el progreso obtenido en el aumento de los niveles de resistencia. En esta clase de experimentos, se comparan las producciones de materiales mejoradas con las de algunos testigos susceptibles en condiciones de protección química y de no protección, es decir, en ausencia y en presencia del insecto.

Se seleccionan como mejores aquellos materiales que tengan un alto potencial de rendimiento y menores porcentajes de reducción en la producción como consecuencia del daño causado por el Empoasca.

A continuación se describe el método de selección recurrente utilizado actualmente para el programa de Entomología de Frijol del CIAT para mejorar por resistencia al Empoasca kraemeri.

Generación	Procedimiento en los Materiales
	CICLO I
Padres	Se realizan cruzas entre variedades, accesiones y líneas de frijol que previamente evaluadas muestran resistencia al Empoasca.
F1	Los híbridos se siembran bajo condiciones de protección en el campo para obtener buena calidad y cantidad de semilla.
F2	Se toman compuestos masales de la semilla F2 para cada cruza y con un número de 600 semillas en presencia de testigo resistente y susceptible, se siembran en el campo bajo infestación natural del saltahoja. Al cosechar se eliminan las poblaciones F2 que visualmente sean inferiores al testigo resistente en términos de vigor y rendimiento. De las poblaciones seleccionadas, se cosecha una vaina por planta (aproximadamente 3 semillas), resultando un masal de vainas de aproximadamente 1500 semillas por cruza.
F3	Masales y testigos se llevan a un ensayo de rendimiento en el campo con infestación natural del Empoasca utilizando un diseño con dos repeticiones y cuatro surcos por parcela. Se cosechan los surcos centrales para cálculos de rendimiento. Se seleccionan los masales F3 con rendimiento mayor o igual a los testigos.
F4	El masal de los F3 proveniente del ensayo de rendimiento, se siembra en el campo bajo infestación natural de Empoasca. Se realizan selecciones individuales en plantas F4 dentro de cada población (o masal) seleccionando las de mejor carga al momento de la cosecha.
F5	Las selecciones individuales se llevan a un ensayo de pruebas de progenie (1 ó 2 surcos según la cantidad de semilla) con libre exposición al insecto. Se realizan selecciones entre familias de la misma cruza de las que tengan mejor rendimiento y se constituye un masal de las familias seleccionadas.
F6	Las familias seleccionadas se llevan a un ensayo de rendimiento, utilizando un diseño con parcelas divididas, con y sin protección de insecticidas. Parámetros como rendimiento en Kg/ha en los tratamientos protegido y no protegido y el porcentaje de reducción de rendimiento entre los tratamientos son utilizados para seleccionar las mejores familias resistentes.

CICLO II

Padres	Las mejores familias del ciclo I se utilizan como padres en el segundo ciclo de selección recurrente.

EL CONTROL QUIMICO DE PLAGAS DE FRIJOL

Guy Hallman

El control químico es tal vez el más usado y, por seguro, el más controvertido método de control de plagas de plantas cultivadas. A pesar de los problemas de resistencia de insectos a insecticidas, resurgimiento rápido de niveles de poblaciones de plagas y envenenamiento del hombre, sus animales y el medio ambiente, el control químico seguirá siendo importante en el futuro próximo porque en general sirve, es rápido, fácil y económico. Sinembargo, es necesario saber manejar estos plaguicidas para que sigan siendo rentables y para minimizar los efectos desfavorables que tienen.

Los insecticidas son venenos, siendo un veneno una química que perturba adversamente al homeóstasis del organismo. Aunque son dirigidos a las plagas, sus propiedades tóxicas afectan a otros organismos como insectos benéficos, aves, peces, plantas y mamíferos incluyendo al hombre.

Medidas de Toxicidad

Hay varias formas de expresar la toxicidad de químicos:

DL 50 (aguda) - "Dosis letal" que mata el 50% de la población en cierto tiempo, usualmente 24 horas.

DL 50 (crónica) - "Dosis continua" que mata el 50% de la población en un tiempo dado (ej. dosis diaria que mata el 50% en un mes).

TL 50 - "Tiempo letal" - tiempo necesario para matar 50% de la población con cierta dosis.

CL 50 - "Concentración letal" - concentración (en aire, agua, etc.) que mata el 50% de la población.

DE 50 - "Dosis efectiva" - dosis que da el efecto deseado al 50% de población (ej. dosis para paralizar, esterilizar, etc.).

La dosis o concentración se expresa usualmente en "50% por ser el promedio; se puede expresar en otras formas (ej. DL 90 = dosis que mata el 90%, para estimar dosis de aplicación para control de plagas en el campo). Usualmente no se habla de la dosis que mata el 100% de la población, porque siempre hay unos pocos individuos que teóricamente no mueren, no importa la dosis. Según el análisis de Probit, que se usa para calcular la dosis, nunca se llega al 100% de mortalidad.

La DL 50 es uno de los datos que se presenta en la etiqueta de los productos químicos. Es una estimación de su peligro para el hombre. Por ejemplo, Temik (DL50 oral para ratas = 0.5-1) es uno de los insecticidas más peligrosos para el hombre. Metoxyclor (DL50 oral = 6000) es bastante seguro. La dosis se expresa en "partes por millón" (ppm) que es "miligramos por kilogramo". Es decir, si usted pesa 60 kilos, sufriría el 50% de posibilidad de morir al ingerir entre 30-60 miligramos de Temik. (El tamaño de 1-2 granos de arroz). En cambio, tendría que comer 360 gramos de Metoxyclor para correr la misma suerte.

Organismos de la misma especie varían en su susceptibilidad a los venenos. Se ha encontrado que la relación entre la dosis y el porcentaje de mortalidad es sigmoideo (Figura 1, arriba). La conversión el probit hace la relación recta, lo cual facilita el análisis de los datos de mortandad (Figura 1, abajo).

Es por eso que se establecen niveles muy bajos de residuos de plaguicidas en alimentos, porque algunas pocas personas, según la teoría de Probit, son extremadamente susceptibles a los plaguicidas.

La resistencia de las plagas a los plaguicidas ha sido el punto más vulnerable del uso exclusivo de estos en el control de insectos. Más de 430 especies de plagas son resistentes a, por lo menos, un insecticida, y la lista crece cada año. Entre la lista se encuentran muchas de las plagas más importantes del mundo.

La resistencia de plagas es una evolución lógica a la selección aplicada por los plaguicidas para los individuos menos susceptibles. Si hay variación en nivel de susceptibilidad a venenos, probado por su comportamiento sigmoideo, el uso de plaguicidas seleccionaría a los individuos menos susceptibles. Ellos contribuyen a las futuras generaciones y pronto toda la población es resistente.

Esta resistencia puede ocurrir por varios medios:

1. Reducción de absorción del veneno

2. Aumento en detoxificación

3. Cambio en el sitio de acción del veneno

4. Cambio en el comportamiento de la plaga

Hay que recordar que en toda población que podría volverse resistente ya existen algunos individuos con uno o más de los poderes mencionados arriba; con el uso de insecticidas, su frecuencia en la población aumenta a través de las generaciones. Si estos individuos no existen la población no se volverá resistente.

Para los plaguicidas que poseen un solo modo de toxificación (casi todos), la resistencia es casi inevitable. Se ha observado que los más altos niveles de resistencia ocurren con los insecticidas más difíciles de metabolizar, como DDT. Resistencia en estos casos usualmente comprende un cambio en el sitio de acción del veneno. También en las poblaciones mas heterogéneas (de poca pendiente en el análisis de probit) se vuelven resistentes más rápidamente que las poblaciones de más pendiente (Fig. 1).

Por eso, para preservar la utilidad de los insecticidas actualmente disponibles y demorar la evolución de resistencia a éstos, es preciso usarlos lo menos posible. Esto está perfectamente de acuerdo con la filosofía del control integrado basado en umbrales económicos (Ver Gálvez et al, 1977). (Cuadro 1).

Los umbrales pueden variar según las circunstancias y experiencias. Su uso reducirá la cantidad de insecticidas aplicados al frijol, el uso excesivo de plaguicidas es un gran problema en frijol como en muchos

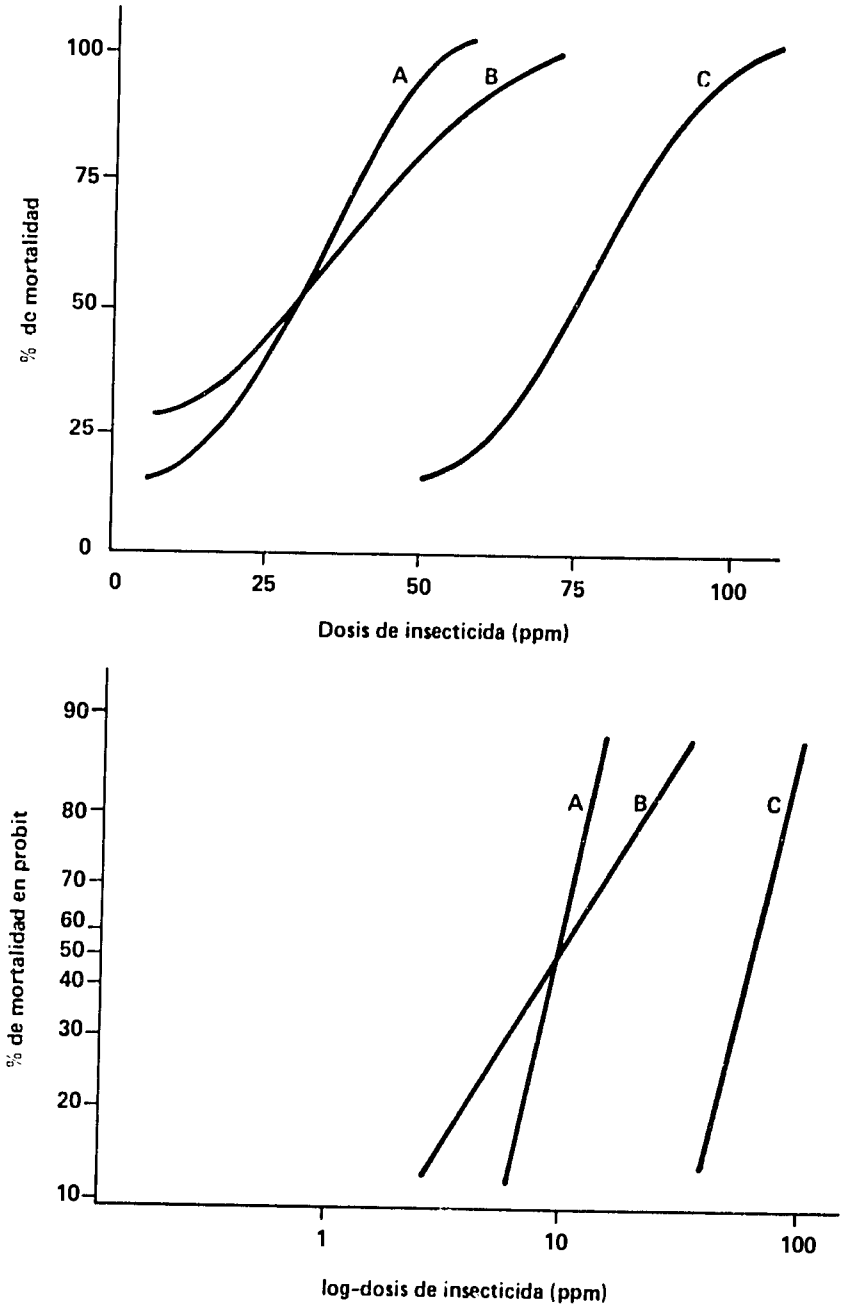


Figura 1. (arriba) La relación entre dosis y porcentaje de mortalidad. (abajo) La misma expresada en log-dosis vs. probit. Población A es más susceptible que C y su DL_{50} es igual que la de B. Pobl. B es más heterogéneo que A y C; existe mayor posibilidad de aumentar resistencia en B.

Cuadro 1. Artrópodos Plagas de Frijol en América Latina

Nombres [1]	Daño	Cuando y donde es un problema	Umbral económico
Trozadores: Agrotis ipsilon, Spodoptera frugiperda (Lepidoptera: Noctuidae)	Cortar plántulas	A. Ipsilon + 1.300 m S. frugiperda - 1500 m	Tipo I:10% ? plantas cortadas Tipo II + III 20% ?
Grillo: Gryllus assimilis Orthoptera: Gryllidae)	Cortar peciolos	Escasamente	Tipo I:10%? plantas cortadas Tipo II + III 20% ?
Chiza: Phyllophaga spp. (Coleoptera: Scarabaeidae)	Raíz de plántula	Después de gramíneas	(prevención)
Elasmopalpus lignosellus (Lepidoptera: Pyralidae)	Raíz y tallo de plántula	Después de gramíneas	(prevención)
Crisomelidos: Diabrotica, Ceratoma, Maecolaspis (Coleoptera: Crisomelidae)	Defoliadores. Transmiten viruses. Larvas: raíz, nódulos	General	4 por planta durante V2, V3 o R6. Continúa...
Epilachna varivestis (Coleo: Coccinelidae) Babosas (Stylommatophora)	Defoliadores - larva y adulto Defoliadores	México, Centro América Centro América	15% de defoliación? 15% de defol.? (con cebo)
Defoliadores lepidopteros:	Defoliadores, pueden comer vainas tiernas.		
Pega-Pega: Hedylepta indicata (Lep: Pyralidae) Gusano fósforo: Urbanus proteus (Lep: Hesperiidae)		Abuso de plaguicidas	(no incluye H. indicata 1 larva por 6-8

Continua...

Continuación Cuadro 1.

Nombres [1]	Daño	Cuando y donde es el problema	Umbral económico
Gusano Peludo: Estigmene acrea (Lep: Arctiidae)	Defoliadores, pueden comer vainas tiernas	Abuso de plaguicidas	(no incluye H. indicata) 1 larva por 6-8
Falsos medidores: Pseudoplusia includens, (R), Autoplusia egena (Lep: Noctuidae)	Defoliadores, pueden comer vainas tiernas	Abuso de plaguidicas	(no incluye H. indicata)
Agromyza, (R) Liriomyza spp. (R)	Defoliadores (minadores)	Abuso de plaguicidas	15% de defoliación?
Lorito verde: Empoasca spp. (R) (Homoptera: Cicadellidae)	Chupador de hojas	E. kraemeri: hasta 1300 m.	1-2 ninfas por trifolio
Mosca blanca: Bemisia tabaci Trialeurodes vaporariorum (Homoptera: Aleyrodidae)	Chupadores, B. tabacci transmite mosaico dorado	B. tabacci hasta 1000 m.	?
		T. vaporariorum + 1000 m.	?
Araña roja: Tetranychus spp. (R) (Acarina: Tetranuchidae)	Chupador	Sequía, abuso de plaguicidas, hasta 1.500 m.	?
Acaro blanco: Polyphagotarsonemus latus (Acarina: Tarsonemidae)	Chupador	Hasta 1.500 m.	?
Heliothis zea y virescens (Lep: Noctuidae)	Vainas, flores	Abuso de plaguicidas	10 larvas por metro cuadrado? durante R5-R8.
Apion spp. (Coleo: Curculionidae)	Vainas	México hasta Nicaragua	6 adultos por metro cuadrado? durante R7
Chinches de las vainas: Acosternum marginatus Piezodorus guildinii Euschistus spp. (Hemiptera: Pentatomidae)	Vainas	Hasta 1500	2 chinches grandes por metro cuadrado durante R7-9.

[1] (R) significa resistente a muchos plaguicidas. Control con piretroides sintéticos menos Tetranychus.

cultivos. A la vez, hay muchas ocasiones en donde los insecticidas ayudarían a la producción y no son utilizados.

Hay que tener mucho cuidado con las aplicaciones de plaguicidas al frijol, porque es consumido directamente por el hombre y el corto ciclo vegetativo causa que a menudo el frijol esté fumigado pocos días antes de la cosecha. Es más crítico en habichuela u hojas consumidas por el hombre (claro que el mismo problema es más grave para muchas verduras).

Clases de insecticidas

Los insecticidas se dividen en diferentes grupos químicos. Los más antiguos, como arsenicales y botánicos, todavía se usan en algunos casos. Los arsenicales matan al insecto lentamente y son más tóxicos al hombre que al insecto. No se recomiendan para el frijol.

Los botánicos son un grupo muy diversificado de insecticidas derivados de plantas. La Rotenona es cara, muy tóxica para insectos y peces y relativamente seguro para mamíferos. No es residual.

El Piretrum es caro, tóxico a peces, de poca residualidad, seguro para mamíferos y tóxico para muchas especies de plagas. Una desventaja es que muchas veces no mata al insecto, sino que lo paraliza temporalmente.

La nicotina es muy tóxico para mamíferos y en efecto, puede durar unos días después de ser aplicado. También es caro y sirve principalmente para insectos de cuerpo suave, como homópteros, especialmente áfidos.

Existen muchos otros insecticidas botánicos que no han sido estudiados a fondo, es muy posible que haya productos buenos allí.

Los hidrocarburos clorinados son un grupo que se originó con el famoso DDT, tal vez el químico sintético que más efecto ha tenido sobre la ecología.

En general son productos baratos, de larga residualidad y de poca toxicidad aguda para insectos y mamíferos. Las plagas han desarrollado altos niveles de resistencia a estos insecticidas; su uso se está disminuyendo por problemas de resistencia y residualidad.

Los ciclodienos (clorinados aromáticos) son parecidos al último grupo en cuanto a residualidad, resistencia y costo. Son más tóxicos a insectos y mamíferos aunque su acción es más lenta; su uso también se ha disminuido. Ejemplos de ellos son: aldrín, clordano, dieldrín y endrín. Algunos son carcinogénicos y generalmente son menos tóxicos para insectos benéficos que muchos otros grupos, como los dos siguientes.

Los organofosforados son tal vez el grupo de insecticidas más usado en el mundo actual. Son más tóxicos para insectos y mamíferos que los anteriores. (Inclusive, las principales armas de la guerra química pertenecen a este grupo). No son muy residuales; sinembargo, su toxicidad es crónica porque liga permanentemente la enzima colinesterasa. No son tóxicos a peces. Son más tóxicos a adultos de insectos que a sus estados inmaduros, más tóxicos a niños que adultos, más tóxicos a insectos benéficos que a plagas. No son selectivos (matan casi toda clase de insectos).

Hay mucha resistencia a plaguicidas de este grupo, sinembargo, generalmente los niveles no son tan altos como en los clorinados.

Los sistémicos son muy tóxicos a mamíferos por su alta solubilidad en agua. No son muy tóxicos a rumiantes porque los reducen (reemplazan el oxígeno por el hidrógeno).

Los carbamatos, como los organofosforados, ligan la enzima colinesterasa; sinembargo, la unión no es permanente, a pocas horas después del envenenamiento, si el organismo sobrevive, el enlace se rompe. Por eso, los carbamatos son más seguros que los organofosforados para personas que manejan insecticidas con frecuencia. De otra parte, los carbamatos sistémicos son los insecticidas más tóxicos a mamíferos (aldicarb, oxamyl, carbofurán - DL 50's: Ca. 1, 5 y 8-14, respectivamente).

Los carbamatos son más tóxicos a himenópteros y otros benéficos que los organofosforados. Tampoco son selectivos.

Los piretroides sintéticos son el último grupo de plaguicidas liberados en gran escala en la batalla contra las plagas. Su uso ha aumentado rápidamente en los últimos años en ciertos cultivos como el algodón para matar plagas como Heliothis spp. que son resistentes a las demás clases de sintéticos.

Son copias estables de las piretrinas botánicas, y son más tóxicos a insectos que éstos. Aunque son bastante seguros para mamíferos; son tóxicos a peces. También son menos tóxicos a insectos benéficos que los organofosforados y carbamatos. No son tóxicos a ácaros, y se ha observado resurgimiento de estas plagas después de aplicaciones de piretroide.

Aunque son costosos ahora (se espera que su precio baje con el aumento de la competencia en fabricación), se puede usar a ultra-bajo volumen. Esto complica su aplicación porque se necesita una máquina que aplique una aspersión muy fina para buena cobertura. Si se aplica una dosis ultra-bajo volumen con una fumigadora cualquiera de gota grande no se obtendrá la cobertura deseada y la aplicación no funcionará.

Su modo de acción es parecido a la DDT y ya se observa resistencia en algunas plagas. Se piensa que eventualmente altos niveles de resistencia se desarrollarían. Después qué se usaría?

La llamada "tercera generación" de insecticidas que se desarrolla actualmente en los laboratorios y campos experimentales de las compañías agroquímicas incluye una cantidad de productos basados en hormonas de insectos y plantas. Afectan adversamente el desarrollo del insecto. El objetivo es que sean más selectivos; que afecten a las plagas y no a los benéficos ni al hombre, ni a los animales y peces. Muchos gobiernos están restringiendo o prohibiendo muchos plaguicidas tradicionales que son tóxicos o carcinogénicos al hombre o perturban el ambiente.

Hormonas insectiles pueden prevenir el cambio de estado inmaduro a adulto, o causar este cambio prematuramente. Otros interfieren con la muda del insecto. Este último ya se usa en algodón para controlar al picudo Anthonomus grandis.

Unas substancias se aplican a la planta y la vuelve "resistente" a la plaga. Estimulan la producción de sustancias tóxicas al insecto. Son todavía experimentales.

Hay feromonas que interfieren con la copulación de plagas, así no hay producción de huevos fértiles. Estos productos son muy específicos; también se ensayan esterilizantes, repelentes y atrayentes (este último para atrapar a plagas). Muchos de estos productos son preventivos. No sirven para eliminar una infestación ya presente.

Aplicación de Insecticidas

La correcta aplicación de plaguicidas minimiza los problemas de envenenamiento y contaminación y maximiza la eficiencia del producto para controlar la plaga.

Recomendaciones para control usualmente son dados en kilogramos de ingredientes activo (IA) por hectárea. Para no desperdiciar producto y evitar fitotoxicidad u otros problemas es preciso saber como convertir los kg IA/ha a la cantidad necesaria por bomba.

Pero antes de hacer eso, hay que ver que el equipo esté funcionando bien. Límpielo bien con jabón o detergente. Quite las boquillas y filtros para limpiarlos. Verifique la condición de las mangueras y el tanque, buscando fugas. Enjuage todo con agua limpia. Reemplace boquillas y filtros dañados. La boquilla es relativamente barata, y si no está en perfectas condiciones desperdicia el material y no da buena cobertura.

Con el equipo funcionando perfectamente, llénelo con agua. Ponga un frasco sobre la boquilla para que capture toda el agua botada. Empiece a aplicar en forma normal sobre una superficie medida como 50 o 100 m2. Mida la cantidad de agua botada mientras aplicó esta superficie y calcule cuánta aplicaría en una hectárea. Por ejemplo, si bota 210 ml en 50 m2, botaría 42 l en una hectárea (10.000 m2/ha 50 m2) x 210 ml = 42 l/ha. Si la recomendación es para 1 kg de Azodrín 600 por hectárea (Azodrín 600 contiene 600 g de IA por litro) entonces se necesita 1000 ml/600 g/l = 1 2/3 litro de Azodrín 600 por ha para aplicar 1 kg por ha, y (42-1 2/3 = 40 1/3 l de agua (total 42 l de mezcla por ha). Si la capacidad de la bomba es 8 l, se echa (8/42) x 1 2/3 = 0.32 l de Azodrín 600 en la bomba y se llena con (8-0.32) = 7.68 l de agua y se aplica. (Una bombada serviría para (8/42) = 0.19 ha).

Si no es conveniente tapar la salida para medir la cantidad de agua botada en un área conocida (como en el caso de motobombas) se mide una cierta cantidad de agua antes de echarla al tanque. Por ejemplo, si la capacidad del tanque es más o menos 8 l, se miden exactamente 7 l y se los echa al tanque. Después de cubrir el área medida, se mide la cantidad que queda aún en el tanque y se resta para calcular el total de agua botada en el área y se continua con los cálculos descritos anteriormente.

La cantidad de agua botada varía dependiendo de la condición de la bomba y la boquilla, el cultivo y el operador. Por eso, es preciso calcular ésta con frecuencia, especialmente cuando se cambia alguno de los mencionados factores que afectan la cantidad.

Con estos cálculos se puede aplicar la cantidad de producto necesario para lograr buen control y evitar desperdicios. Son esenciales en investigaciones de control químico.

El papel del control químico en el control integrado

El control químico es sólo un actor en el drama del control integrado, aunque muchas veces es el principal. El problema actual es que debe mantenerse como uno del grupo y no dejar que se robe el show.

Los insecticidas varían en su toxicidad a plagas y benéficos. Las plagas usualmente son mejores en la oxidación de toxinas porque les toca detoxificar muchas sustancias que ingieren de sus hospedantes.

Plagas y benéficos son iguales generalmente en su capacidad de hidrolizar toxinas. Por eso, es mejor usar insecticidas que son detoxificados por estearazas por no ser mas selectivos contra beneficios.

Algunos de ellos son profenofos, acefato, metamyl y los piretroides sintéticos. Sulprofos es intermedio. Aunque carbaryl es muy tóxico a himenópteros y coccinélidos, no es tan tóxico para otros depredadores, como Chrysopa. El uso de estos insecticidas podría ayudar al equilibrio entre benéficos y plagas.

Los piretroides sint. cos sirven aún en dosis muy bajas, como 100-200 g IA/ha. Se pensaba que había que aplicar los organofosforados y carbamatos en dosis de 500-2000 g IA/ha para lograr buen control, sinembargo se ha observado que éstos aplicados con los aparatos de ultra-bajo volumen son también efectivos en dosis de 100-200 g IA/ha, si las plagas no son resistentes. Lo crítico es lograr un buen tamaño de goticas uniformes cerca de 70 um para insecticidas (150-300 um para herbicidas). Estas máquinas no son caras (cerca de 7.000 pesos colombianos, US$80.00 en Feb, 1984), son livianos y relativamente sencillos de cuidar y manejar. El mayor gasto son las pilas. Se puede esperar 12-15 horas de uso de pilas de alto poder usadas unas dos horas diarias. Su adaptación por el pequeño agricultor le ahorraría mucho plaguicida con los respectivos beneficios para el ambiente también.

Otra cosa que puede reducir la cantidad de plaguicidas usados son los sinérgicos. Estos son sustancias que cuando son combinados con insecticidas la mezcla es más tóxica para las plagas que la suma de ambos químicos solos. Sirven muchas veces para reducir el nivel de resistencia de plagas porque obstruyen vías de detoxificación. Butocido de piperonilo es un sinergista común y eficaz con piretrinas; sirve algo para piretroides sintéticos. El jabón es un sinérgico para nicotina. Clordimeform actúa como sinérgico para varios organofosforados y los herbicidas carbamatos son sinérgicos para los insecticidas del mismo grupo.

El 0.1% del insecticida aplicado mata al insecto. El resto se pierde en el ambiente o es detoxificado por el sol, insectos o microorganismos. Si se pudiera poner el plaguicida donde hace su efecto, se podría usar poquito producto y evitar mucha contaminación. Aunque no se espera llegar al mínimo del 0.1% de producto aplicado, para realizar buen control, hay muchísimo campo para mejorar. Con sinérgicos, productos específicos y estables y buena tecnología de aplicación se puede bajar la cantidad de plaguicida aplicada.

Hay aparatos experimentales que cargan las goticas de insecticida con una carga negativa. De esta manera son atraídos por las plantas y se pierde poco en las corrientes de aire. Otros diseños prometen goticas más uniformes y óptimos en tamaño. La tecnología de control químico en avance trata de solucionar sus problemas y busca un futuro más promisorio para ellos mismos, por supuesto, y también para el agricultor y el consumidor.

Referencia:

Gálvez, G.E., J.J. Galindo y G. Alvarez. 1977. Defoliación artificial para estimar pérdidas por daños foliares en frijol (Phaseolus vulgaris L.), Turrialba 27: 143-146.

PLAGAS QUE ATACAN LA PLANTULA

Aart van Schoonhoven

Delia platura (Rondani) (Díptera: Anthomyidae)
Gusano de la semilla

Esta larva ataca la semilla del frijol en germinación; se han presentado ataques severos en México, Chile y ocasionalmente en países en los que las estaciones ejercen cierta influencia. Otros nombres comunes usados son: mosca de la semilla y mosca de la raíz; en inglés corresponde a "seed corn maggot". El adulto es muy parecido a la mosca casera (Fig. 1); vuelan en masas y permanecen suspendidos en el aire sin desplazarse. Los suelos recién labrados y con alto contenido de materia orgánica atraen a las hembras que ovipositan en el suelo, cerca de las semillas, o en la plántula. Las larvas son de color blanco o crema, ápodas y de integumento bastante resistente (Fig. 2); al eclosionar se alimentan de la semilla o de las plántulas. La semilla atacada por la larva generalmente no emerge, y si lo hace la plántula que resulta es muy débil. En ocasiones las larvas barrenan el tallo de la plántula.

El daño es más severo durante los períodos húmedos y fríos, ya que estas condiciones no sólo facilitan el desarrollo de las larvas sino que favorecen una germinación muy lenta. En regiones con influencia de las estaciones, las siembras tempranas traen como consecuencia una mayor duración del ataque.

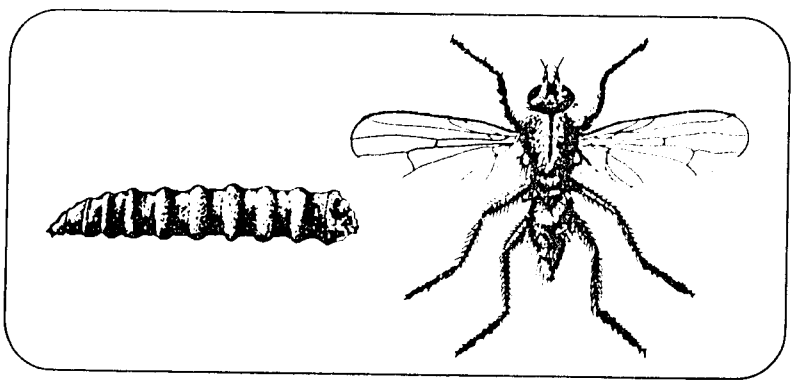


Figura 1. Larva y adulto de *Delia* sp. (De Ill. Natural History surv.).

Control

Dado que la semilla de frijol está sujeta al daño por Delia durante pocos días, desde la imbibición hasta la emergencia, se puede reducir el riesgo del ataque disminuyendo el tiempo que la semilla permanecerá como tal en el suelo. Ruppel (16) recomienda utilizar semilla limpia y buena de una variedad vigorosa, sembrar en suelo húmedo y caliente y hacerlo en forma cuidadosa para asegurar una germinación completa y rápida. Es importante cubrir bien la semilla sembrada. Donde hay historia del problema se recomienda tratar la semilla con 15 g IA de Aldrín, Dieldrín o Carbofurán por 100 kg de semilla.

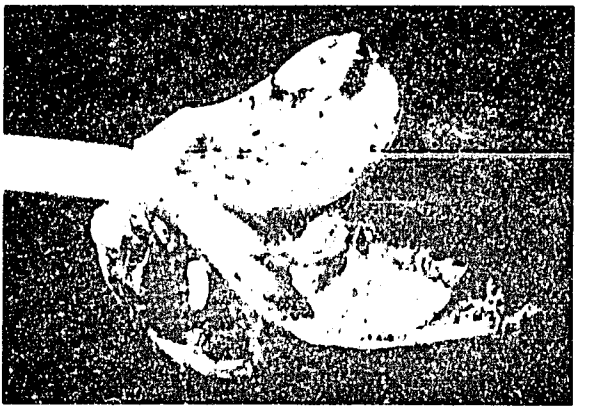


Figura 2. *Delia platura.*

Gryllus spp (Orthoptera: Grillydae)
Grillo

Varios insectos y otros artrópodos pueden atacar en forma esporádica el cultivo del frijol durante la germinación de las plantas o inmediatamente después. Dentro de este grupo la principal especie es G. assimilis, conocida con el nombre de grillo y en inglés como cricket. Son plagas de aparición errática y por lo general imprevisibles que sólo en ocasiones especiales pueden causar daños serios. El daño se caracteriza por el corte de la plántula a nivel de las hojas cotiledonares (Fig. 3). El enmalezamiento previo de los lotes y la alta humedad son factores que favorecen su presencia.

Control

Su aparición como plaga puede prevenirse con una buena preparación del suelo. Si aparece después de la siembra, se recomienda usar el siguiente cebo: 30 gr IA de Carbaryl mezclado con 1 kg de salvado más 0.4 lt de agua con melaza. Se aplica en los sectores afectados.

Phyllophaga spp. (Coleóptera: Scarabaeidae)
Chiza

Esta especie causa problemas al frijol cultivado, principalmente en suelos sembrados anteriormente en pastos. Se les denomina Chiza, mojojoy, mayate o gallina ciega. Ataca en su fase larval; tiene hábitos subterráneos ocasionando daños a la raíz de la plántula y causando su muerte (Fig. 4).

Control

Como control cultural se recomienda la buena preparación del terreno antes de la siembra. Un buen control químico preventivo es el tratamiento de la semilla con 15 gr. de IA de Aldrín, Dieldrín o Carbofurán para 100 kg de semilla. Donde hay historia del problema se recomienda incorporar al suelo antes de la siembra 2 kg de IA/ha de dichos productos.

Figura 3. Daño causado por *Gryllus* sp.

Figura 4. Larvas de *Phyllophaga* sp.

Elasmopalpus lignosellus (Zeller) (Lepidóptera: Pyralidae)
Barrenador del tallo

El barrenador del tallo ataca la raíz y el tallo de la plántula de frijol y se ha constituído en una plaga grave en ciertas áreas del Perú y Brasil. También ataca otros cultivos como el maíz, el algodón, la caña de azúcar y el tabaco. Otros nombres que recibe este insecto son elasmo, lagarta elasmo y coralillo; y en inglés "lesser corn stalk borer". El adulto es una polilla y oviposita individualmente sobre las hojas, tallo o en el suelo. La larva es de color café o gris, penetra en el tallo justo debajo de la superficie del suelo, barrena hacia arriba dentro de la planta y causa su muerte (Fig. 5). Es característica la cámara pupal que forma el barrenador de consistencia pegajosa y recubierta por partículas de tierra, la cual se encuentra adherida a la parte exterior del tallo y está conectada directamente a la perforación ocasionada por la salida de la larva del mismo.

Figura 5. *Elasmopalpus lignosellus.*

Control

El control de esta plaga es difícil. Se recomienda una buena preparación del suelo, especialmente si el cultivo exterior ha sido una gramínea. Donde hay historia del problema se recomienda incorporar 2 kg IA/ha de Aldrín, Dieldrín o Carbaryl al suelo antes de la siembra. Un buen control se logra con riegos abundantes o manteniendo los campos libres de cultivos por períodos prolongados. Leuck y Dupree (12) observaron parasitismo en huevos y larvas de E. lignosellus por especies de las familias Tachinidae, Braconidae e Ichneumonidae en frijol caupí.

Vaginulus plebejus; V. occidentalis
Babosas

Las babosas vienen aumentando en importancia como plaga de la plántula y del follaje del frijol en América Central; Honduras ha reportado severos ataques e igualmente El Salvador. Reciben también el nombre de lesmas, ligosas y en inglés "slugs". Las babosas no son insectos, son moluscos de cuerpo suave y húmedo que pueden medir hasta 10 cm. Son hermafroditas y depositan sus huevos en masas, debajo de los residuos vegetales o en las cuarteaduras del suelo. Alcanzan la madurez aproximadamente en tres meses; tienen hábitos nocturnos, pero pueden ser activas en días húmedos y nublados (19). Las babosas jóvenes consumen las hojas, a excepción de las nervaduras; las babosas mas viejas consumen totalmente las hojas, y pueden consumir plántulas completas y dañar las vainas. Aunque la mayor parte del daño causado por las babosas se encuentra en los bordes del cultivo, éstas pueden penetrar cuando la vegetación y los residuos les proporciona protección a sus movimientos durante el día.

Control

Las prácticas de control incluyen la remoción de malezas en el campo y a su alrededor y la destrucción de los residuos de la cosecha. Rodríguez (14) recomienda, como método económico, encerrar la plantación con bandas de cal viva o sal durante la época seca. Los cebos tóxicos a base de Metaldehído o Metalkamate y, también la aplicación del insecticida granulado Mefosfolán, al voleo, proporciona un buen control.

Agrotis sp. Spodoptera sp Acrolophus sp.

Un grupo de insectos que atacan la plántula del frijol es el de los denominados tierreros. Convencionalmente se denominan así las larvas de lepidópteros que trozan la planta al nivel del suelo o por debajo del mismo (Fig. 6).

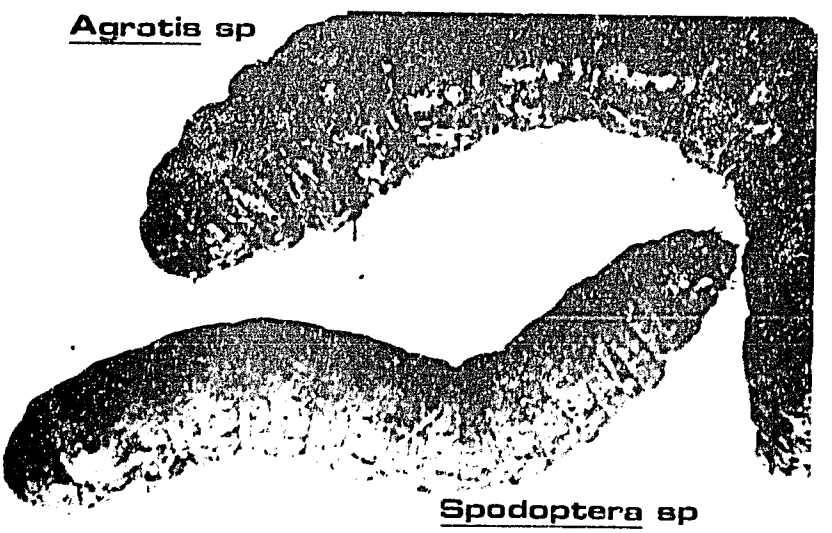


Figura 6. Larvas de *Agrotis* spp. y *Spodoptera* spp.

Otros nombres de uso frecuente son cortadores, trozadores, nocheros, rosquillas, lagarta militar y lagarta rosca. Son larvas de color café o gris; se pueden encontrar dentro del suelo escarbando al lado de la base de las plántulas, a pocos centímetros de profundidad. Son insectos nocturnos que realizan sus ataques en forma subterránea. Al contacto con la mano o algún elemento extraño se enroscan, derivando de este comportamiento su nombre.

Las larvas se alimentan del hipocótilo de la plántula (Fig. 7); puede dañar también los cotiledones y consumir las hojas cotiledonares en su estado embrionario. En plantas más desarrolladas la larva roe el tallo apareciendo estrangulamientos característicos que llevan la planta a la marchitez; este daño se puede confundir con una infección de la raíz.

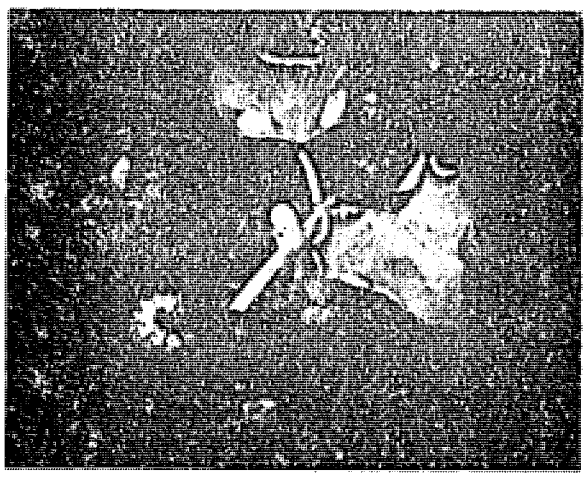


Figura 7. Larva y daño de un tierrero.

Control

Los ataques ocurren con frecuencia en focos bien definidos y las plantas aparecen trozadas una después de otra; en tales casos se puede limitar el uso del cebo tóxico a las áreas afectadas, aplicandolo al atardecer. Por ser plagas de aparición errática es difícil recomendar un control preventivo además de la buena preaparación del terreno; donde hay historia del problema se recomienda incorporar 2 kg IA/ha de Aldrín, Dieldrín o Carbaryl al suelo antes de la siembra.

PLAGAS QUE ATACAN EL FOLLAJE

Aart van Schoonhoven
César Cardona

Crisomélidos

Muchas especies de crisomélidos atacan el cultivo del frijol en América Latina. El denominado "complejo Chrysomelidae" descrito por Rupel e Idrobo (15) hace referencia a 36 especies, destacando como los géneros más frecuentes el Diabrótica y el Cerotoma; entre éstos las especies D. Balteata y C. facialis son las de mayor importancia al constituirse ocasionalmente en plagas del frijol. Otros géneros de este complejo son el Epitrix, Chalepus, Colaspis, Maecolaspis y Systena.

Los crisomélidos atacan gran diversidad de plantas cultivadas como el algodón, maíz, soya, sorgo, caupí, maní, muchas leguminosas forrajeras y malezas. Se les denomina también como cucarroncitos de las hojas, diabróticas, doradillas, tortuguillas, vaquitas, vaguinhas y en inglés leaf beetlees.

La hembra inicia su postura entre la primera y segunda semana, individualmente o en masas, en las cuarteaduras del suelo o debajo de residuos vegetales y puede poner más de 800 huevos. D. Balteata prefiere ovipositar en la base de las plantas de maíz, en tanto las larvas de C. facialis se desarrollan mejor en las raíces del frijol.

El ciclo biológico fluctúa entre 22 y 33 días para las dos especies; la fase adulta puede variar entre 60 y 70 días y generalmente la relación de sexos es de 1 a 1. Los estados inmaduros de estas dos especies ocurren en el suelo y su morfología es bastante semejante, por lo que se requiere una observación cuidadosa para diferenciarlas tanto entre sí como de otras larvas de insectos que también se desarrollan en el suelo y pueden atacar el frijol; las larvas de Diabrótica a simple vista son similares a las de lepidópteros. En su estado adulto estos crisomélidos se diferencian claramente; permanecen en el follaje del cual se alimentan.

Los adultos de D. balteata son cucarroncitos pequeños (Fig. 1), con longitud aproximada de 5 mm, muy móviles, de color verde con manchas amarillas en los élitros; las antenas son filiformes. Las condiciones ambientales y alimenticias ocasionan variaciones fenotípicas.

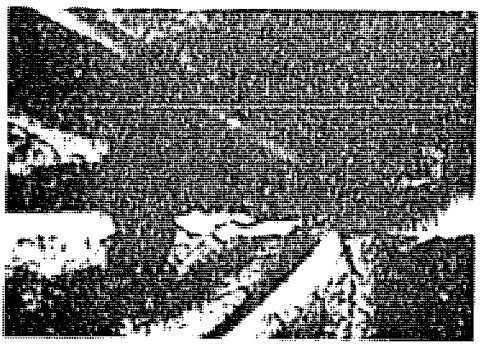


Figura 1. *Cerotoma* **sp. y** *Diabrotica* **sp.**

Los adultos de C. facialis poseen élitros de color ámbar con manchas negras bien definidas (Fig. 1). La cabeza, el tórax y el abdomen son negros y las patas de color amarillo ámbar, excepto la parte distal del fémur de las patas traseras que es negra; esta característica permite diferenciar esta especie de otras del género cerotoma, en las cuales el fémur en su totalidad es de color ámbar. El macho se puede diferenciar de la hembra porque tiene una estructura en forma de pinza entre el tercer y cuarto segmento de las antenas.

La intensidad del daño ocasionado al cultivo de frijol por los crisomélidos varía según la etapa del cultivo en que se presente el ataque, así como pueden presentarse diferentes tipos de daño según el estado en que ataque el insecto. Las larvas dañan las raíces y las plántulas, en tanto que los adultos consumen el follaje y actúan como vectores de virus. Los daños más severos ocurren durante el estado de plántula, cuando el insecto consume un porcentaje relativamente alto del follaje (Fig. 2). En trabajos realizados para evaluar la importancia económica del daño causado por adultos, se afectó significativamente la producción cuando la infestación fue de 2 a 4 adultos por planta en la primera semana de edad del cultivo ó en la floración; en otras etapas las plantas se recuperaron. El daño a la lámina foliar se reconoce por la forma circular de las porciones consumidas, dando una apariencia de agujeros en las hojas (Fig.2). Algunas veces los adultos se alimentan de vainas jóvenes.

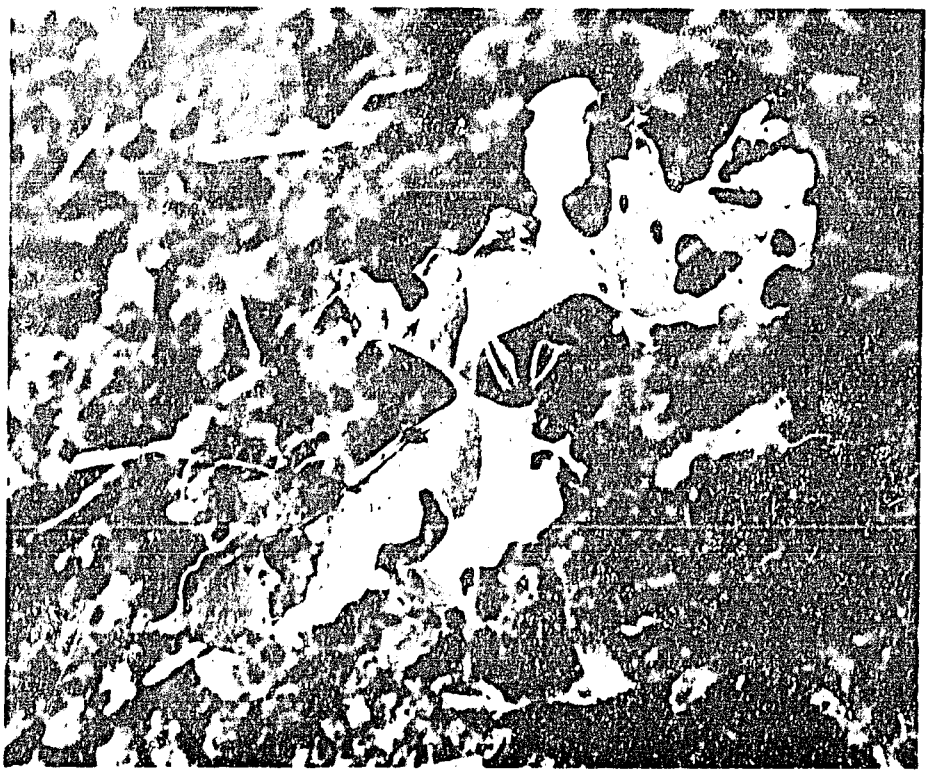


Figura 2. Daño de Crisomélidos.

Cuando el ataque se presenta con los crisomélidos en estado de larva, la planta de frijol se marchita pues el daño sucede en el sistema radicular; también pueden atacar la semilla en germinación ocasionando deformación y perforaciones en las hojas primarias al dañar el embrión. Pocas veces se atribuye este daño a dichas larvas y sí a la calidad de la semilla o al ataque del adulto. Las larvas también pueden barrenar el tallo de las plántulas en forma ascendente, desde la raíz hasta el primer nudo causando su muerte.

Entre los virus más importantes que pueden ser transmitidos por los crisomélidos está el virus del mosaico rugoso (BRMV), enfermedad localizada en algunas zonas de América Latina. Otros virus transmitidos son: el virus del moteado amarillo (BYSV); el virus del moteado de las vainas (BPMV); el virus del enanismo rizado del frijol (BCDMV) y el virus del mosaico suave del frijol (BMMV). La importancia de estas enfermedades varía de una región a otra. El nivel de daño económico de los crisomélidos al actuar como vectores de virus no ha sido establecido.

Control

Las evaluaciones sobre resistencia genética de la planta de frijol al ataque de los crisomélidos no han resultado positivas como para considerar el control genético una alternativa efectiva para reducir el ataque de estos insectos, que han mostrado no tener preferencias específicas por hábito de crecimiento, color de semilla u otras características.

Hasta el momento la alternativa de control biológico a los crisomélidos no ha sido eficiente. Aunque existe información de parasitismo de adultos por parte de algunas moscas de la familia Tachinidae y de la acción depredadora de la familia Reduviidae, su efecto es reducido sobre las poblaciones.

La rotación de cultivos no es una medida eficaz de control debido a que estos insectos son polígafos y se alimentan de un gran número de plantas cultivadas. Una práctica efectiva es la buena preparación del suelo, pues ayuda a destruir los crisomélidos que se encuentran en los estados inmaduros. En zonas donde se presentan problemas de enfermedades virales se recomienda la destrucción cuidadosa de las malezas hospedantes de dichos virus, para reducir la posibilidad de su transmisión al frijol. Se ha observado una tendencia a que las poblaciones de crisomélidos sean menores en épocas secas y cálidas; sin embargo, los picos de población pueden variar de un año para otro, lo cual dificulta recomendar la fecha de siembra como medida de control.

La aplicación del control químico se justifica cuando el ataque al cultivo se presenta durante la primera semana después de la siembra o en la floración y cuando se detecten poblaciones de 4 adultos por planta; generalmente las poblaciones de campo de estos insectos fluctúan entre 0.6 - 1.0 adultos/ planta, inferior al nivel crítico de control, y por eso se recomienda que en las áreas donde los adultos no sean vectores de virus rara vez se justifica la práctica común de usar aspersiones contra estos insectos, según Cardona et al (1982).

Donde hay historia de problemas por crisomélidos, es conveniente incorporar 1 kg IA/ha de Carbofurán al suelo antes de la siembra para prevenir el daño por larvas. Cuando se hace necesario el control de adultos, aplicar 1 kg/ha de Carbaryl, Triclorfón o Progenofos al follaje.

Empoasca kraemeri (Homóptera: Cicacidellidae)
Lorito verde

El lorito verde es la plaga más importante en América Latina, aun cuando se han encontrado 33 especies del género Empoasca atacando el frijol. El lorito verde se encuentra desde La Florida y Norte de México hasta Perú y Brasil. Dado que esta plaga no se encuentra en la zona templada de Norteamérica es dudoso que se encuentre en la zona templada de Suramérica (10). Otros nombres vulgares que recibe son: empoasca, chicharrita, saltahojas, cigarra y cigarrinha verde (en inglés "leafhoppers"). Su ataque alcanza rápidamente el nivel de daño económico, con poblaciones relativamente bajas. Como consecuencia de su ataque resultan afectadas entre otros, tres de los principales componentes del rendimiento (Cuadro 1), siendo drástica la disminución de la producción. En condiciones de alta temperatura y sequía, su población aumenta considerablemente y puede causar la pérdida total de la cosecha.

Cuadro 1. Efecto del ataque de Empoasca kraemeri en algunos componentes principales del rendimiento en una variedad susceptible (Diacol-Calima)

Parámetro	Con Protección Química	Sin Protección Química	% de Reducción
Número vainas/planta	12,5	8,3	33,6
Número semillas/vaina	2,6	2,3	11,5
Peso de 100 semillas (gr)	40,0	25,7	35,7
Rendimiento (kg/ha)	1.121,6	477,1	57,4

El adulto (Fig. 3) es pequeño, de aproximadamente 3 mm de longitud, de color verde con manchas blancas características en la cabeza y en la parte anterior al tórax; las ninfas se asemejan a los adultos pero carecen de alas (Fig. 4). Los huevos son insertados dentro de la hoja; son translúcidos, muy pequeños y sólo pueden ser vistos mediante la técnica de clareamiento de tejidos. El tiempo total desde huevo hasta la transformación a adulto es de 18 días; el período de preoviposición de las hembras es de 5 días, aproximadamente y ovipositan un promedio de 107 huevos, lo cual indica que ésta es una especie de alta fecundidad. El rango de longevidad de los adultos, según De Wilde et al (23) es de 14 a 86 días.

Las ninfas y adultos se alimentan por el envés de las hojas, chupando la savia del floema. Los adultos pueden atacar las plántulas tan pronto emergen. El primer síntoma que se observa por el daño del lorito es un curvamiento de los márgenes de las hojas hacia abajo (Fig. 5). Al aumentar el daño el curvamiento se hace más pronunciado, acompañado de un amarillamiento en los bordes de las hojas.

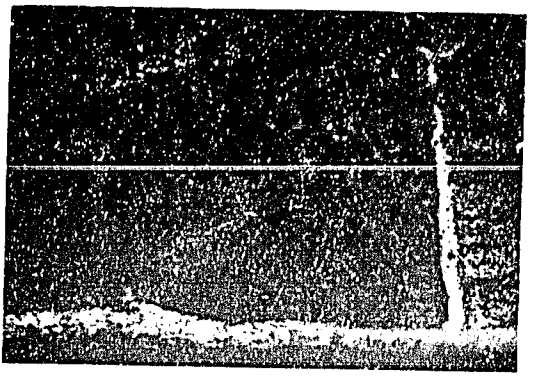


Figura 4. *Empoasca kraemeri* (ninfa).

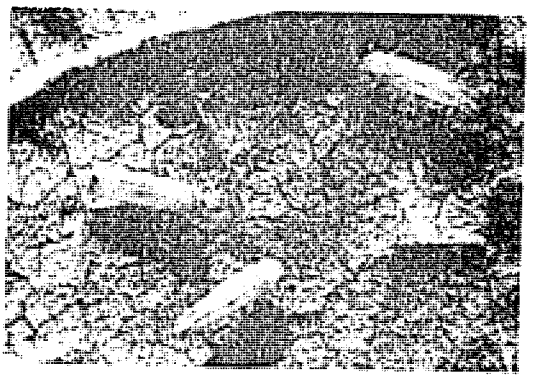


Figura 3. *Empoasca kraemeri* (adultos).

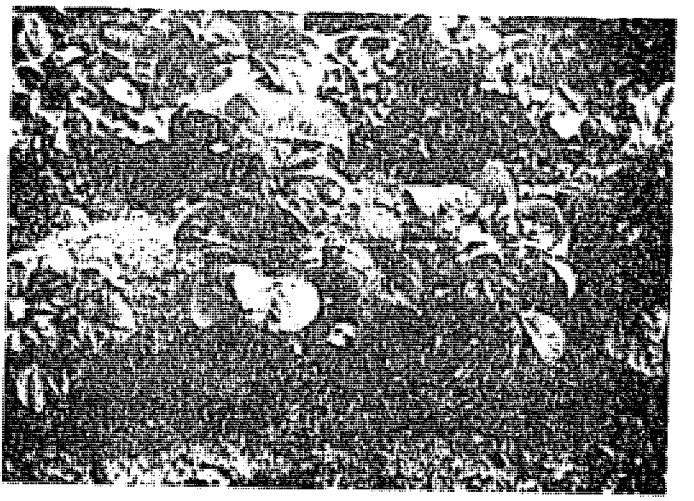


Figura 5. Daño de *Empoasca* sp.

La necrosis sigue al amarillamiento; la planta presenta enanismo y un aspecto general achaparrado, caída prematura de las hojas y produce pocas vainas de semillas pequeñas.

Se ha considerado que la fase más susceptible al ataque del lorito verde es la floración seguida del llenado de las vainas. No se sabe aún si E. kraemeri inyecta alguna toxina a la planta o si el daño es causado por interferencia de la translocación de materiales. Hasta el momento no se ha encontrado que el lorito sea vector de ningún patógeno de tipo viral que sea responsable por los síntomas que produce el daño (20). Los niveles de daño económico en una variedad susceptible se han establecido entre dos a tres ninfas por hoja. Es conveniente aclarar que tanto los niveles de daño como las épocas críticas de control dependen de las condiciones ambientales y del estado agronómico del cultivo.

Control

Las medidas de control incluyen: siembra durante las épocas húmedas, uso de coberturas del suelo, siembra de cultivos asociados y utilización de variedades resistentes. La rotación de cultivos no ha sido una práctica eficiente debido a la gran variedad de hospedantes que tiene el insecto y a su capacidad de migración. Así mismo el control biológico no parece ser muy efectivo en el caso de ataque; aunque Anagrus sp. alcanza niveles de parasitismo de huevos de hasta 60-80% en el campo, esto no es suficiente para mantener la población de E. kraemeri por debajo del nivel de daño económico. Para el control químico se pueden usar productos como el monocrotofos, 0.5 kg IA/HA, Carbaril 1 kg IA/HA aplicados al follaje cuando hay 2-3 ninfas por trifolio. También el carbofurán producto granulado, en dosis de 1 kg IA/HA al momento de la siembra.

En altitudes inferiores a 1200 msnm, E. kraemeri generalmente se presenta como un problema a ser controlado; las lluvias, por su efecto mecánico, disminuyen sensiblemente las poblaciones de este insecto. Con respecto a control genético, el CIAT ha evaluado hasta el momento mas de 13.000 introducciones en la búsqueda de resistencia varietal. Aparentemente el mecanismo de resistencia al lorito es el de tolerancia, o sea la capacidad de la planta para soportar una población alta del insecto sin resultar muy afectada por su daño. Se ha encontrado también que la resistencia del frijol a E. kraemeri es aditiva (7). Hasta el momento no se han encontrado niveles altos de resistencia de P. vulgaris a este insecto. El método de fitomejoramiento utilizado por CIAT conlleva la selección parental basada en el rendimiento, con y sin ataque del insecto. El daño foliar y los conteos de insectos también son tenidos en cuenta para la selección del material (20).

Epilachna varivestis Mulsant. (Coleóptera: Coccinellidae)
Conchuela del frijol

La conchuela del frijol produce graves daños en este cultivo en México, Guatemala y El Salvador, especialmente al finalizar la época de lluvias. Es interesante señalar que Epilachna varivestis es una especie fitófaga dentro de la familia Coccinelidae, conocida por sus insectos benéficos predatores. Este insecto recibe también el nombre de cochinchuela en América Latina y en inglés se conoce como Mexican Bean Beetle.

Las larvas son ovaladas, de color amarillo y están cubiertas por seis hileras de espinas ramificadas, de puntas negras. Completamente desarrolladas miden 8 mm de largo por 4 mm de ancho (Fig. 6). Las larvas

jóvenes se alimentan en el envés de la hoja y las larvas más viejas y los adultos con frecuencia consumen completamente la hoja; las larvas en el tercero y cuarto estadios consumen más que los adultos. Los tallos y vainas también son consumidos cuando la población de insectos es alta. Las larvas no mastican el tejido de la hoja, sino que lo raspan, lo exprimen y tragan unicamente el jugo. En un trabajo realizado por De la Paz et al (8) se encontró que las mayores pérdidas se presentan cuando la infestación es en plantas jóvenes.

La hembra adulta pone un promedio de 50 huevos de color amarillo anaranjado, en masas, en el envés de las hojas. Estos incuban entre 5 y 14 días. En El Salvador se han observado cuatro generaciones de conchuelas en cultivos de frijol de mayo a noviembre. El número de huevos, masas de huevos y el peso de los adultos disminuyeron en más del 50%, cuando los cucarroncitos se criaron en líneas de frijol resistentes en comparación con las susceptibles (8).

Control

Para controlar este insecto se recomienda la eliminación de los residuos vegetales y la arada profunda (19). La menor densidad de siembra reduce el daño ocasionado por la conchuela pues reduce en forma drástica el número de masas de huevos por planta. CANTWELL y CANTELO (4) realizaron un control excelente de la conchuela con aspersiones de Bacillus thuringiensis.

Trichoplusia ni Hubner (Lepidóptera: Noctuidae)
Falso medidor

La hembra adulta, una polilla de hábitos nocturnos, deposita un promedio de 300 huevos, en forma aislada, en el envés de las hojas. El daño es causado por la larva de color verde que posee una línea blanca o crema a cada lado del cuerpo, el cual es más fino hacia la cabeza. Tienen tres pares de patas verdaderas, delgadas, en la región toráxica cerca de la cabeza y sólo tres pares de pseudopatas en la región posterior del cuerpo. Se caracteriza porque dobla al caminar la porción media del cuerpo, en una acción semejante a la de medir "cuartas" con la mano; de allí proviene su nombre de "falso medidor".

La larva no es exclusivamente masticadora de follaje. Trichoplusia ataca las vainas tiernas cuando el nivel de infestación es alto y, en este caso, puede reducir los rendimientos en forma significativa. El daño de este insecto en las vainas es muy diferente al causado por Heliothis, el cual se limita a comer la semilla dentro de la vaina en tanto Trichoplusia consume las vainas tiernas completamente.

También hacen parte del complejo de "falsos medidores" las especies Pseudoplusia includens (Fig. 7) y Autoplusia egena, las cuales han venido adquiriendo importancia por los daños causados. En caso de ser necesario su control se recomienda la aplicación de 0.5 kg IA/ha de Bacillus thutingiensis, o 1 kg IA/ha de Carvaryl, Malathion, riclorfón, Acegate o Progenafos cuando haya una larva por cada 6 hojas de frijol.

Bemisia tabaci (Homóptera: Aleyrodidae)
Mosca blanca

La importancia de la mosca blanca radica en su habilidad para transmitir los virus del mosaico dorado del frijol y del mosaico clorótico; el daño físico ocasionado por la mosca no es de importancia económica. Es una plaga de importancia en Centro América y Brasil.

Es un insecto chupador cuyas formas inmaduras ocurren en el envés de las hojas. Los huevos son oblongos, de color verde pálido y muy pequeños. Las ninfas se establecen en la hoja donde chupan la savia. El adulto también es un chupador; se caracteriza por ser de color blanco muy pequeño, 2-3 mm de longitud (Fig. 8).

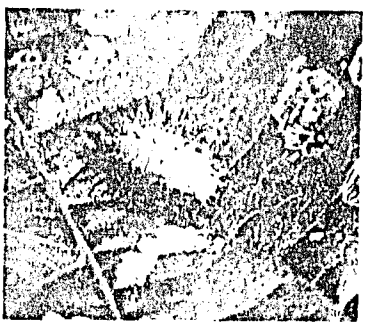


Figura 6. *Epilachna varivestis.*

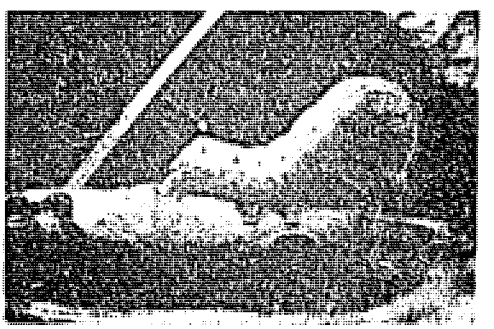


Figura 7. *Pseudoplusia includens.*

Figura 8. *Bemisia tabaci.*

Control

La mosca blanca tiene varios enemigos naturales representados por avispas parásitas, coccinélidos y neurópteros depredadores. En muchos casos es necesario recurrir a la aplicación de productos químicos para disminuir el nivel de infestación por la mosca blanca. Bortoli y Giacomini (2) controlando B tabaci con insecticidas sistémicos aplicados al momento de la siembra, encontraron como los mejores productos el aldicarb, con dosis de 2 a 4 kg IA/ha y Tiofanox a 2 kg IA/ha. Para aplicaciones al follaje son efectivos el metamidofos, el monocrotofos y el acefato.

Aphis spp. Macrosiphum spp.
Afidos

Otro grupo de insectos chupadores es el de los áfidos, también llamados pulgones, afidios y, en inglés, "aphides". El daño directo que ocasionan no es grave, pero su habilidad para transmitir el virus del mosaico común hace de ellos una plaga de importancia económica.

Son insectos pequeños, de 2 mm de longitud, y de diversos colores, aunque en el frijol el color de las especies predominantes es verde con negro (Fig. 9). Las ninfas dañan las plantas chupando savia; son de color verde y tienen patas largas (Fig. 10). Los adultos pueden ser alados o ápteros. En el trópico estos insectos se reproducen partenogenéticamente donde las hembras pueden producir descendencia sin necesidad de aparearse con el macho; por esta razón las poblaciones son a veces muy altas. Los individuos alados aparecen de preferencia cuando la población aumenta a un nivel superior al que pueden soportar las plantas.

Figura 9. Afidos adultos.

Figura 10. Ninfas de Afidos.

Control

Se controlan bien por avispas parásitas y por depredadores, tales como los coccinélidos y los sírfidos. Si se necesita control químico se puede usar dimetoato, pirimicarb, malation o demetón; sin embargo, su control no se ha mostrado muy efectivo para reducir las virosis. El control del mosaico común se ha efectuado mediante la incorporación de genes resistentes al virus lo cual disminuye la importancia de los áfidos como plaga del frijol.

Tetranychus spp. (Acarina: Tetranychidae)
Arañita roja; Acaro rajado.

En términos generales, la arañita roja o ácaro rajado atacan el frijol hacia finales del período vegetativo y sólo en algunas ocasiones llegan a afectar el rendimiento. Las especies más comunes actualmente son T. urticae y T. telarius. Sus poblaciones se ven favorecidas por sequía, altas temperaturas y aplicaciones muy frecuentes de insecticidas, especialmente de fosforados pues consiguen incorporar resistencia estos productos; por este motivo se recomienda usar diferentes combinaciones de insecticidas y rotarlos.

Las arañitas viven en el envés de las hojas donde forman colonias. Allí raspan los tejidos del parénquima y chupan la savia de las plantas. Esto origina la aparición de síntomas en la haz que se distinguen como puntos blancos y áreas más claras en los tejidos. Cuando la población es alta, puede ocurrir necrosamiento y caída de la hoja. En ataques avanzados, la hoja toma un aspecto herrumbroso y se ven las telarañas que la cubren, por medio de las cuales los ácaros pasan de una planta a otra, además de servirles de protección contra agentes externos adversos. La formación de telarañas es una característica de la familia Tetranychidae.

Control

Por lo general no es necesario controlar estos ácaros si la siembra ha sido uniforme y en época de lluvias. Existen variedades resistentes al daño; cuando la infestación es temprana y alta, se puede recurrir a los acaricidas dicofol, azufre o tetradifón.

Polyphagotarsonemus latus B (Acarina: Tarsonemidae) Acaro blanco o tropical

Su distribución geográfica es muy amplia; se ha registrado desde Brasil hasta Nicaragua. Este ácaro generalmente ataca bajo condiciones de temperatura y humedad altas, contrariamente al ácaro rojo que lo hace en épocas secas. Es muy pequeño y no es visible sin la ayuda de lentes de aumento. El desarrollo de P. latus es muy rápido; en cinco días se cumple el ciclo de huevo adulto en capacidad de ovipositar, con un promedio de tres huevos por día durante 12 días. Cuando la hembra completa 16 días de estar ovipositando, ya existen dos generaciones más. Por lo tanto, en un lapso de 15 días se pueden tener tres generaciones, lo cual es un aumento muy rápido de población.

El ataque es más frecuente en la época de floración o durante la formación de vainas; en las áreas en las cuales la presencia del ácaro blanco es endémica, éste ha originado pérdidas hasta 50% en el rendimiento. Los síntomas de su ataque son muy característicos; son mas visibles en las hojas jóvenes, las cuales tienden a enrollarse (Fig. 11) y el envés de las hojas toma un color púrpura; cuando la infestación es mayor, las hojas

pueden tomar un color amarillo oscuro. En ataques severos pueden afectar las vainas, que también toman un color púrpura, causar defoliación y pérdidas en producción.

Estos síntomas pueden ser confundidos con los producidos por virus o deficiencias minerales (19).

Control

El mejor control se obtiene con azufre o endosulfan. El dimetoato aparentemente estimula las poblaciones de ácaros (11).

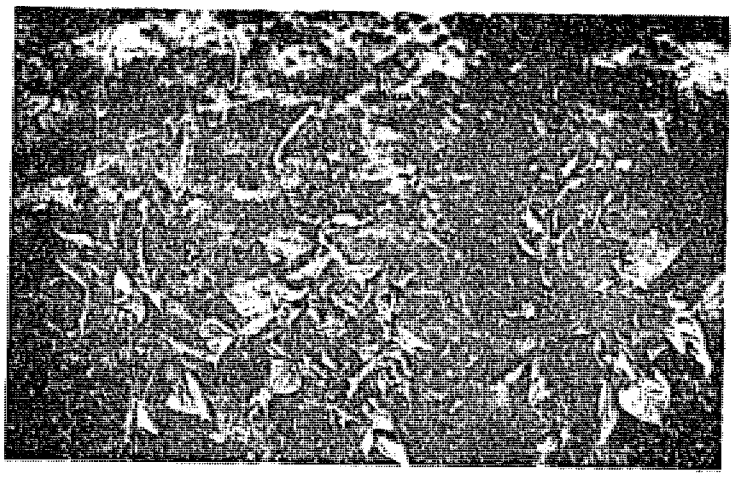


Figura 11. Daño de *Polyphagotarsonemus latus*.

Agromyza spp. Hemichalepus spp. (Diptera: Agromyzidae)
Minadores

Los minadores son plagas de importancia secundaria y rara vez su control se justifica. Las especies más comunes pertenecen a los géneros Agromyza y Hemichalepus; el daño de Agromyza es fácil de reconocer porque forman túneles serpenteados en las hojas (Fig. 12A), al consumir el tejido presente entre epidermis superior e inferior. La infestación se limita a las hojas inferiores y rara vez alcanza la parte superior del follaje. La larva de Hemichalepus al minar la hoja provoca un daño semejante a ampollas blanquecinas desprovistas de parénquima en su interior (Fig. 12B).

Control

Es bastante difícil el control de estos minadores, cuando la intensidad del ataque lo hace necesario. Frecuentemente presentan resistencia a los plaguicidas; sin embargo, se recomienda el uso de permethrin, fenvalerate u otro piretroide sintético, en dosis de 0.5-0.8 kg IA/ha, cuando se observa una mina por hoja.

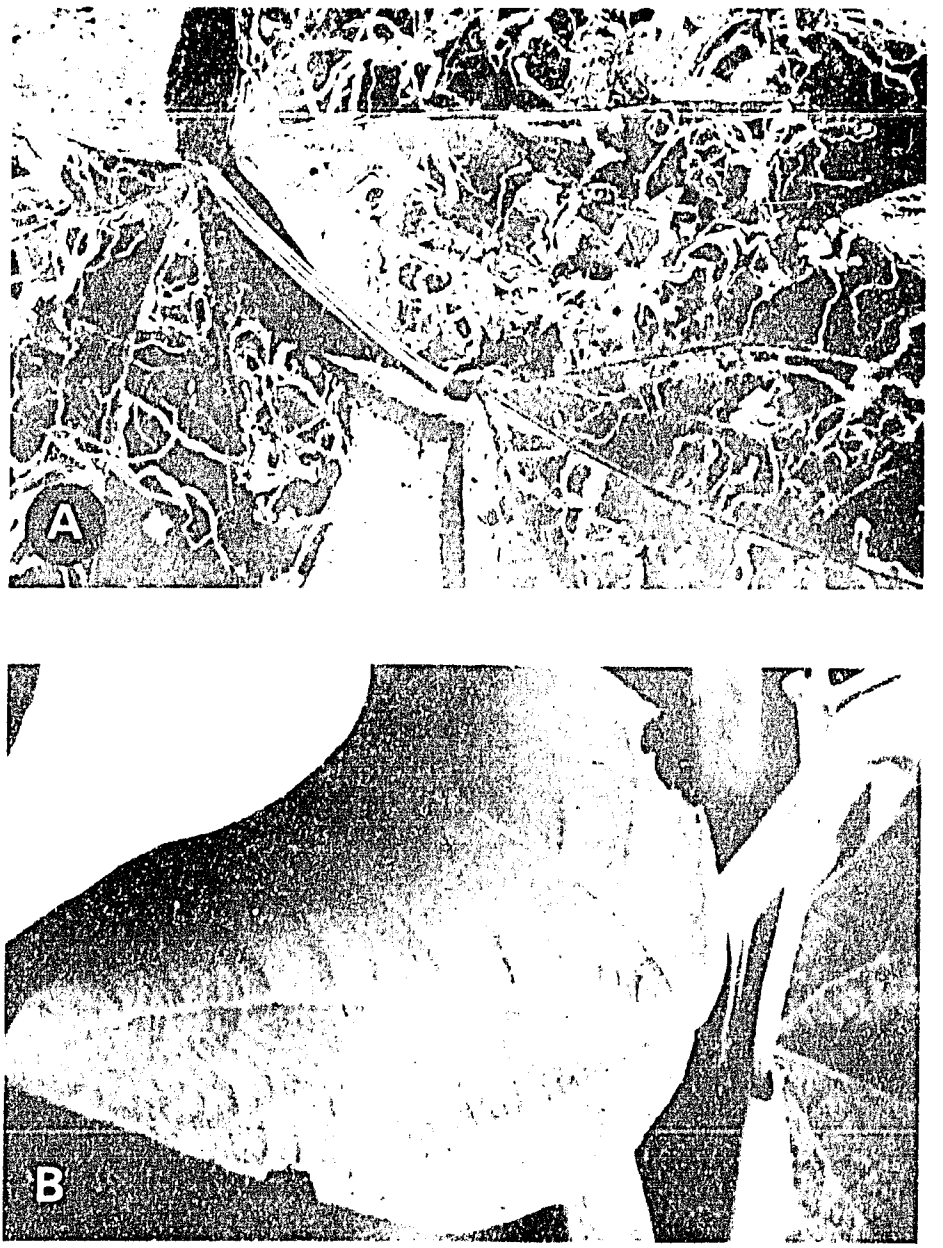


Figura 12. Daño de minadores: A) *Liriomyza* sp. y B) *Hemichalepus* sp.

PLAGAS QUE ATACAN LAS VAINAS

Aart van Schoonhoven
César Cardona

Apion godmani (Coleóptera: Curculionidae)
Picudo de la vaina

El picudo de la vaina o picudo del ejote está considerado entre las plagas más importantes que causan daño económico en el cultivo del frijol en México, Honduras, Guatemala, El Salvador y Nicaragua. Ocurre de preferencia en épocas lluviosas y ataca directamente las vainas tiernas. El adulto es un cucarrón negro muy pequeño, 3 mm de élitros estriados y un pico característico.

Durante el día, la hembra adulta del picudo abre un orificio pequeño en el mesocarpio de las vainas, generalmente muy cerca de la semilla en formación, y allí oviposita; ésto da lugar a la aparición de una tumefacción característica en la vaina que no siempre es visible. Al eclosionar la larva, penetra en la semilla y se alimenta de ella, destruyéndola. Las larvas sólo se pueden alimentar de las semillas en formación (Fig. 1). La larva empupa en la vaina y los adultos emergen cuando las vainas maduran.

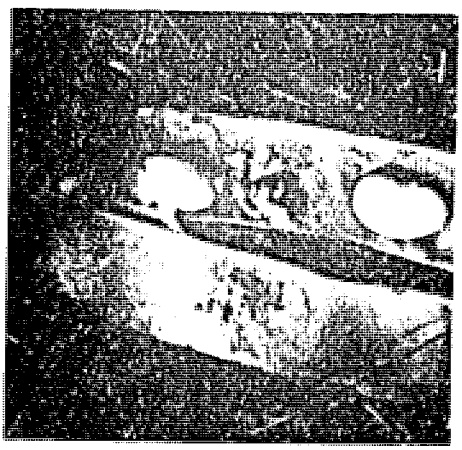


Figura 1. *Apion godmani.*

Control

La falta de conocimientos sobre los hábitos del Apión es un fuerte obstáculo para el manejo de su población, necesaria especialmente para los trabajos de resistencia genética que se adelantan en los viveros (1). Este insecto ataca la planta de frijol en un período definido dentro del ciclo vital del cultivo, especialmente en los de tipo arbustivo, que corresponde a la etapa que va de la floración al desarrollo de las vainas y su daño es de tipo casi exclusivo (17). Si su presencia y abundancia es establecida en este período, se podrá saber la necesidad o no de controlar este insecto. Sin embargo, es difícil notar su presencia antes de que

cause daño y, aún si se nota a tiempo, es difícil hacer aplicaciones durante la floración porque las ramas del cultivo cierran todo espacio (18). Así, aunque el control químico de este insecto es aparentemente fácil, en cuanto a su respuesta a diferentes insecticidas, es difícil de ejecutar. Se recomienda la aplicación de paration, monocrotofos, carbaryl o metamidofos, en dos aplicaciones: en la época de floración y siete días después. La práctica de sembrar a tiempo y evitar los cultivos escalonados disminuye las posibilidades de infestación. Hay materiales genéticos resistentes al Apión y por ello el desarrollo de variedades resistentes es una solución factible de alcanzar (1), aún más que esa resistencia es relativamente estable entre años y sitios (9).

Epinotia aporema (Lepidóptera: Olethreutidae)
Barrenador de la vaina.

El barrenador de la vaina tiene importancia económica como plaga del frijol en Chile, Perú y Brasil. Se le llama también polilla del frijol, barrenador de los brotes y en inglés "pod borer". La hembra oviposita en masas sobre los tejidos jóvenes; las larvas se alimentan de las yemas terminales o laterales y como resultado las hojas crecen completamente deformes (Fig. 2). El daño más severo es el ocasionado a las vainas pues al ser perforadas son invadidas por patógenos y se pudren. Es común la presencia de masas de excremento negro que la larva empuja fuera de los túneles que fabrica al alimentarse.

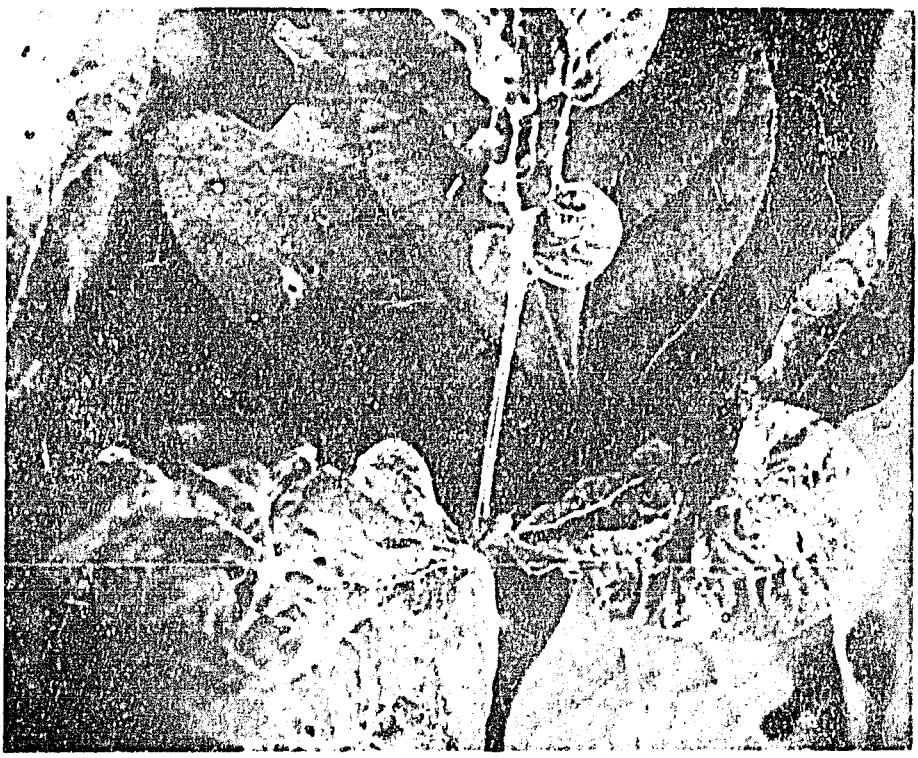


Figura 2. **Daño de *Epinotia sp.***

Maruca testulalis Geyer (Lepidóptera: Pyralidae)
Maruca

Maruca oviposita en los botones, en las hojas, en las flores y en las vainas. Su daño consiste en barrenar y perforar las vainas, las cuales se pudren como consecuencia. Se distingue de otros perforadores de vainas porque ataca la vaina en el lugar donde ésta se encuentra en contacto con otra vaina, el tallo o una hoja; en este punto de contacto se encuentra el agujero dejado por la larva al penetrar y los excrementos, los cuales son agrupados con una tela y colocados fuera de la vaina. A diferencia de la larva de Heliothis, Maruca se alimenta y permanece dentro de la vaina (Fig. 3).

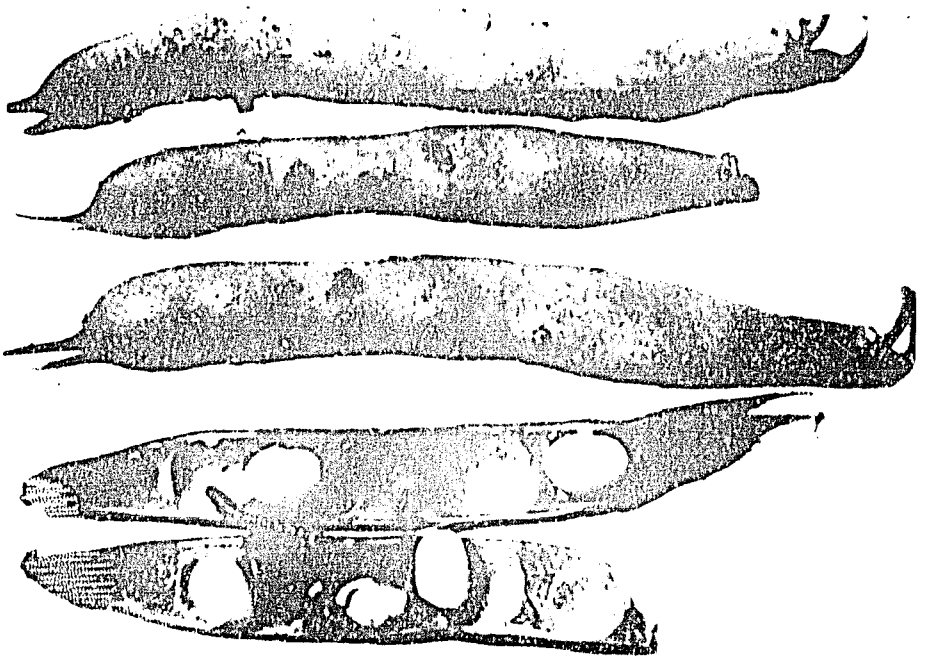


Figura 3. **Larva y daño de *Maruca testulalis*.**

Control

Las medidas de control incluyen siembras tempranas y el uso de productos químicos como aminocarb y dimetoato.

Heliothis spp. (Lepidóptera: Noctuidae)
Heliothis

El Heliothis es una plaga muy severa pero esporádica en este cultivo. Recibe también el nombre de elotero, Bellotero, Yojota y en inglés "Tobacco budworn". Nos referiremos al complejo formado por H. Zea y H. Virescens. Su distribución es muy amplia, ataca un alto número de especies cultivadas y ha creado resistencia a una serie de productos químicos, principalmente cuando las larvas están en sus últimos instars.

Las hembras colocan sus huevos en las partes terminales de la planta. Las larvas pequeñas se alimentan inicialmente del follaje tierno pero pronto buscan los botones, las flores y las vainas. El daño principal consiste en perforar la vaina verde (Fig. 4) y alimentarse de una o varias semillas dentro; para pasar de una semilla a otra la larva se sale de la vaina y hace una nueva perforación. Se calcula que una larva puede perforar hasta siete vainas durante su desarrollo; normalmente las vainas perforadas se pudren.

Cuando la larva está completamente desarrollada baja al suelo, encontrándose pupas cerca a la planta.

Figura 4. Larvas de *Heliothis* spp.

Control

El nivel de parasitismo es alto. Posada y García (13) enumeran 26 especies diferentes de parásitos o predadores de Heliothis spp. en Colombia. La liberación del parásito de huevos Trichogramma puede ser muy efectiva como medida de control; también se recomienda el uso de la bacteria Bacillus thuringiensis, patógeno de larvas jóvenes. En infestaciones altas se puede recurrir al control químico con los nuevos productos piretroides como fenvalerato, cipermetrina, decametrina y permetrina que son muy eficientes en bajas concentraciones.

PLAGAS QUE ATACAN GRANOS DE FRIJOL ALMACENADOS

Aart van Schoonhoven

Acanthoscelides obtectus (Say) (Coleóptera: Bruchidae)
Gorgojo del frijol

El gorgojo común del frijol es una importante plaga del frijol almacenado en América Latina. Aunque numéricamente las pérdidas registradas, del volumen total cosechado, no son muy altas, los gorgojos son responsables de que el frijol no se almacene durante periodos largos por el riesgo de ataque que representan (21). A. obtectus se encuentra en regiones montañosas y subtropicales, debido a su adaptación climatológica. Este gorgojo puede atacar las semillas de frijol en el campo, cuando las hembras ovipositan sobre las vainas que van entrando en madurez. En los granos almacenados, la hembra disemina sus huevos entre las semillas. Si el frijol tiene vaina, la hembra la perfora.

Los huevos son blancos, muy pequeños y en forma de granos de arroz. Las larvas recién nacidas penetran en los granos y se desarrollan en su interior. Antes de empupar la larva madura hace ventanas circulares en la testa de la semilla y cuando el gorgojo adulto emerge las empuja para salir del grano (Fig. 1). El promedio de oviposición es de 63 huevos por hembra y su ciclo biológico es de aproximadamente 46 días (21).

Control

Para evitar el daño por Acanthoscelides se recomienda recolectar y trillar temprano la cosecha, así como almacenar en sitios limpios para evitar que el grano se guarde en bodegas infestadas. El grano se puede espolvorear con sílice cristalina, arcilla o carbonato de magnesio. También se puede mezclar con arena, pimienta o con insecticidas en polvo como las piretrinas o el malatión. Pequeñas cantidades de semilla se pueden proteger mezclandolas con una dosis de 5 ml de aceite vegetal por kilogramo de semilla. Para desinfestar grandes volúmenes de grano se recomienda fumigar con bromuro de metilo o fosfamina; estos fumigantes son extremadamente tóxicos y peligrosos al aplicador.

Si hay indicios de presencia de esta plaga el frijol no se debe guardar sin desgranar. La búsqueda de resistencia varietal se hace por evaluaciones del germoplasma disponible, en una sola repetición para descartar rápidamente materiales susceptibles. La evaluación se hace infestando 50 semillas con 50 huevos de A. obtectus. Aquellos materiales que dan lugar a menor producción de adultos se prueban de nuevo en tres repeticiones, con los mismos niveles de infestación, tomando datos sobre oviposición por hembra, número de adultos emergidos y porcentaje de emergencia, duración del ciclo de vida y peso seco de adultos obtenidos. Las variedades que de aquí pasan a la tercera etapa de selección son multiplicados en el campo y probadas en cinco repeticiones (6). Se encontraron variedades silvestres resistentes y actualmente se adelantan programas de mejoramiento con el fin de incorporar esta resistencia a variedades de grano comercial.

Figura 1. *Acanthoscelides obtectus.*

Zabrotes subfasciatus (Coleóptera: Bruchidae)
Gorgojo pintado

El gorgojo pintado es la principal plaga del frijol almacenado en las regiones cálidas y tropicales de América Latina. Las hembras son pequeñas, de color café oscuro y se caracterizan por tener cuatro manchas de color crema en los élitros; el macho es más pequeño (Fig. 2). Las hembras adhieren firmemente los huevos a la testa del grano; ésta es una diferencia muy importante con A. obtectus, el cual nunca adhiere sus huevos a la semilla. Además Zabrotes no ataca el cultivo en el campo. Al eclosionar, la larva atraviesa el integumento y se desarrolla en el interior del grano; antes de empupar, cada larva prepara una ventana circular por la cual emergerán los adultos.

Figura 2. *Zabrotes subfasciatus.*

Control

Se recomienda almacenar el frijol sin desgranar. Las demás recomendaciones de control son semejantes a las indicadas para Acanthoscelides.

La búsqueda de resistencia varietal se hace en forma semejante a Acanthoscelides, excepto que la infestación se hace con siete parejas de Zabrotes, evaluando entonces la oviposición. Las expectativas con respecto a la introducción de resistencia son semejantes.

BIBLIOGRAFIA

1. Beebe, S. Mejoramiento para resistencia al Apion godmani. En Taller Internacional sobre Apion y Mustia Hilachosa en Guatemala y Costa Rica. Nov. 13-16, 1983. Edit. IICA, Guatemala.

2. Bortoli, S.A. de; Giacomini, P.L. 1981. Acao de algunos insecticidas granulados sistemáticos sobre Bemisia tabaci e Empoasca kraemeri e seus efeitos na produtividade do feijoeiro. Anais da Soc. Entomol. do Brasil. 19(1): 97-104.

3. Cambell, E.E. and C.H. Brett. 1966. Varietal resistance of bean to the Mexican bean beetle. J. Econ. Entomol. 59: 899-902.

4. Cantwell, G.E. Cantelo, W.W. 1982. Potential of Bacillus thuringiensis as a microbial agent against the Mexican bean beetle. Journal of Economic Entomology. 75(2): 348-350.

5. Cardona, C.; González, R.; Schoonhoven, A. van. 1982. Evaluation of damage to common beans by larvae and adults of Diabrotica balteata and Cerratoma facialis. Journal of Economic Entomology 75(2): 324-327.

6. CIAT. 1981. Principales insectos que atacan el grano de frijol almacenado y su control; guía de estudio para audiotutorial. Schoonhoven, A. van; C. Cardona y J.L. García. CIAT, Cali, Colombia. 33p (Serie 04-SB-05.03).

7. CIAT. Informe Anual 1982. Cali, Colombia.

8. De la Paz, S. Reyna y A. Martínez. 1979. El rendimiento del frijol en función del grado de daño de la conchuela (Epilachna varivestis Muls). En prensa (?).

9. Hallman, G. Muestreo en viveros de resistencia del frijol a Apion godmani. En Taller internacional sobre Apion y Mustia Hilachosa en Guatemala y Costa Rica. Nov. 13-16, 1983. Edit. IICA, Guatemala.

10. Hallman, G. Resistencia del Frijol a Empoasca kraemeri: un examen crítico. Seminario Interno, Noviembre 15, 1984. CIAT.

11. Harris, K.M. 1969. Population increase of Stenevtarsonemus pallidus (Banks) following spray applications of dimethoate. Plant Path. 18:113-115.

12. Leuck, D.B. and M. Dupree. 1965. Parasites of the lesser corn stalk borer. J. Econ. Entomol. 58: 779-780.

13. Posada, L. y F. García. 1976. Lista de predadores, parásitos y patógenos de insectos registrados en Colombia. Min. de Agric. ICA, Boletín Técnico 41, 90 p.

14. Rodríguez, T.M.T. 1980. Alto al avance de la babosa. Recursos (Honduras) 2 (6): 3-7.

15. Ruppel, R.F. y E. Idrobo. 1962. Lista preliminar de insectos y otros animales que dañan friJoles en América. Agr. Trop.. 18:651-679.

16. Ruppel, R.F. 1982. The seed corn maggot in dry beans. Michigan Brybean Digest 6(4):5.

17. Salguero, V. Umbral de daño económico en Apion godmani W. En Taller Internacional sobre Apion y Mustia Hilachosa en Guatemala y Costa Rica. Nov. 13-1611 983. Guatemala, IICA.

18. Salguero, V. Importancia de Apion Sp. en Guatemala. En Taller Internacional sobre Apion y Mustia Hilachosa en Guatemala y Costa Rica. Nov. 13-16, 1983. Guatemala, IICA.

19. Scwartz, H.F. y Gálvez, G.E. 1980. Problemas de Producción de Frijol: Enfermedades, insectos, limitaciones edáficas y climáticas de Phaseolus vulgaris. CIAT 424.p.

20. Schoonhoven, A. van; G.J. Hallman and R.S. Temple, 198 . Development of Resistance in Phaseolus vulgaris to Empoasca kraemeri. ?

21. Serrano, M.S. 1983. Avances logrados por el CIAT en la protección del frijol almacenado. CIAT, material mimeografiado.

22. Vam Dam, W. and G. Wilde. 1977. Biology of the bean leafroller Urbanus proteus (Lepidoptera: Hesperiidae). J. Kansas Entomol. Soc. 50:157-160.

23. Wilde, G.; A. van Schoonhoven and L. Gómez-La Verde. 1976. The biology of Empoasca kraemeri on phaseolus vulgaris. Annals Entomol. Soc. Amer. 69:442-444.

24. Young, W.R., J.A. Cifuentes. 1959. Biological and control studies on Estigmene acrea (Drury), a pest of corn in the Yaqui Valley, Sonora, México, J. Econ.. Entomol. 52: 1109-1111.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

1. CIAT. Informe del Programa de Frijol 1982.

2. CIAT. Informe del Programa de Frijol 1983.

3. CIAT. Resumenes analíticos sobre frijol. 1976-1984.

4. Cardona, C.; Flor, C.A. Morales, F.J. y Pastor-Corrales, M.A. 1982. Problemas de campo en los cultivos de frijol en América Latina. CIAT, Cali, Colombia. Serie 07FE-1 1982. 184 p.

5. Schwartz, H.F. y Gálvez, G.E. (eds.) 1980. Problemas de producción de Frijol: Enfermedades, Insectos, Limitaciones Edáficas y Climáticas de Phaseolus vulgaris. CIAT, Cali, Colombia. 424 p.

6. CIAT. 1982. Descripción y daños de las plagas que atacan el frijol. Cali, Colombia. Serie 04SB-05.01.

7. CIAT. 1981. Principales insectos que atacan el grano de frijol almacenado y su control. Cali, Colombia. Serie 04SB-05.03.

8. CIAT. 1980. El lorito verde (Empoasca kraemeri Ross y Moore) y su control. Cali, Colombia. Serie 04SB-05.04.

9. CIAT. 1981. Principales crisomélidos que atacan el frijol y su control. Cali, Colombia. Serie 04SB-0.50.5

CAPITULO V
SUELOS Y AGRONOMIA

PAGINA

REVISION DE ALGUNOS CRITERIOS SOBRE LA RECOMENDACION DE FERTILIZANTES EN FRIJOL..... 287
C. A. Flor

TAMIZADO PARA IDENTIFICAR FRIJOLES QUE SE ADAPTAN A SUELOS ACIDOS..... 313
M. Thung, J. Ortega, O. Erazo

MANEJO DE LA ACIDEZ Y ENCALAMIENTO DE LOS SUELOS... 347
J. Ortega

PRINCIPIOS BASICOS DE LA ASOCIACION DE CULTIVOS.... 363
S. García

METODOLOGIA DEL DIAGNOSTICO DE LA PRODUCCION DE FRIJOL..... 371
N. de Londoño, D. Pachico

REVISION DE ALGUNOS CRITERIOS SOBRE LA RECOMENDACION DE FERTILIZANTES EN FRIJOL

Carlos A. Flor M.

La decisión sobre la clase y cantidad de fertilizantes requeridos por un cultivo es una de las decisiones que con más frecuencia tienen que enfrentar técnicos y agricultores. El empobrecimiento de los suelos, la obtención de híbridos y variedades con mayor potencial de producción que los sembrados actualmente, la generación cada vez más creciente de información sobre técnicas de laboratorio, calibración de análisis, respuesta de los cultivos en el campo, y el costo cada vez mayor de los fertilizantes, son algunos de los más importantes aspectos relacionados con el problema.

La conceptualización del problema

Los siguientes comentarios tienen como objetivo presentar a manera de introducción, una amplia conceptualización del problema:

1 Se ha trabajado mucho a nivel de técnicas y procedimientos de laboratorio dirigidos a mejorar soluciones extractoras. En este sentido los avances son evidentes.

2. Se han mejorado los criterios para la interpretación del análisis químico del suelo. Cada vez se tienen niveles críticos más confiables, fundamentalmente como resultado de un intenso trabajo experimental.

3. Poco se discute sobre "el problema de la recomendación de fertilizantes, especialmente en lo relacionado con grados y cantidades". El autor estima que en muchos países latinoamericanos "existen en el mercado pocos grados de fertilizantes", situación esta que limita y dificulta "la recomendación", sin que exista una relación directa entre los esfuerzos para mejorar las técnicas de laboratorio y los criterios de interpretación, con los esfuerzos orientados a tener una mayor disponibilidad de grados. También pone en duda denominaciones muy comunes, tales como: "fertilizante arrocero", "grado cafetero", pues ellas suponen que "todos los suelos arroceros o todos los suelos cafeteros" son iguales, además de "una supuesta igualdad en la cantidad de nutrimentos extraídos por las diferentes variedades, líneas, etc., de una misma especie.

4. La experimentación constituye sin duda, el mejor criterio para la recomendación de fertilizantes, pero un problema importante en este caso, es la extrapolación de resultados. La zonificación de ambientes especialmente con base en el suelo y el clima debe de constituir el criterio para la localización de pruebas experimentales y la extrapolación de los resultados.

5. Todavía se continúan aceptando y divulgando hipótesis antiguas y equivocadas sobre la caracterización de un suelo, hipótesis que conducen a erróneas recomendaciones.

6. La recomendación de fertilizantes se ha enfocado casi exclusivamente hacia el nitrógeno, el fósforo y el potasio. Como consecuencia existe mucho desconocimiento sobre nutrimentos secundarios, micronutrimentos.

7. Existen confusiones y dudas entre los técnicos cuando se trata de dar enfoques prácticos para el tratamiento del problema, especialmente si se carece del apoyo de datos experimentales.

8. La selección de especies y de ecotipos dentro de especies, constituye una alternativa de interés creciente para solucionar el problema.

La conceptualización anterior sugiere que hay necesidad de "ganar conciencia" acerca de la realidad del problema de la recomendación de fertilizantes para conseguir nuevas alternativas de solución más racionales y ajustadas a la realidad de la evaluación de la fertilidad de los suelos, al comportamiento biológico de las plantas que se cultivan y al aspecto económico de la solución.

Bases para una propuesta práctica de solución al problema

Teniendo en cuenta lo anterior, se pretende recordar los criterios que deben considerarse para ajustar más a la realidad y con sentido práctico, la recomendación de fertilizantes. Estos criterios son:

1. La cantidad de nutrimentos que tiene el suelo.

2. Los requerimientos nutricionales del cultivo; los conceptos de "expectación" y "potencial de producción".

3. La eficiencia del fertilizante en función del suelo

4. El aspecto económico de la fertilización.

I. La cantidad de nutrimentos que tiene el suelo:

La cantidad de nutrimentos que tiene el suelo es determinada mediante el análisis químico del suelo. Forsythe y Díaz-Romeu (11), indican que es necesario "poder transformar los resultados del laboratorio en términos de la capa arable, para que los análisis de laboratorio tengan valor en el campo. El éxito de dicha transformación depende del conocimiento de la densidad aparente de la capa arable". Sin embargo, se está cometiendo un error al seguir aceptando la suposición ya tradicional de "una hectárea de suelo a la profundidad arable de 0-20 cm, pesa 2.000.000 kg". Esta suposición se basa en una densidad aparente promedio de 1 gr/cm3. Mas aún, ni siquiera existe acuerdo acerca de este valor promedio de densidad aparente. La literatura cita valores de 1 gr /cm3, 1.47 gr /cm3. Para evitar toda esta situación lo recomendable es "determinar la verdadera

densidad aparente* por "zonas, tipos o series" y utilizar el valor determinado para todos los cálculos posteriores. Esta densidad aparente puede variar entre 0.3 y 2.0 gr/cm3.

"En casos especiales, para andosoles, derivados de cenizas volcánicas, con alta porosidad, los valores de la densidad aparente son excepcionalmente bajos: 0.30 a 0.85 gr/cm3. Guerrero, cita los siguientes ejemplos para suelos de la zona cafetera central de Colombia: Chinchiná 0.8 gr/cm3, Quindio 0.95 gr/cm3, Montenegro 1.0 gr/cm3, Fresno 0.63 gr/cm3.

A manera de ejemplo se comparan contra el peso/ha tradicionalmente usado de 2.000.000 kg, los pesos reales obtenidos para cuatro suelos con densidades aparentes de 0.8, 1.3, 1.7 y 1.9. (Cuadro 1).

Cuadro 1. Diferencias entre los pesos reales de una hectárea de suelo (cuatro situaciones) y el peso convencional.

Suelo	Densidad aparente gr/cm3	Peso, kg/ha 0-20 cm	Diferencia con la situación convencional
Suelo A	0.8	1.600.000 kg	- 400.000
Suelo B	1.3	2.600.000	+ 600.000
Suelo C	1.7	3.400.000	+ 1.400.000
Suelo D	1.9	3.800.000	+ 1.800.000
Situación convencional	1.0	2.000.000	

*/ La densidad aparente relaciona el peso seco del suelo con su volumen incluyendo los espacios porosos. Por lo tanto, considera el volumen de las partículas y el volumen ocupado por los poros; este volumen se llama "volumen aparente" (= volumen verdadero + porosidad); no es un valor que permanece constante en cada suelo. Sufre cambios según se altere el volumen de los poros. Entre los métodos más usados para determinar la densidad aparente se tiene el de la parafina que consiste en envolver un terrón de suelo en parafina de densidad conocida. También se emplean cilindros de PVC de 7 cm de altura y de 6 cm de diámetro, que dan un volumen de 197.9 cm3 (González et al, citados por Legarda). En cambio la gravedad específica o densidad real o peso específico del suelo se refiere solamente a la parte sólida del suelo. Su valor está entre 2.5 y 2.6; con mucha materia orgánica baja.

No hay necesidad de muchos comentarios. Basta solamente indicar que no se pueden seguir aceptando errores de 1.800.000 kg en la estimación del peso de una hectárea de suelo, como sería el caso del suelo D. Estos errores, en forma directa, conducen a otros nuevos errores, bien sea por subestimación o sobreestimación en los cálculos de la cantidad de nutrimentos presentes en la capa arable. El siguiente error sería la subestimación o sobreestimación de los respectivos fertilizantes, correctivos o mejoradores.

Una aplicación inmediata de esta corrección sería la de "olvidar" cifras o factores que también en forma tradicional se han venido usando, bajo la suposición de que una hectárea de suelo pesa 2.000.000 de kg.:

1 me de K/100 gr de suelo = 780 kg de K/ha
1 me de Mg/100 gr de suelo = 240 kg de Mg/ha
1 me de Ca/100 gr de suelo = 400 kg de Ca/ha

Las cifras reales habría que calcularlas en base a la verdadera densidad aparente. El siguiente ejemplo muestra el contraste de un suelo con d.a = 1.6 y con la situación convencional, d.a. = 1 gr/cm3. (Cuadro 2).

Cuadro 2. Contenidos reales y "convencionales" de varios nutrimentos en un suelo.

Análisis Químico	Cantidad de nutrimento/ha	
	Situación Convencional	Situación Real
	d. a = 1.0	d. a = 1.6
	2.000.000 kg/ha	3.200.000 kg/ha
Ca : 2.9 me /100 gr de suelo	1.160 kg	1.856 kg
Mg : 0.9 me /100 gr de suelo	216 kg	345 kg
K : 0.14 me/100 gr de suelo	109 kg	174 kg
P : 11 p.p.m.	22 kg	35 kg

Si los requerimientos nutricionales de un cultivo, por ejemplo para el caso del potasio, fueran de 150 kg de K/ha, en el caso de usar la cantidad de K obtenida con la "situación convencional", la decisión sería fertilizar con K (109 kg < 150 kg). Pero si se considera la situación real, el suelo tendría más K del requerido (174 kg > 150 kg), y por lo tanto no habría necesidad de fertilizar. Una dificultad más común, en el problema de la recomendación de fertilizantes, es el procesamiento de la información. Con frecuencia la información que viene de los laboratorios en forma de "resultados de un análisis de suelos", se convierte en un papel indescifrable, y por lo mismo, de muy poca utilidad. El objetivo de

los cuadros 3, 4 y 5 adaptados de Guerrero (15) y Forsythe - Díaz - Romeu (11), es facilitar ciertas conversiones y transformaciones, que permitan un uso más práctico del recurso "análisis de suelos".

Otra fuente de error en los cálculos relacionados con el análisis químico del suelo está en la profundidad de las raíces". Algunos utilizan 0-15 cm, otros 0-20 cm y hasta 0-40 cm para el caso de árboles frutales. De nuevo la solución está en el conocimiento real de la distribución de raíces del cultivo respectivo, aspecto que normalmente ha recibido escasa atención por parte de los investigadores*.

Finalmente al discutir el aspecto relacionado con la cantidad de nutrimentos que tiene el suelo, necesariamente hay que considerar el poco énfasis que se ha dado a los nutrimentos secundarios y a los micronutrimentos. Por ejemplo, Gómez (12) indica que "alrededor de un 50% de los suelos ácidos colombianos pueden presentar deficiencia de Mg". También señala que "parece razonable suponer que los suelos deficientes en P, pueden serlo al mismo tiempo de Mg". El buen éxito de las escorias Thomas en los suelos ácidos de Colombia, puede deberse en parte al Mg que aportan (entre 1 y 3%).

En el caso de los micronutrimentos, el desconocimiento es aun mayor. En este sentido, el autor (Flor, 9) indica que "en Colombia y en Latinoamérica en general, el esfuerzo de los investigadores, en fertilidad de suelos se ha dirigido principalmente hacia la solución de problemas de nitrógeno, fósforo y acidez. Este esfuerzo que refleja la prioridad de estos problemas, explica por otra parte, la existencia de una situación bastante crítica en lo que se refiere al estudio y búsqueda de soluciones a problemas de otros componentes de la fertilidad de los suelos productores de frijol, los micronutrimentos por ejemplo. Todavía carecemos de métodos de análisis y niveles críticos propios, que nos permitan lograr una cuantificación de estos nutrimentos en el suelo. Howeler, citado por Flor (10), presenta alguna información obtenida para frijol bajo condiciones del CIAT.

2. Los requerimientos nutricionales del cultivo:

De acuerdo a Howeler (17), el requerimiento nutricional de un cultivo se puede definir en varias formas:

a. La cantidad de nutrimentos que las plantas absorben del suelo durante su ciclo de crecimiento. En este caso la tasa de absorción de los nutrimentos depende de la tasa de crecimiento de la planta.

---

*/ En el caso del frijol, estudios adelantados en Brasil con la variedad "Creme" indican que el sistema de raíces es superficial y que el mayor porcentaje de raíces se concentra en los primeros 10 cm del suelo. Además entre el 83 y 97% de las raíces, están en los primeros 20 cm (Inforzata y Miyasaka, 1963).

Cuadro 3. Peso en kg/ha de una hectárea de suelo profundidad 0-20 cm, a diferentes densidades aparentes.

Densidad Aparente gr/cm3	Peso, kg/ha 0-20 cm
0.5	1.000.000
0.6	1.200.000
0.7	1.400.000
0.8	1.600.000
0.9	1.800.000
1.0	2.000.000
1.1	2.200.000
1.2	2.400.000
1.3	2.600.000
1.4	2.800.000
1.5	3.000.000
1.6	3.200.000
1.7	3,400.000
1.8	3.600.000

Cuadro 4. Factores de conversión de partes por millón (p.p.m.) a kilogramos por hectárea (kg/ha), para varias densidades aparentes.

Densidad aparente gr/cm3	p.p.m. ⟶ a kg/ha Multiplicar por
0.5	1.0
0.6	1.2
0.7	1.4
0.8	1.6
0.9	1.8
1.0	2.0
1.1	2.2
1.2	2.4
1.3	2.6
1.4	2.8
1.5	3.0
1.6	3.2
1.7	3.4
1.8	3.6

Cuadro 5. Factores de conversión de miliequivalentes por 100 gramos de suelo (me /100 gr) a kilogramos por hectárea (kg/ha) para varias densidades aparentes.

Densidad aparente gr/cm	me /100 gr→a kg/ha		
	K	Ca	Mg
	Multiplicar por		
0.5	390	200	120
0.6	468	240	144
0.7	546	280	168
0.8	624	320	192
0.9	702	360	216
1.0	780	400	240
1.1	858	440	264
1.2	936	480	288
1.3	1014	520	312
1.4	1092	560	336
1.5	1170	600	384
1.7	1326	680	408
1.8	1404	720	432

b. La cantidad de nutrimentos a aplicar al suelo para obtener una producción óptima, que en general se define como el 95% de la producción máxima. Esta definición de requerimiento nutricional equivale al "requerimiento de fertilizantes y varía de un suelo a otro.

c. La concentración de nutrimentos en el suelo o en el medio o en la solución nutritiva (requerimiento externo) o en la planta (requerimiento interno) que corresponde con una producción óptima. Esta definición de "requerimiento nutricional" equivale a los "niveles críticos" en el suelo o en la planta, o sea, la concentración de un nutrimento por debajo de la cual la planta responderá a la aplicación de ese nutrimento y por encima de la cual no se espera ninguna respuesta.

Finalmente, Howeler (17), indica que se considera que el nivel crítico es una característica bastante constante de la especie aunque sí puede variar algo entre variedades de la misma especie.

Además varía entre diferentes órganos de la misma planta, y con la edad del tejido; lo afecta también la presencia o ausencia de otros nutrimentos y las condiciones ambientales como la temperatura, lluvias, etc. Constituye, por lo tanto, otro error el usar datos de extracción - absorción de nutrimentos obtenidos con una determinada variedad y un cierto ambiente, para calcular las necesidades de fertilizantes en otras variedades y otros ambientes. El Cuadro 6 muestra las diferencias en absorción obtenidas para N, P, K para algunas variedades de frijol,

Es importante agregar que siempre que sea posible, los datos de absorción deben relacionarse con el nivel o niveles de rendimiento. Por otra parte es muy importante considerar la eficiencia de híbridos y/o variedades dentro de la misma especie para usar un nutrimento del suelo o del fertilizante aplicado. Salinas y Sánchez (24), indican que en los últimos años se ha reconocido la existencia de diferencias entre especies y variedades para tolerar factores adversos del suelo. Las más notables son las diferencias existentes entre variedades en cuanto a resistencia a la sequía y a elevados niveles de saturación de aluminio en el suelo. El hecho de que genes específicos hayan sido identificados como reguladores de algunos de estos factores, sugiere que la tolerancia varietal a condiciones adversas del suelo, puede ser incorporada como objetivo específico en el mejoramiento de plantas. El cuadro 7, (CIAT, 5), muestra algunos avances del programa de frijol del CIAT en su esfuerzo por buscar materiales que toleren condiciones adversas de suelo como bajo P y alto Al, materiales estudiados en la localidad de CIAT-Quilichao.

Thung (27), ha clasificado los cultivares de Phaseolus vulgaris en cuatro categorías, de acuerdo a la "eficiencia" en el uso de

Cuadro 6. Diferencias en absorción de nutrimentos en frijol común.

Variedad y hábito	Período Vegetativo (días)	Absorción, kg/ha						Relación de absorción N:P:K
		N	P	K	S	Ca	Mg	
Guali (I)	74	111	16	89				1.0:0.14.0.8
Porrillo sintético (II)	88	134	21	123				1.0:0.15:0.9
Puebla 152 (III)	91	149	23	110				1.0:0.15:0.7
P-589 (IV)	100	175	23	140				1.0:0.13:0.8
Frijol (Malavolta, Brasil)		102	9	93	25	54	18	
Porrillo sintético (Laing, Zuluaga)	89	147	18	133				

Cuadro 7. Frijoles tolerantes a condiciones adversas de suelo en dos semestres de evaluación, localidad CIAT-Quilichao. (CIAT, 5).

Identificación	Color de Semilla	Rendimiento kg/ha Parcelas con stress	Parcela óptima
Tolerancia a bajo P en el suelo (1978 A)			
Pecho Amarillo	negro	1590	2110
Actopan	negro	1490	1940
PI-310739	negro	1390	1930
PI-310 797	negro	1310	1760
Olive-brown	crema	1290	2460
Tolerancia a bajo P en el suelo (1978 B)			
FF 1238-CB	negro	1297	1685
BAT 85	crema	1117	1482
BAT 58	negro	1032	1782
BAT 83	blanco	1032	1457
BAT 110	negro	1027	1612
Tolerancia a alto Al en suelo			
BAT 97	gris	1280	1920
BAT 96	gris	1210	1940
BRASIL 349	crema	1160	2620
BAT 47	rojo	1160	2250
BAT 58	negro	1150	2440

P, y a la "respuesta" a este nutrimento. Estas categorías se explican en la figura 1*.

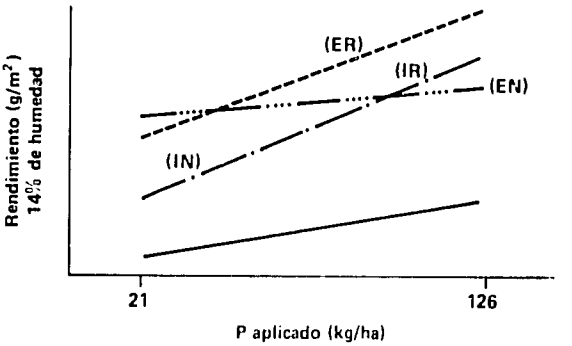


Figura 1. Eficiencia y respuesta del frijol común a las aplicaciones de fósforo. E = eficiente, I = ineficiente, R = con respuesta, N = sin respuesta (CIAT, 5).

Finalmente Salinas y Sánchez (24), indican que "como resultado de la respuesta diferencial entre especies y variedades, surgió durante los últimos años la filosofía de insumos mínimos en fertilización. Este enfoque no debe ser interpretado como la eliminación total de una fertilización, pero sí como una alternativa que reduce los niveles de fertilizantes en función del requerimiento nutricional de una especie dada.

Una propuesta de solución para esta nueva parte del problema de la recomendación de fertilizantes, es la necesidad de adelantar estudios locales de absorción de nutrimentos. La obtención de la curva de absorción es el primer objetivo de estos estudios, pero el énfasis debe ser orientado hacia la obtención de una curva, basada en las etapas de desarrollo de la planta y no en el "número de días después de la emergencia" como frecuentemente se ha hecho. La figura 2, describe las curvas de absorción de N, P, K para porrillo sintético. En el eje horizontal se han usado en este caso "etapas de desarrollo" y "días después de emergencia", sólo para ilustrar las dos situaciones mencionadas. Desde el punto de vista de absorción es importante revisar los trabajos de Haag, Cobra, Blasco y Pinchinat, citados por Howeler (16). (Ver Figura 3).

---

*/ Para mayor información se recomienda consultar los artículos "Thung, M. 1981, "Metodología simultánea de "screening" por la eficiencia en el uso de bajos niveles de fósforo y por la tolerancia a toxicidad de aluminio y manganeso en suelos adversos para frijol" y Thung M., J. Rodríguez y J. Ortega, 1981. "Efecto de la forma de aplicación de fósforo en su eficiencia y aprovechamiento por distintas variedades de frijol (Phaseolus vulgaris). Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT.

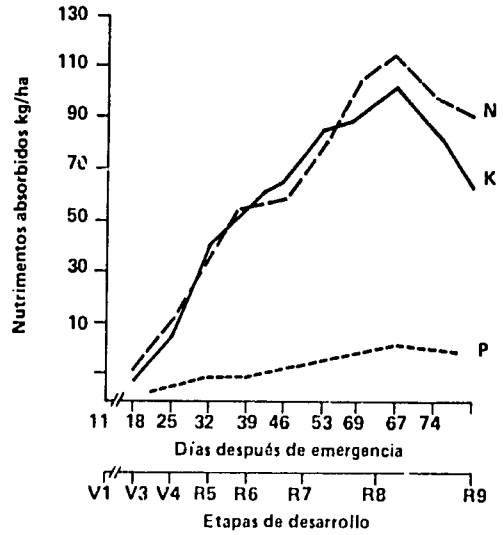


Figura 2. Curvas de absorción de N,P,K, en porrillo sintético. Adaptados de Fernández y Ceballos, datos no publicados, 1976.

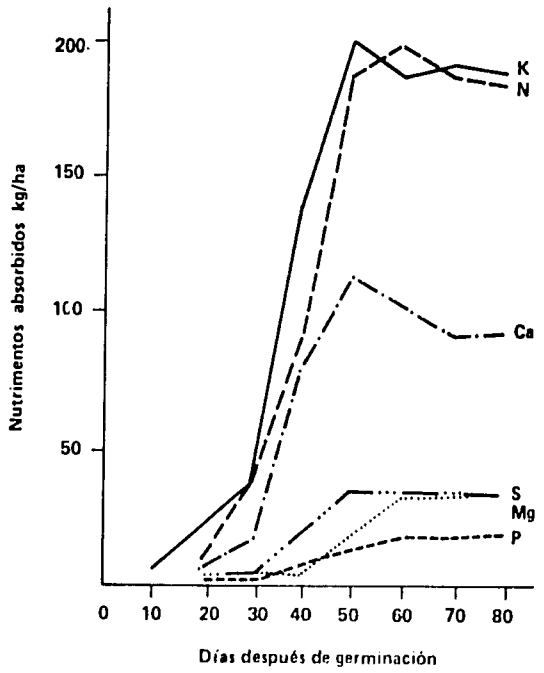


Figura 3. Nutrimentos absorbidos por el frijol. (Haag, 1967).

Los estudios de absorción permiten la obtención de los requerimientos nutricionales o exigencias minerales. La absorción o extracción, a un nivel deseado de rendimiento, puede obtenerse multiplicando el requerimiento interno del nutrimento por el total de materia seca producida a los niveles de rendimiento deseados. Malavolta (23), indica en el cuadro 8, los requerimientos en condiciones tropicales para el arroz, el maíz, el algodón, el frijol, la soya y el tomate.

Fernández y Ceballos (*) estudiaron la absorción de N en la variedad Porrillo sintético, Figura 4. Según Graham (13), inicialmente la planta de frijol puede obtener parte de su nitrógeno de los cotiledones, pues una semilla de frijol contiene entre 6 y 20 mg de N, pero alrededor de los 14-20 días y si no recibe fertilización, mostrará los primeros síntomas de deficiencia.

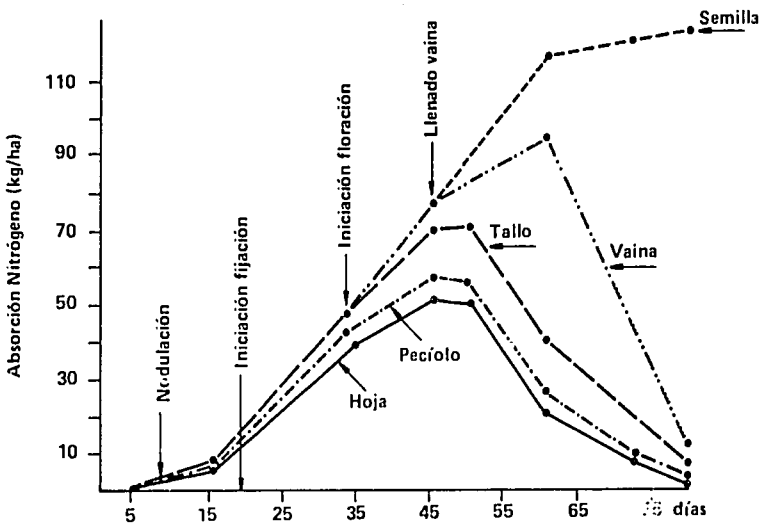


Figura 4. Absorción de nitrógeno por la variedad Porrillo sintético, durante su ciclo de crecimiento. Obsérvese el alto porcentaje de N absorbido después de la floración y las pérdidas de N que sufren las hojas y la pared de las vainas durante el llenado de grano. (Fernández y Ceballos, citados por Graham 13).

---

* Fernández, F. y L.F. Ceballos. 1976. Datos no publicados.

Cuadro 8. Exigencias minerales de varios cultivos, Malavolta (23)

Cultivo	Cosecha Ton/ha	kg/ha						gr/ha						
		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cl	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
Arroz														
Granos	4	20	13	9	3	3	11				1			
Paja	40	100	8	70	30	30	-				26			
Total	44	120	21	79	32	33	11				27			
Maíz														
Granos	5	115	28	35	2	10	11	40	4000	20	100	50	5	40
Restos	10	55	7	140	25	29	8	120	68000	80	1800	250	3	120
Total	15	170	35	175	27	39	19	160	72000	100	1900	300	8	160
Algodón														
Raíces		6	0.2	3	1	0.7	0.8	5		2	262	5	0.2	2
Copa		49	3.9	39	49	7.2	22	117		44	1113	106	1.0	42
Semillas	1.32	29	4.0	24	11	4.9	10	43		13	316	19	0.2	16
Total		84	8.1	66	61	12.8	32.8	165		59	1691	130	1.4	60
Fríjol														
Vainas	1	37	4	22	4	4	10							
Tallos	2	65	5	71	50	14	15							
Total	3	102	9	93	54	18	25							
Soya														
Vainas	3	200	26	57	10	10	6							
Tallos	6	100	14	58	60	25	17							
Total	9	300	40	115	70	35	23	100	10000	100	1700	600	10	200
Tomate														
Frutos	41	72	18	130	7	7	9							
Raíces, copa		12	3	55	24	1	19							

Al mismo tiempo empieza el proceso de nodulación, proceso que fácilmente puede ser dañado por el exceso de nitrógeno. Como los nódulos no fijan bien hasta los treinta días aproximadamente, entonces en este período puede ocurrir un déficit de N. Desde los treinta días y hasta más o menos los cincuenta días, las necesidades de N aumentan casi linealmente. Con la formación de las vainas, buena parte del N de las hojas de la planta pasa a las semillas, causando disminución en la actividad fotosintética y eventualmente su caída, fenómeno que algunos consideran como un mecanismo de suicidio.

Los requerimientos nutricionales indican la cantidad de nutrimentos que la planta necesita para completar su desarrollo. Esta cantidad de nutrimentos debe ser suministrada por el suelo, o por el suelo y los fertilizantes, y en el caso del nitrógeno debe considerarse también al aire. Por ejemplo en las localidades de Popayán y CIAT-Quilichao, se han alcanzado hasta 40 kg/ha de nitrógeno atmosférico fijado. Sin embargo, muchos cultivares comerciales de Phaseolus vulgaris son débiles en fijar nitrógeno. En sentido muy estricto, también habría que considerar no sólo el suelo, los fertilizantes y el aire, sino los nutrimentos presentes en la semilla. El cuadro 9 presenta información al respecto, basada en datos de Feitosa et al (7) para la variedad Carioca y en datos del CIAT* para las variedades Calima y Pijao.

Cuadro 9. Variación en la composición del grano de frijol.

	Variedad			
	Calima	Pijao	Carioca	
			(variación)	
N	3.00	3.81	2.0 - 2.6	
P	0.61	0.61	0.34 - 0.44	
K	1.51	1.66	1.2 - 1.4	%
Ca	0.24	0.17	0.27 - 0.42	
Mg	0.17	0.19	0.18 - 0.22	
Fe	91.5	70.0	60 - 76	
Mn	17.0	17.0	18 - 26	
Cu	10.0	11.2	6.1 - 8.0	ppm
Zn	27.0	30.0	34 - 38	
B	12.2	8.8	13 - 18	
S	0.15%	0.19%		

*/ CIAT, 1982. Información obtenida en el Laboratorio de Suelos, no publicada.

Para los casos de P, K, Mg y micronutrimentos, la relación "requerimiento nutricional", "cantidad de nutrimentos en el suelo" y "decisión de fertilizar", se puede resumir así:

Primera situación

Requerimiento nutricional	>	Cantidad de nutrimentos en el suelo	=	Decisión positiva para fertilizar

Segunda situación

Requerimiento nutricional	<	Cantidad de nutrimentos en el suelo	=	Decisión de no fertilizar

El concepto de "Exportación"

Otro concepto muy importante relacionado con el problema de la fertilización es el concepto de "exportación", también conocido con el nombre de "remoción"; indica, la cantidad de nutrimentos que se retiran del suelo con la cosecha, por ejemplo:

a. Los granos (semillas), en el caso de la cosecha "mecánica", situación común a nivel de productores comerciales.

b. Las vainas (valvas y granos=semillas) en el caso de agricultores que en forma manual, van cosechando los frutos que van alcanzando la madurez.

c. El tallo, las ramas y las vainas, en el caso del frijol cosechado por pequeños productores y donde el proceso final del secamiento se efectúa muy cerca o dentro de las casas.

El cuadro 10 presenta información sobre nutrimentos exportados por varias cosechas. Los nutrimentos exportados dan origen a un criterio de fertilización: "El criterio de la restitución o devolución al suelo de los nutrimentos que han salido de él, para mantener su fertilidad en el nivel original".

3. La eficiencia de los fertilizantes en función del suelo:

Pocos datos se conocen al respecto, pero en general:

a. Los fertilizantes nitrogenados tienen una eficiencia del 50%. Graham (13) indica que un resumen muy general de los experimentos sobre fertilización nitrogenada en frijol, muestra que no existe realmente mucha diferencia entre el sulfato de amonio, el nitrato de amonio y la úrea, como fuentes de nitrógeno. Señala además, que en estudios efectuados en Brasil, al aplicar todo el fertilizante nitrogenado antes de la siembra, solamente el 26% de este fertilizante fue usado por la planta.

Cuadro 10. Exportación de nutrimentos por la semilla, kg/ha, por cada mil kilogramos de semilla.

Autores	N	P	K	S	Ca	Mg
Malavolta, 1976 (vainas)	37	4	22	10	4	4
Fernández y Ceballos, 1976 (Porrillo sintético hábito II)	40	7	17	-	-	-
Fernández y Ceballos, 1976 (Guali, hábito I)	35	5	15	-	-	-
Fernández y Ceballos, 1976 (Puebla 152, hábito III)	33	5	16	-	-	-
Fernández y Ceballos, 1976 (P589, hábito IV)	36	6	16	-	-	-
Sánchez, 1981	31	3.5	6	-	-	-
Promedio de nutrimentos exportados	35.3	5.0	5.0	15.3		

Sánchez (25), indica que la eficiencia de utilización de los fertilizantes nitrogenados puede calcularse como la recuperación aparente del fertilizante en experimentos de campo. Conociendo la extracción de nitrógeno agregado, el porcentaje de recuperación se calcula así:

$$\text{Porcentaje de recuperación} = \frac{\text{N absorbido con la dósis aplicada} - \text{N absorbido sin agregar N}}{\text{dosis de N}} \times 100$$

Sánchez, agrega que la recuperación oscila entre el 20 y el 70%. Los valores altos son comunes para cultivos con sistemas radiculares extensivos, como los pastos.

b. Los fertilizantes fosfatados tienen una eficiencia del 20%. Fassbender especifica un poco más la situación del fósforo en función del suelo:

Suelo	Eficiencia
Oxisoles	10-20%
Ultisoles	20-30%
Andosoles	5-10%
Aluviales	20-30%

Bravo y Gómez (2), para la zona cafetera central de Colombia, suelos derivados de cenizas volcánicas, presentan para el fósforo los siguientes valores de eficiencia:

Unidad de suelos Chinchiná	8%
Unidad de suelos Quindío	21%
Unidad de suelos Montenegro	15%
Unidad de suelos Fresno	7%

La figura 5 complementa los resultados encontrados por Bravo y Gómez (2). González, López y Mejía, citados por Bravo y Gómez (2), han encontrado en suelos derivados de cenizas volcánicas fijaciones hasta del 90% del fósforo agregado. Estos datos son importantes si se considera que en Colombia los suelos de origen volcánico constituyen aproximadamente el 70% de los suelos cafeteros. (Gómez et al, citados por Bravo y Gómez). Fassbender, citado por los mismos autores, encontró que suelos andosólicos de Costa Rica fijaban un promedio de 86.4% del fósforo agregado. Este mismo autor* estudió la capacidad de fijación de P en 107 suelos centroamericanos y encontró una variación en la fijación entre 9.7 y 94.1% con un promedio de 37.1%.

La fijación sería principalmente de naturaleza química -precipitación de los fosfatos- antes que una fijación física o adsorción. Debe recordarse que la fijación es el proceso de transformación de los fosfatos menos solubles de calcio, aluminio o hierro.

---

*/ Fassbender, H.W. 1969. Estudio del fósforo en suelos de América Central. Capacidad de fijación de fósforo y su relación con características edáficas. Revista Turrialba, Vol 19, No. 4, 1969.

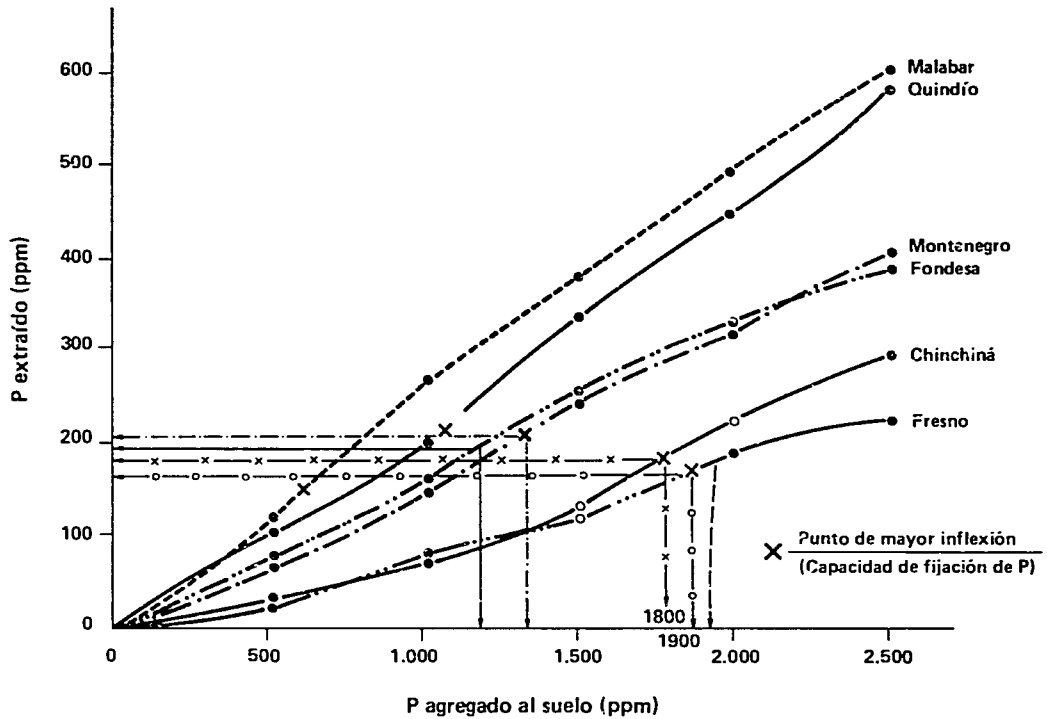


Figura 5. Relación comparativa del P extraído mediante análisis de suelo y el grado de P aplicado a suelos cafeteros derivados de cenizas volcánicas. (Bravo y Gómez (2).

La capacidad de fijación es mayor cuanto mayor es el contenido de óxidos de aluminio y hierro y cuanto mayor sea el contenido de aluminio intercambiable. Por ejemplo los suelos Andepts, debido a su alto contenido de óxidos de aluminio tienen alta capacidad de fijación de fósforo.

En el caso del potasio, la eficiencia de los fertilizantes potásicos, se estima en promedio en un 50%.

Anteriormente se había mencionado que para los casos de fósforo, potasio, calcio*, magnesio y micronutrimentos, se llegaba a una decisión positiva para fertilizar si:

Requerimiento nutricional	$>$	Cantidad de nutrimentos en el suelo	$=$	Decisión positiva para fertilizar

Por lo tanto:

Requerimiento nutricional	$<$	Cantidad de nutrimentos en el suelo	$=$	Cantidad (C) de nutrimento que hay necesidad de agregar con una fuente de fertilizante

Hay necesidad ahora de calcular la cantidad real (C) de fertilizante teniendo en cuenta: a) el porcentaje de nutrimento que tiene la fuente de fertilizante escogida; b) la eficiencia del fertilizante en función del suelo.

Suponiendo:

1. Requerimiento nutricional, frijol variedad Guali: 16 kg de P/ha.

2. Cantidad de P en el suelo: 7 kg de P/ha.

   entonces, la decisión para fertilizar es positiva y el valor C, será:

   C. = 16 kg P/ha - 7 kg de P/ha = 9 kg de P/ha

*/ El calcio en este caso se está considerando desde el punto de vista nutrimental. Por lo tanto la corrección de la acidez del suelo con base en el "encalado" no está considerada en esta discusión.

Si se selecciona superfosfato triple con 20% de P (ver cuadro 11), se tendría:

$$\text{kg/ha de superfosfato triple} = \frac{9 \times 100}{20} = 45$$

y al considerar una eficiencia del 12%:

$$C = \frac{45 \times 100}{12} = 375 \text{ kg/ha de superfosfato triple}$$

3. El aspecto económico de la fertilización:

No es propósito del presente trabajo discutir el aspecto económico de la fertilización. Por lo tanto sólo se menciona para señalar al menos que existe conciencia de su importancia, sugiriéndose la revisión de bibliografía especializada en el asunto.

Cuadro 11. Contenido de nutrimentos en varios abonos comunes en Colombia (Preparado por Howeler, CIAT - 1981).

		N	P*	K* %	Ca	Mg	S
Urea		45	-	-	-	-	-
Sulfato de Amonio		20.5	-	-	-	-	23
Nitron 26		23	-	-	-	-	-
Superfosfato triple		-	20	-	14	-	-
Superfosfato simple		-	7	-	20	-	12
Escorias Thomas	aprox.	-	6.5	-	37	1	-
Fosforita huila	"	-	8	-	30	-	-
Roca fosfórica pesca	"	-	8	-	20	8	-
Fosfato de magnesio fundido		-	15	-	-	-	-
Cloruro de potasio		-	-	50	-	-	-
Sulfato de potasio		-	-	42	-	-	18
Sulfomag		-	-	18	-	11	22
Sulfato de Magnesio		-	-	-	-	10	13
Oxido de magnesio	"	-	--	-	-	32	-
Yeso comercial	"	-	-	-	14-17	-	10-13
Cal dolomítica	"	-	-	-	25-30	7-12	-
15-15-15		15	6.5	12.5	-	-	-
14-14-14		14	6.1	11.7	-	-	-
10-20-20		10	8.7	16.7	-	-	-
10-20-10		10	13.1	8.3	-	-	-
Estiércol de ganado (seco)	"	2.0	0.6	1.7	2.9	0.6	-
Gallinaza (seco)	"	2.7	1.3	2.0	7.7	0.7	-
Cachaza (seco)	"	1.5	2.4	0.4	6.7	0.9	-

Nota: P y K en forma elemental; para convetir: P_2O_5 = P x 2.29
K_2O = K x 1.20

BIBLIOGRAFIA

1. Alvarez, O.J. 1979. Interpretación de análisis de suelos y bases para la aplicación de fertilizantes. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Programa de Desarrollo y Diversificación de Zonas Cafeteras. 32 p.

2. Bravo, E. y A. Gómez. 1974. Capacidad de fijación de fósforo en seis unidades de suelos andosólicos de la zona cafetera colombiana.

3. Cardona C., C.A. Flor, F. Morales y M. Pastor-Corrales. 1981. Problemas de campo en los cultivos de frijol en América Latina. Segunda edición. Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT. Cali, Colombia.

4. Centro Internacional de Agricultura Tropical. 1981. The CIAT Bean Program. Research strategies for increasing production. Cali, Colombia. 88 p.

5. Centro Internacional de Agricultura Tropical. 1981. Bean Program 1980 Annual Report. Cali, Colombia. 87 p.

6. Centro Internacional de Agricultura Tropical. 1980. Problemas de producción de frijol: enfermedades, insectos, limitaciones edáficas y climáticas de Phaseolus vulgaris. Editado por H.F. Schwartz y G.E. Gálvez. Cali, Colombia. 424 p.

7. Feitosa, C.T., P. Ronzelli, L.D.A. de Almeida, A.A. Veiga, R. Hiroce, J.P.; N. Jorge. 1980. Adubacao NP para o feijoeiro (Phaseolus vulgaris L.) na presena e na'ausencia de calcario. R. Bras. Co. 4: 156-159 p.

8. Flor, C.A., R. Howeler y C.A. González. 1975. Zinc y boro, dos micronutrimentos limitativos para la producción de algunas cosechas en las regiones cálidas de Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical. 23 p.

9. Flor, C.A. 1979. Diagnóstico y corrección de problemas de microelementos en frijol. En "Curso de Adiestramiento en Investigación para la producción de frijol, 1979" - Centro Internacional de Agricultura Tropical. 27 p.

10. Flor, C.A. 1981. El diagnóstico de problemas en frijol. Su aplicación a los problemas de fertilidad de suelos. Programa de capacitación Científica - Frijol. Centro Internacional de Agricultura Tropical. 18 p.

11. Forsythe, W. y R. Díaz-Romeu - 1969. La densidad aparente del suelo y la interpretación del análisis de laboratorio para el campo. Revista Turrialba. Vol. 19, N°1. 128-131 p.

12. Gómez, J. 1978. Deficiencia de magnesio en los suelos ácidos colombianos. Nueva Agricultura Tropical. Septiembre - octubre. Vol. XXX 7-14 p.

13. Graham, P.H. 1978. Nitrógeno: fuentes químicas y biológicas en la fertilización del frijol. En "Curso de adiestramiento en investigación para la producción de frijol, 1979-. Centro Internacional de Agricultura Tropical. 14 p.

14. Guerrero, R. 1980. El diagnóstico químico de la fertilidad del suelo. En "Fertilidad de suelos, diagnóstico y control". Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. 141-199 p.

15. Guerrero, R. 1980. La recomendación de fertilizantes. Fundamentos y aplicaciones. En "Fertilidad de suelos, diagnóstico y control". Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. 225-267 p.

16. Howeler, R. y C.J. Medina. 1978. La fertilización en el frijol Phaseolus vulgaris" elementos mayores y secundarios. En "Curso de adiestramiento en investigación para la producción de frijol" Centro Internacional de Agricultura Tropical.

17. Howeler, R. 1980. Técnicas para establecer los requerimientos nutricionales en los cultivos. En "Curso para la Investigación en la eficiencia de fertilizantes en los trópicos, CIAT, IFDC.

18. ICA - 1971. Interpretación de análisis de suelos y recomendación de fertilizantes. Bol. Téc. N°34.

19. Laing, D. y S. Zuluaga. Efecto de la fertilización foliar en el contenido de N, P, K y carbohidratos en frijol (Phaseolus vulgaris L.) en condiciones de campo. Programa Fisiología de Frijol. Centro Internacional de Agricultura Tropical. (No publicado).

20. Legarda, L. 1981. Propiedades físicas de los suelos. En "Curso de actualización en suelos con énfasis en las condiciones de Nariño". Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. H. Burbano, editor. Pasto, Colombia.

21. León, A. 1980. El uso de rocas fosfóricas en suelos ácidos del trópico americano. En "Fertilidad de suelos, diagnóstico y control". Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. 359 - 398 p.

22. Marín, G. 1980. La fertilidad de los suelos de Colombia y las recomendaciones de fertilizantes, en "Fertilidad de suelos, diagnóstico y control". Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. 269.- 305 p.

23. Malavolta, E. 1976. Manual de química agrícola, nutriao de plantas e fertilidade do solo. Editora Agronómica Ceres Ltda. Sao Paulo. 528 p.

24. Salinas, J.G. y P.A. Sánchez. 1976. Relaciones suelo-planta que afectan las diferencias entre especies y variedades para tolerar baja disponibilidad de fósforo en el suelo. Ciencia y Cultura 28 (2) 156 - 168 p.

25. Sánchez, P. 1981. Suelos del Trópico, características y manejo. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. 634 p.

26. Thung, M. 1980. Requerimiento de los elementos nutricionales en frijol. En "Curso intensivo de adiestramiento en investigación para la producción de frijol". Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT. 47 p.

TAMIZADO PARA IDENTIFICAR FRIJOLES ADAPTADOS A SUELOS ACIDOS

Michael Thung
Jorge Ortega
Oscar Erazo

Objetivos

1. Evaluar la eficiencia del frijol en el uso de bajos niveles de fósforo en el suelo, y también la buena respuesta a fósforo adicional.

2. Evaluar la tolerancia del frijol a toxicidad de aluminio y manganeso y la buena respuesta a encalamiento adicional.

3. Identificar materiales que tengan ambas características (1 y 2).

4. Recomendar a los fitomejoradores materiales sobresalientes (3) como fuentes de eficiencia y tolerancia para mejorar su resistencia a sequía, a enfermedades, a plagas y también su arquitectura.

Introducción

Los rendimientos del frijol en América Latina, en general, son muy bajos; por ejemplo Brasil (FAO 1976) y México (Lépiz 1977), son países productores de frijol con un área de producción de 4.1 y 1.8 millones de hectáreas respectivamente y con rendimientos menores de 700 kg/ha. Estos países representan más del 70% del área sembrada con frijol, y los bajos rendimientos que allí se obtienen se deben, entre otras causas, a que en la mayoría de los casos el frijol se siembra en suelos de condiciones adversas, o más específicamente en suelos ácidos con problemas edáficos de bajo fósforo y alto contenido de aluminio y de vez en cuando aluminio y manganeso conjuntamente.

La deficiencia de fósforo es el problema nutricional más común en frijol en América Latina. En muchas regiones de Brasil, especialmente en el Campo Cerrado (Guazzelli et al. 1973) en "Terra Roxa" de Paraná y Minas Gerais en oxisoles y ultisoles de Puerto Rico (Abruña et al. 1974), y en Colombia (CIAT, 1974).

Fassbender (1967), indicó que el 66% de los suelos de la zona frijolera de Centro América es deficiente en fósforo.

La toxicidad de aluminio o aluminio y manganeso casi siempre ocurre al mismo tiempo en suelos "ácidos con baja saturación de base. Muller et al. (1968) mostró que el 20% de 110 muestras analizadas de suelos provenientes de América Central, tenían el pH menor de 6.0, mientras que el frijol crece mejor en suelos con pH entre 6.0-7.5 (Jacob et al. 1963). Miranda et al (1968), y Freitas et al. (1960), indicaron en Cerrado, Brasil la necesidad de encalamiento para reducir la toxicidad de Al.

Los suelos ácidos se encuentran frecuentemente en zonas tropicales con alta precipitación anual. Estos suelos se vuelven ácidos por muchas causas, entre ellas las más importantes son:

1. El material parental es ácido y por lo tanto los suelos derivados de éste también son ácidos.

2. Los suelos son lixiviados por las lluvias fuertes, removiendo del perfil solamente los cationes básicos (principalmente Ca, Mg y K).

3. El problema de los ácidos del suelo es incrementado por el uso excesivo de fertilizantes formadores de ácidos, por ejemplo, todos los fertilizantes nitrogenados son formas ácidas a excepción de cianamida de calcio (Ca CN2).

Los suelos ácidos presentan un ambiente no favorable para el crecimiento del frijol por muchos factores, los cuales son:

1. Bajo contenido de fósforo.

2. Alta capacidad de fijación de fósforo que resulta con deficiencia de fósforo disponible.

3. Altos niveles de Al solo, o Al + Mn que llega a nivel tóxico para el frijol.

4. Deficiencia de elementos esenciales como Ca, Mg, Mo y S.

5. Efecto directo de alta concentración de H + Al (Bolliard y Buttler, 1966).

Además de los factores anteriores, existe la influencia de materia orgánica del suelo y la irregularidad de lluvia, que también limita la producción alta de frijol Phaseolus vulgaris L. (Wolf, 1975).

Generalmente sólo los suelos ácidos y además arenosos y bastante lixivados presentan deficiencia total de Ca, Mg y Zn para el crecimiento de la planta. Por otro lado, un exceso de Al y Mn puede interferir la absorción de Ca, Mg y P y el uso por parte de la planta. Sin embargo, es difícil estudiar estos factores por separado debido a que estos elementos reaccionan entre sí y con otros elementos. El Al reacciona con Ca, P y Mg en el suelo y en la planta, y el Mn reacciona con el P, Fe y Si.

Desafortunadamente los suelos de la mayoría de las áreas productoras de frijol en América Latina tienen un pH inferior a 6.0 (Muller et al. 1968) y la deficiencia de P es común. El único método de mejorar los suelos con pH inferiores a 5.0, es por encalamiento. La aplicación de Ca CO3 se hace principalmente para mantener los Al+++ intercambiables por debajo de los niveles tóxicos, en vez de aumentar el pH del suelo. El frijol, como miembro de la familia de las leguminosas, es más sensible a la toxicidad por Al y Mn; por tanto, necesita niveles más altos de Ca que otros cultivos ó gramíneas.

Para identificar el frijol con eficiencia a bajos niveles de fósforo, el problema del complejo Al y Mn debe ser controlado por encalamiento. Pero un encalamiento exagerado podría inducir a una deficiencia de Zn y B. La aplicación adecuada de fertilizantes fosforados para suplir la necesidad de la planta y así tener un rendimiento máximo, está fuera del alcance del agricultor y no está de acuerdo con la política de CIAT de insumos mínimos. Además, los fertilizantes fosforados son costosos y no es probable que bajen de precio.

Es más: se sabe que el P aplicado al suelo tiene una baja eficiencia. Se estima que la planta de frijol utiliza entre el 10 y el 30% del fertilizante aplicado. (Kick et al. 1972). En 1967 Cobra calculó que

solamente 9.1 kg P/ha es absorbido por la planta y que se exporta solamente 3.6 kg P/ha a través de 1000 kg de semilla. Este dato no es muy elevado comparado con los datos de Haag (1967), que calculó 3.2 kg P/ha a través de 1000 kg de semillas. Por regla general, entre más deficiencia de P tenga el suelo, menos eficiente es la planta en este tipo de suelo para absorber el P añadido (como fertilizante). Por las razones aducidas es mejor buscar una planta eficiente en el uso de fósforo y tolerante a toxicidad de Al en condiciones normales de suelos ácidos, que mejorar los suelos. Pero no se trata de buscar plantas que pueden crecer sin fósforo.

Esta es la nueva tendencia de la investigación.

Antes de entrar en la metodología del "Tamizado" se necesita aprender más sobre la naturaleza del fósforo, aluminio, manganeso y su interrelación en la planta.

Fósforo en el suelo y su deficiencia en frijol

El fósforo en el suelo está sujeto a cambios constantes, y el proceso es muy complicado. Este fósforo puede dividirse en tres formas de ocurrencia en el suelo, que son:

1. El fósforo es disponible directamente a través de la solución del suelo para las plantas.

2. El fósforo es inestable. Este tipo de fósforo se fija ligeramente y con el tiempo puede ser transformado en una forma disponible para la planta.

3. El fósforo que la planta no puede aprovechar porque se fija pronto.

La relación entre estas tres formas se puede explicar con más claridad en la ilustración de la página siguiente.

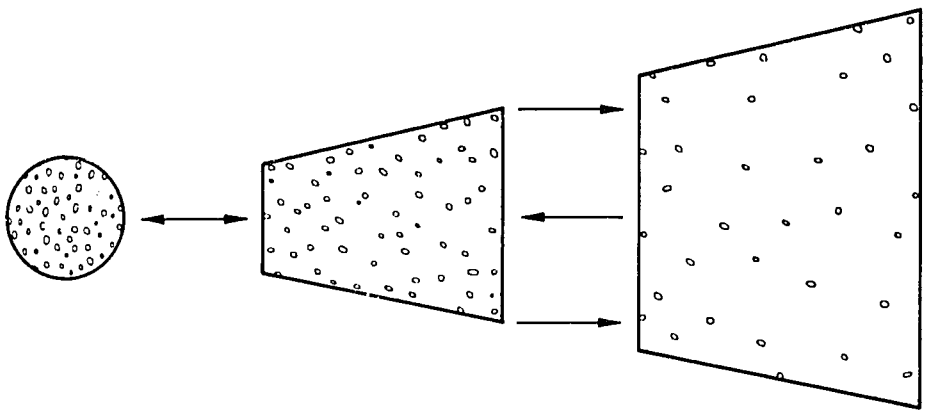
En general, la disponibilidad del fósforo disminuye con la acidez del suelo.

La deficiencia de fósforo en la planta de frijol se manifiesta en el cambio del color de las hojas a verde oscuro, porque el crecimiento de la planta es inicialmente más afectada que la producción de clorofila, (Hecht Buchholz, 1968). Después, las hojas inferiores se vuelven amarillas con bordes necróticos y defoliación temprana.

La planta en general es erecta, pequeña, con tallos muy delgados y sus entrenudos son cortos. La planta no ramifica tanto como en condiciones normales. La época de floración tarda, pero la maduración fisiológica es más corta. La extensión de la raíz en el suelo es limitada por poco crecimiento. La raíz principal es muy corta y de vez en cuando se nota como raíz principal otras veces parece raíz de gramínea.

Aluminio en el suelo y su toxicidad en frijol

Dentro de los elementos mayores que forman la costra de tierra, el aluminio ocupa el segundo lugar (Scheffer et al, 1970). Pero esta gran cantidad no es dañina, si este aluminio no está en forma asimilable por la planta.



Fosfato en solución del suelo aprovechable por la planta.

Fosfato inestable parcialmente aprovechable por la planta.

Fosfato fijado no aprovechable por la planta.

En los suelos ácidos el catión Al+++ y (Al OH)++ son tóxicos para el frijol como planta muy susceptible a este elemento.

La toxicidad de aluminio afecta más a las raíces que a la parte aérea en la primera época de crecimiento. El aluminio afecta las raíces inhibiendo la división celular y el desarrollo del sistema radicular (Macleod and Jackson, 1967, Fleming et al. 1968, Foy, 1974). La planta susceptible absorbe más aluminio y lo va acumulando superficialmente o dentro de sus raíces. Por eso detiene el desarrollo de las raíces, como efecto directo, y disminuye el crecimiento de la planta en general, como efecto secundario. También el aluminio reduce la absorción de fósforo por la planta debido a que el fósforo en solución del suelo reacciona con aluminio y forma fosfato de aluminio, el cual no es disponible para la planta. Dentro de la planta también ocurre esta reacción, debido a la deficiencia más severa de P en la planta.

Lo anteriormente mencionado explica por qué el síntoma de toxicidad de aluminio aparece de vez en cuando con deficiencia de fósforo.

El síntoma de toxicidad de aluminio en frijol, generalmente se presenta en una planta pequeña. Las hojas jóvenes se vuelven amarillas. Si la toxicidad es muy grave, aparecen necrozamientos en las hojas, empezando por los márgenes. Las raíces son las partes más afectadas por Al; por esta razón se utiliza como parámetro de tolerancia en muchas investigaciones (Armiger et al. 1968, Reid et al. 1971, y Kerridge et al. 1971).

Manganeso en el suelo y su toxicidad en frijol

En el suelo, el manganeso se encuentra en tres formas: Mn++, Mn+++, y Mn++++; solamente Mn++ es asimilable por la planta, y está en complejo de

absorción o libre en la solución del suelo. Suelos ácidos de ceniza volcánica como andosoles, tienen un alto contenido de este elemento y causa mucho daño al frijol. Mn^{+++} y Mn^{++++} pueden ser fácilmente reducidos a Mn^{++}, si el terreno está sujeto a inundación temporal durante la época de lluvia.

La absorción de manganeso y su transporte en la planta ocurre en la forma iónica de Mn^{++}, este elemento es poco móvil porque el no puede pasar el floema (Van Goor et al. 1974). Por eso Mn se acumula y queda en las hojas de la planta. La planta de frijol puede absorber bastante Mn antes de producir síntoma tóxico y bajo rendimiento. El contenido hasta 1000 ppm no es raro en las hojas.

La toxicidad de manganeso en frijol se manifiesta por el amarillamiento entre nervaduras, deformación y encocamiento de las hojas del cogollo, y necrosis en las hojas viejas si la toxicidad es grave. Las raíces no se afectan directamente sino en forma secundaria después de deteriorarse el follaje. Hay dos teorías para explicar estos síntomas de toxicidad del manganeso, que son:

1. Efecto directo del elemento de manganeso a la planta.

2. Efecto indirecto que induce a deficiencia de hierro.

En las hojas, Mn reemplaza a Fe en forma directa o Mn oxida Fe^{++} a Fe^{+++}; este Fe^{+++} forma quelato de hierro y Fe^{++}, que queda escaso y produce síntomas de deficiencia de hierro.

Variación genética del frijol en el uso del fósforo bajo condiciones adversas (bajo fósforo y alta toxicidad del aluminio y manganeso)

Existe gran evidencia de la variación genética del frijol en cuanto a su eficiencia en el uso de fósforo y tolerancia a la toxicidad de aluminio y manganeso. Algunas variedades comerciales de Brasil como Carioca, Mulatinho 349 (G5059) no solamente son eficientes en el uso del fósforo, sino también tolerantes a un nivel moderadamente alto de aluminio y manganeso, mientras que las variedades comerciales de América Central y Colombia son susceptibles a estas condiciones adversas de suelos. El frijol de color negro no es más tolerante o eficiente que otros colores. Nuestros datos recientes muestran que el color de los granos negros es igual a otros colores en su eficiencia a bajos niveles de fósforo y su tolerancia a toxicidad de aluminio y manganeso (Cuadro 1).

Lindgren (1976), CIAT (1976) y Gerloft (1963) han evidenciado la variación de eficiencia en el uso del fósforo. Mientras Gabelman (1976) y Whiteaker (1972) confirmaron la heredabilidad de este factor en la habichuela (poroto verde de Phaseolus vulgaris L.)

Metodología de "Tamizado"

Muchos investigadores tratan de producir un método a través de ensayos en casa de malla, invernadero o campo, con el fin de que se facilite manejar grandes cantidades de materiales en un tiempo relativamente corto, barato y confiable o con una buena correlación en el rendimiento final. En el caso del frijol son los granos. En el caso de eficiencia de la planta en condiciones de bajo fósforo, se usan diferentes parámetros derivados de diferentes órganos de la planta. Whiteaker (1972) usó parámetro de eficiencia en el uso del fósforo:

Cuadro 1. Padres con eficiencia a bajo fósforo

	Identificación	Hábito	Grano	
			Tamaño	Color
1.	Carioca	III	pequeño	crema rayado
2.	G 4000	II	pequeño	gris
3.	G 5059 (P786)	II	pequeño	crema
4.	G 5201 (P2)	II	pequeño	negro
5.	Iguau	II	pequeño	negro
6.	Rio Tibagi	II	pequeño	negro

$$E.U.F. = \frac{\text{Total mg parte aérea de la planta}}{\text{Total mg P en parte aérea de la planta}}$$

Mclachlan (1976) usó la actividad de la enzima fosfatasa en las raíces, mientras Salinas et al. (1975) usó la tasa relativa de extensión en las raíces. Todos informaron buena correlación entre sus parámetros y el rendimiento final. En el caso de tolerancia de la planta a nivel alto de aluminio en el suelo, la mayoría de investigadores están de acuerdo en usar las raíces (partes de la planta más afectadas por toxicidad de aluminio) como índices de tolerancia; Foy (1974) usó índice de crecimiento de raíces; Reid et al. (1978) intensidad de color de raíces; Hanson et al. (1979) la actividad de enzima ATP en las raíces. También al final todos aseguraron que usando su parámetro tiene buena correlación con el rendimiento.

En ambos casos, tanto para el estudio del aluminio como del fósforo, se usan parámetros de una parte de la planta que la dañan durante el proceso de evaluación, lo que hace imposible usar la misma planta para producir semilla, excepto en el método de Polle et al. (1978), quienes sostienen que la planta se puede recuperar después con un tratamiento de hematocilina. Por esta razón, es difícil hacer la evaluación en generaciones tempranas y al mismo tiempo garantizar la identidad genética del material seleccionado, salvo que se pudieran detectar plantas genéticamente iguales en una población segregante.

Otro factor que se debe tener en cuenta, es que en las semillas (granos) hay alto contenido de fósforo. Si la selección ocurre en la época vegetativa de la planta, se supone que durante el resto del ciclo de vegetación, la planta tiene la misma capacidad de absorción e ignora la alta actividad de movilización de fosfato durante la época de llenado de las vainas. Haag et al. (1976) mostró que la absorción máxima de P culmina en la época de formación de vainas y mantiene este nivel de absorción hasta la maduración fisiológica, mientras que de la germinación hasta prefloración, la absorción es muy baja.

Debido a lo anterior, es preferible hacer el "tamizado" en el campo; además, todavía hay inconsistencias en los resultados de la evaluación bajo condiciones artificiales, comparado con los resultados de campo en maíz (Brown et al. (1974)), y con habichuelas (Foy, 1976).

Para facilitar la separación de los materiales en categorías: eficiente o ineficiente, se utilizan rendimientos (granos) como parámetro. No se usa otro parámetro indirecto antes de saber el mecanismo de eficiencia o tolerancia en el cultivo del frijol. También se observó que el vigor de crecimiento del cultivo en cualquier etapa, no tiene correlación clara con el rendimiento final. Las plantas pueden crecer perfectamente bien con bajos niveles de P hasta el período de formación de vainas. Sin embargo en la etapa de llenado de vainas, en las parcelas "con stress de P", no se llenan todas las vainas formadas, lo que sí sucede en las parcelas bajo condiciones "sin stress de P".

Por estas razones la evaluación de materiales del programa Agronomía de Frijol - Pruebas Preliminares, se lleva a cabo en el campo. (Ver Figura 1, esquema del "tamizado").

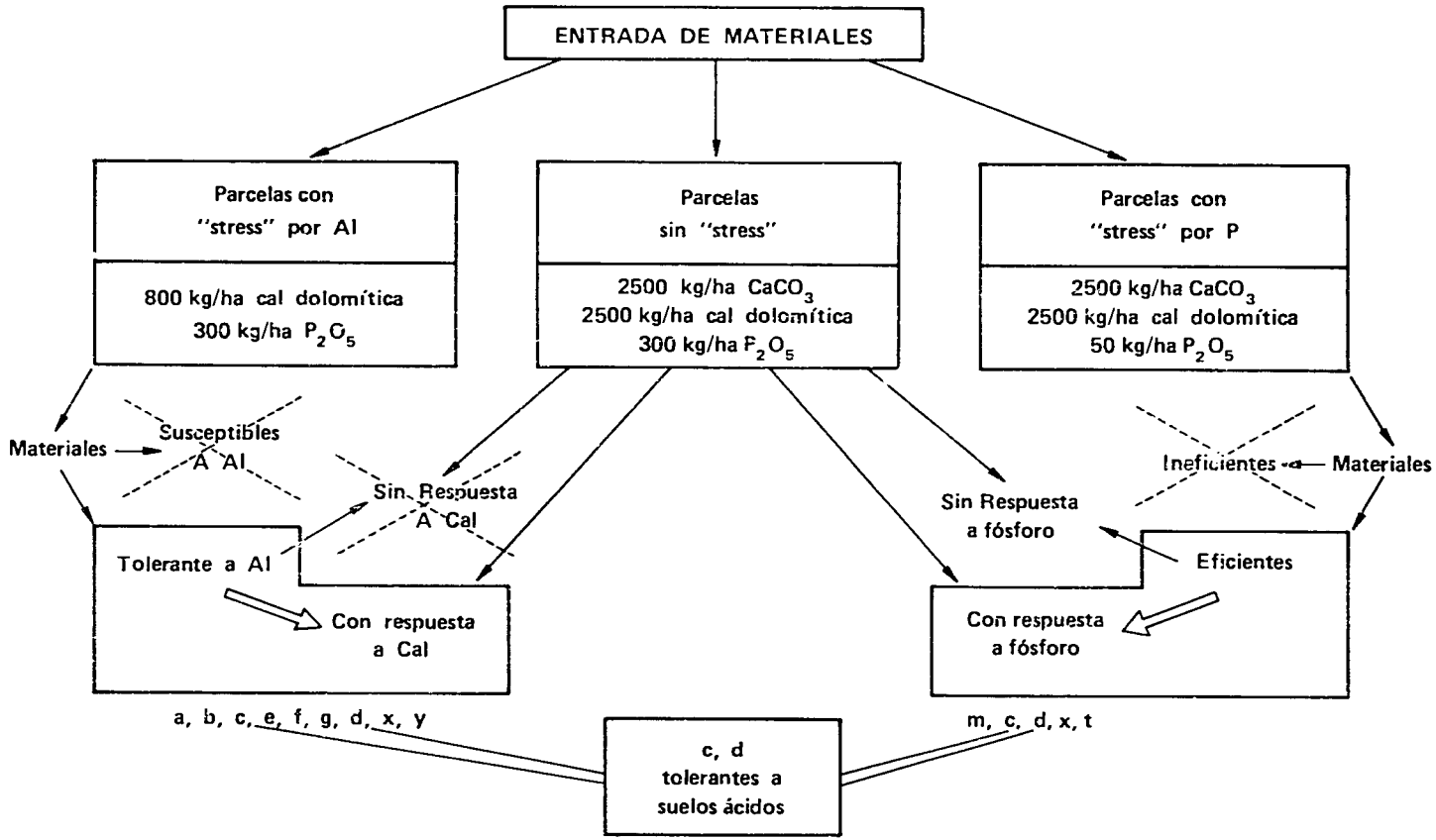


Figura 1. Esquema del tamizado.

Técnicas en el campo

Sitio

Hay muchas zonas que tienen solamente el problema de bajo fósforo sin alta toxicidad de aluminio; por ejemplo, Cerrado y "Terra Roxa" Goias, Brasil. Pero también hay sitios que poseen todos los problemas (alta toxicidad de Al + Mn y bajo nivel de P). La fertilidad de una zona a otra varía lo mismo que su nivel de toxicidad de aluminio y manganeso o sólo aluminio. Esto implica que la evaluación en el campo necesita un ensayo preliminar para determinar los niveles de stress, ya sea por aluminio y manganeso o también por fósforo.

Determinación del nivel de stress por aluminio y manganeso

El determinar el nivel de stress por aluminio y manganeso puede hacerse por el sencillo método de encalamiento en el campo. Se hace un ensayo de encalamiento con diferentes niveles de cal agrícola o cal dolomítica aplicada al voleo y se siembran en él varios materiales de frijol, incluyendo materiales tolerantes como Carioca (G 4017), Río Tibaji (G4830), Mulatinho (G 5059) y también materiales susceptibles como Puebla 152 negro (G3352), Sanilac (G4498), Zamorano 2 (G4482). Afortunadamente, con encalamiento mínimo y alta materia orgánica en el suelo de CIAT-Quilichao, se elimina "efecto de toxicidad" de manganeso antes de eliminar "efecto de toxicidad" de aluminio. Con este conocimiento se puede llevar a cabo una evaluación de stress por aluminio sin preocuparse del efecto de manganeso.

La toxicidad de aluminio se calcula a través de la saturación del mismo en el suelo, de acuerdo con sugerencia de Pearson 1974, y se obtiene con la siguiente fórmula:

$$\text{Saturación de Al}(\%) = \frac{100 \times Al}{Al + Ca + Mg + K}$$

donde las cantidades de cationes se toman en unidades de miligramo equivalentes en 100 gramos de suelo.

Los resultados de este tipo de ensayo se pueden ver en la figura 2, como ejemplo. De esta figura se puede tomar el nivel de stress por Al, donde su valor de saturación está más o menos estable después del encalamiento. En este caso 800 kg $CaCO_3$ equivalente, o 65% de saturación de aluminio, es suficiente bajo condiciones en CIAT-Quilichao. Menos de esta dosis, la saturación de aluminio fluctúa erráticamente por la dificultad en la aplicación de cal homogénea en el campo. El nivel de saturación de aluminio parece bastante alto, pero si se mira el análisis de suelo de CIAT Quilichao, se puede explicar por razón del alto contenido de materia orgánica que ayuda a amortiguar la toxicidad de aluminio a través de su complejo de absorción.

Si se aplica una dosis más alta que este nivel de stress, tanto las plantas susceptibles como las plantas tolerantes crecen y producen bien.

También en este ensayo se puede determinar la dosis sin stress por aluminio, es decir, que el contenido de aluminio no afecta más el crecimiento del frijol. Según la figura 2, se puede estimar que la dosis de más de 4.000 kg $CaCO_3$ equivalente, es suficiente para reducir (no

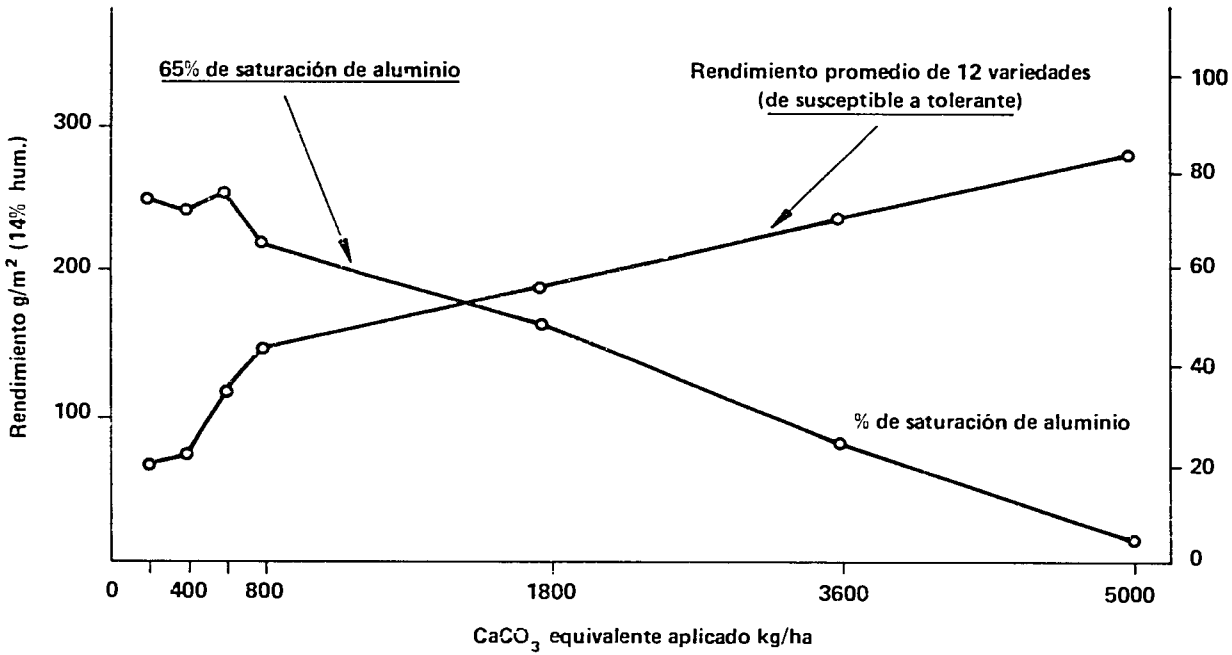


Figura 2. Efecto de la saturación de Al durante la época de floración, en rendimiento de 12 variedades de frijol en CIAT-Quilichao, 1979A. (CV = 22%; DMS 0.05 = 40).

eliminar) el efecto de toxicidad de aluminio, porque dentro de esta dosis la saturación de aluminio está alrededor de 10 que se supone suficiente para el crecimiento del frijol. La aplicación de más de 6.000 kg $CaCO_3$ equivalente, puede causar otros problemas como por ejemplo la movilización o fijación de muchos elementos Zn y B, así como fijación de fósforo. También el exceso en la aplicación de cal puede causar algunas enfermedades en las raíces del frijol, y económicamente no es aceptable.

Determinación del nivel de stress por fósforo

Con el mismo sistema como se determina el stress por aluminio, se hacen ensayos para niveles de fósforo, usando también diferentes materiales de frijol.

Los niveles de fósforo se deben ensayar cuidadosamente, porque la dosis es muy pequeña y se aplica en banda. Los datos de análisis de suelo no se pueden usar para determinar el requerimiento de fósforo ni tampoco para determinar nivel crítico de fósforo. Bajo condiciones de CIAT-Quilichao, el frijol puede crecer perfectamente con nivel de fósforo alrededor de 4 ppm con extracción Bray II y 2.000 kg $CaCO_3$ equivalente, mientras que en otros países con 4 ppm, no crece ni una planta de frijol. Esta diferencia se puede deducir por el contenido de materia orgánica, al cual se fija el fósforo temporalmente.

Para determinar el nivel de stress por fósforo, se necesita hacer una gráfica como en la figura 3, donde los puntos representan un dato de cada repetición y la dispersión de los puntos es máxima, es decir, que la diferenciación de los materiales es la más marcada. Este punto es usado como nivel de stress por fósforo.

También se puede usar la estadística. Aquí se determina la mayor desviación, como niveles de stress por fósforo.

El nivel sin stress se determina al contrario del nivel de stress. Aquí se buscan los puntos que estén más cerca entre sí. La diferencia que existe de los puntos, se supone como la diferencia del nivel de rendimiento máximo de materiales.

El nivel sin stress de fósforo tiene un límite; si se aplica en exceso, puede dañar la relación entre elemento y también económicamente no se puede, dado su alto costo.

Tratamientos del "tamizado" simultáneo

Después de saber los niveles de stress de aluminio y fósforo, y también los niveles sin stress u óptimo de cal y fósforo, se pueden combinar estos niveles para hacer un "tamizado" simultáneo, como se ve en la figura 1. Cada parcela representa un tratamiento llevado a cabo, por lo menos con tres repeticiones.

Tratamiento I: Parcelas con stress por Al pero con suficiente fósforo.

Tratamiento II: Parcelas con stress por fósforo pero sin stress de Al*.

Tratamiento III: Parcelas óptimas (sin stress por aluminio y por fósforo).

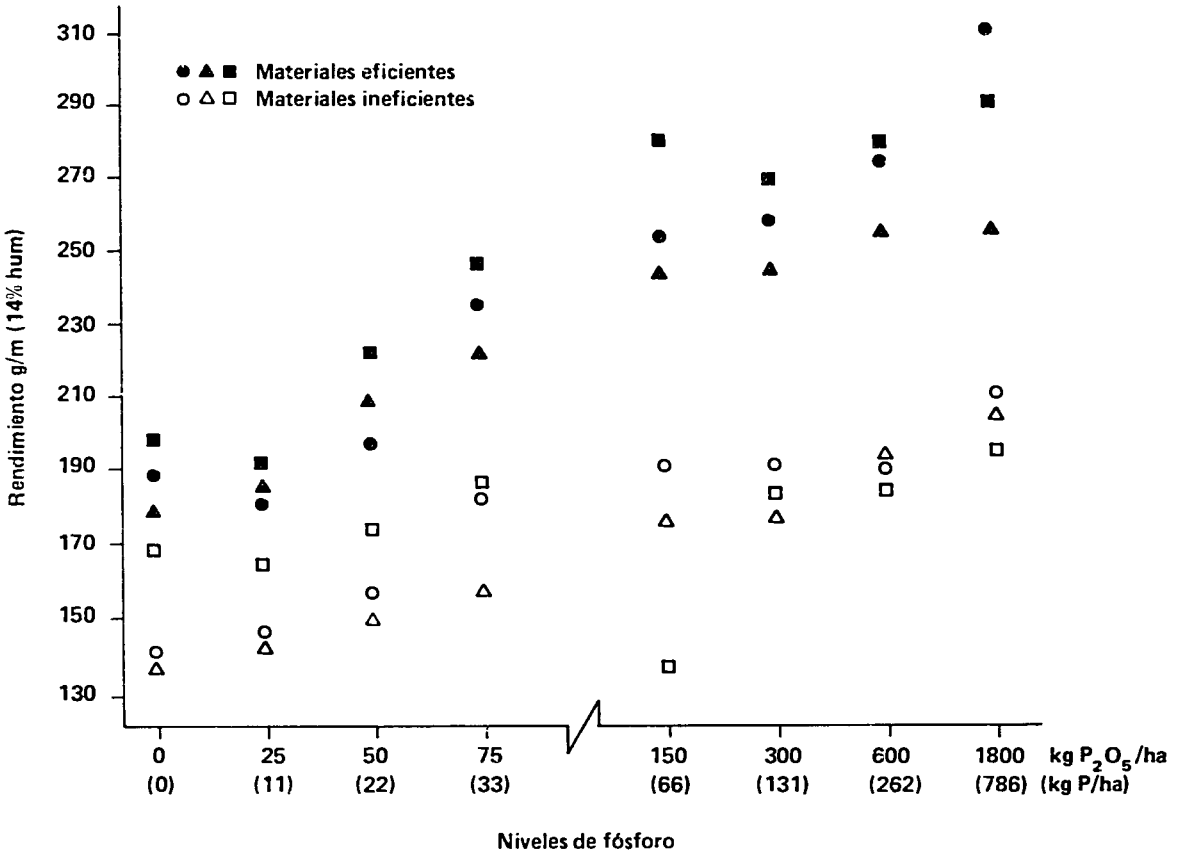


Figura 3. Efecto de fósforo en la producción de frijol (CIAT-Quilichao 1979).

Tratamiento III: Tratamiento I= efecto de aluminio Tratamiento III.
Tratamiento II= efecto de fósforo.

* (Con suficiente aplicación de cal)

Preparación de tierra para siembra y selección a grande escala.

Después de conocer los niveles de stress por Al, por P y niveles sin stress, se prepara el campo para encalamiento. Si se necesitan 800 kg o 4.000 kg CaCO3 equivalente, la mitad se aplica al voleo y se incorpora tan profundamente como sea posible (con arado de reja o vertedera); la otra mitad se aplica al voleo antes de sembrar mientras la úrea se aplica separadamente por ser higroscópica (ver apéndice 1 para tratamiento correctivo en CIAT-Quilichao). Se siembra en exceso (20% más) una hilera de tres metros, con una distancia de 0.6 m entre hileras. Se debe lograr una población de 25 plantas/m2 después del raleo; dos semanas después de la germinación. Se usan tres aplicaciones. Los materiales deben separarse de acuerdo con el hábito de crecimiento. Los hábitos de crecimiento I y II pueden sembrarse lado a lado, mientras que los del hábito de crecimiento III deben sembrarse juntos para lograr un cierto grado de competencia dentro del hábito de crecimiento y no de un hábito a otro. Sólo se cosechan los dos metros internos dejando bordes de medio metro en cada punta.

Modificaciones a la metodología de "tamizado"

En base a los resultados obtenidos con la metodología de "tamizado", en condiciones de campo, en los suelos de la subestación de "Quilichao", se procedió con algunas modificaciones. La evaluación se separó en tres etapas (I, II y III), que incluyen los siguientes aspectos:

Etapa I: Integrada por líneas de frijol entre 200 y 300, que conforman los EP (Ensayos Uniformes, Preliminares de Rendimiento); además de siete testigos: Carioca, Puebla 152, Mulatinho G 5059, Mulatinho G 5054, Rio Tibaji G 4830, Iguacu G 4821, ICA Pijao; evaluados como tolerantes a condiciones de suelo ácidos. Al tiempo se pueden evaluar también líneas avanzadas de los mejoradores y/o de los viveros de adaptación y los Pre-VEF. Cada material se siembra en parcelas de 4 surcos por 3 metros de largo, distanciados a 60 cm y agrupados por hábito y color de grano. Los tratamientos que incluye esta etapa son: stress por fósforo y stress por aluminio. En stress por fósforo se aplica 1 ton/ha de Ca CO3 equivalente por semestre, al voleo e incorporada, 75 kg/ha de P2 O5 como superfosfato triple 46%, en banda en el fondo del surco, 60 kg/ha de nitrógeno como Urea 46%, 60 kg/ha de K2O como KCl 60%, aplicados en banda; micronutrimentos, B y Zn, foliarmente al 0.52, de acuerdo con manifestación de síntomas deficitarios.

En stress por aluminio, se aplica 500 kg/ha de Ca CO3 equivalente, 220 kg/ha de P2 O5 como SFT 46%, 60 kg/ha de N como urea 46%, 60 kg/ha de K2O como KCl 60% y micronutrimentos; aplicados en igual forma que para el tratamiento de stress por fósforo. No incluye replicaciones, se toman datos sobre adaptación (escala 1: bueno - 5: malo) y se cosechan los dos surcos centrales para evaluación de rendimiento y sus componentes, al 14% de humedad. El cultivo se protege contra plagas y/o enfermedades, y antes de siembra y después de cosecha se hace un análisis completo de suelos a 0-20 y 20-40 cm de profundidad.

Etapa II: Formada por aquellos materiales de frijol, (50-80), que muestran en Etapa I buena adaptación y rendimientos, y los mismos testigos de Etapa I. Consta de tres tratamientos: sin stress, stress por fósforo, stress por aluminio, que se distribuyen en forma bloqueada con un diseño de bloques al azar y con tres replicaciones. El tamaño de parcela por material es de 4 surcos por 3 metros de largo a 60 cm de distancia. Se cosechan los dos surcos centrales. Se registran datos fenológicos (días a germinación, días a floración, días a madurez fisiológica) y componentes de rendimiento, (número de plantas por parcela, número de vainas de cinco plantas, número de granos de cinco plantas, peso de granos de cinco plantas, peso total en gr/parcela al 14% de humedad), para el correspondiente análisis de varianza.

El tratamiento sin stress consta de: 2.5 ton/ha de CaCO3 equivalente por semestre, 300 kg/ha de P2 O5 como SFT 46%, fertilización basal, al suelo, de: N:100 kg/ha como urea 46%, K20: 100 kg/ha como KCl 60%, S elemental: 20 kg/ha, 1 kg/ha de Mg (20 kg/ha de MgSO4), Molibdeno: 1 kg/ha (1 kg/ha de Molibdato de Sodio y/o Amonio).

El tratamiento de stress por fósforo consta de: 1 ton/ha de CaCO3 equivalente, por semestre, 50 kg/ha de P2 O5 como SFT 46%; y los demás nutrimentos al igual que en stress por fósforo de Etapa I.

En stress por aluminio se aplica por semestre 500 kg/ha de Ca CO3 equivalente, 200 kg/ha de P2 O5 como SFT 46%; y los otros nutrimentos al igual que para el stress por fósforo de Etapa I.

Etapa III: Incluye los materiales de frijol, alrededor de 15 más los siete testigos de Etapa I, que han sobresalido en Etapa II por sus buenos rendimientos de grano seco. Consta de los tratamientos descritos en Etapa II, distribuídos en bloques al azar con cuatro replicaciones. El tamaño de parcela por material es de 5 surcos por 4 metros de largo y a 60 cm de distancia. El manejo agronómico es igual para Etapas I y II; se cosechan los tres surcos centrales y se registran los datos que se tienen en cuenta en la Etapa II.

El tratamiento sin stress es igual al comentado para la Etapa II. El de stress por fósforo recibe 1 ton/ha de Ca CO3 equivalente por semestre, 30 kg/ha de P2 O5 como SFT 46% y los otros nutrimentos al igual que en Etapas I y II.

El de stress por aluminio consta de 400 kg/ha de Ca CO3 equivalente por semestre, 180 kg/ha de P2 O5 como SFT 46% y el resto de nutrimentos igual que en etapas anteriores.

Es importante destacar que los niveles de stress para fósforo y aluminio, se han establecido para las condiciones de los ultisoles de Quilichao, los cuales deben irse manejando teniendo en cuenta el efecto residual, para ello se recomienda el análisis completo de suelos antes y después de cada cosecha. Además, los niveles propuestos, no necesariamente pueden ser válidos para otros suelos y/o ambientes y es necesario establecerlos en cada lugar y/o país.

Recolección de la información

1. Fenológica

   a. Días a la germinación (cuando haya germinado el 50%)
   b. Tasa de germinación.
   c. Días a floración.
   d. Días a la madurez fisiológica.

2. Análisis de rendimiento

   a. Número de plantas cosechadas.
   b. Número de vainas llenas/planta (muestra de 5 plantas/hilera).
   c. Número de vainas/planta.
   d. Rendimiento g/m2 con una humedad del 14%.

Evaluación de los datos

Una evaluación estadística no daría resultados satisfactorios puesto que las diferencias en rendimiento de materiales son demasiado grandes. El principal objetivo es observar la estabilidad del rendimiento de las tres o cuatro replicaciones dentro de un hábito de crecimiento. De ser necesario ésto puede reducirse aún más a grupos de color de la semilla.

Se siembran siempre en cada ensayo a tamizar los mismos materiales estándar. Estos materiales pueden usarse siempre para medir la importancia relativa de las diferencias entre semillas, porque el rendimiento está sujeto a condiciones climatológicas, y los materiales estándar se usan como factor correctivo.

Antes de seleccionar los materiales para separarlos según su característica, se necesitan dos parámetros adicionales derivados del rendimiento y su tratamiento para medir sus respuestas.

1. $$A = \frac{\text{Rendimiento en parcelas sin stress-Rend. en parcela con stress por P.}}{\text{Diferencia de P2 O5 kg/ha en parcela sin stress y en parcelas con stress por P.}}$$

No se usan ppm de P en el suelo porque los datos de análisis químico del suelo para P dependen mucho de condiciones hídricas y del tiempo después de aplicarse.

2. $$B = \frac{\text{Rendimiento en parcela sin stress-Rend. en parcela con stress por Al.}}{\text{Diferencia de saturación de aluminio (\%) en parcela con stress y sin stress por Al.}}$$

Los materiales de un grupo (según el color de granos o su hábito de crecimiento) pueden clasificarse con la ayuda del parámetro y promedio del rendimiento de parcelas con "stress" de este grupo.

La Figura 4, muestra la clasificación de eficiencia y su respuesta a la aplicación de fertilizante fosfórico. En el eje X se coloca el rendimiento de materiales bajo stress por P; y en el eje Y se coloca su valor A.

La línea promedia del rendimiento (en este caso 99 gm/m2), divide los materiales en dos grupos. En la izquierda son materiales ineficientes, mientras que en la derecha son materiales eficientes. Mientras que la línea promedia de A (en este caso 2.2 kg/kg P2 O5) separa los materiales con respuesta, arriba en la línea, y los materiales sin respuesta abajo de la línea promedia de A. De esta manera podemos definir los materiales en cuatro categorías:

1. Planta eficiente de buena respuesta (ECR) - Una planta de buen rendimiento tanto en condiciones de stress de P, como en suministro adecuado de P.
2. Planta eficiente sin respuesta (ESR) - Esta producirá bien bajo un stress de P, pero no rinde igual que otras plantas bajo condiciones óptimas de disponibilidad de P.
3. Planta ineficiente sin respuesta (ISR) - Esta es una planta genéticamente pobre que no produce bien bajo condiciones adecuadas o inadecuadas de fósforo.
4. Planta ineficiente con respuesta (ICR) - Una planta que produce menos bajo un stress de P, pero que produce la misma cantidad o más que la planta eficiente con una disponibilidad adecuada de P.

Esta clasificación se puede ver más clara en la Fig. 5.

Las plantas de categoría 3 las descartamos inmediatamente, y las plantas de categoría 2 las podemos usar directamente para los pequeños agricultores que no tienen la costumbre o no son capaces de fertilizar. Las plantas de categoría 4 se pueden entregar a los agricultores que usan fertilizantes, si el valor económico de los materiales (color, tamaño de grano) es aceptable. La categoría 1 se puede usar directamente para pequeños agricultores. Estos materiales se usan como fuente de tolerancia o eficiencia en el programa, con el fin de mejorar los materiales e incorporar la resistencia de algunas enfermedades importantes.

Es interesante que los resultados confirman el postulado de Lynes (1938), según el cual: "los materiales más eficientes bajo condiciones adversas, no necesariamente son los mejores en óptimas condiciones" (Fig. 6).

El efecto de nitrógeno en el "tamizado" es también muy importante. Si se efectúa un "tamizado" con suministro de nitrógeno inadecuado, la respuesta de variedades al fertilizante fosfórico se confunde con el efecto negativo por nitrógeno (Fig. 7). Por eso es necesario aplicar suficiente nitrógeno al ensayo como en el caso de CIAT-Quilichao, se aplica 100 kg N/ha en forma de urea.

La eficiencia en el uso de fósforo, adicional, varía entre los semestres por influencia del sistema agroclimático. En la figura 8 se vé que varían entre 2.41 y 1.11 para 1978A y 1978B, respectivamente. Pero la clasificación de los materiales eficientes queda constante, aunque el promedio de rendimiento bajo condiciones de "stress" por P está reducido en el segundo semestre (1978B). Solamente algunos materiales no quedan constantes.

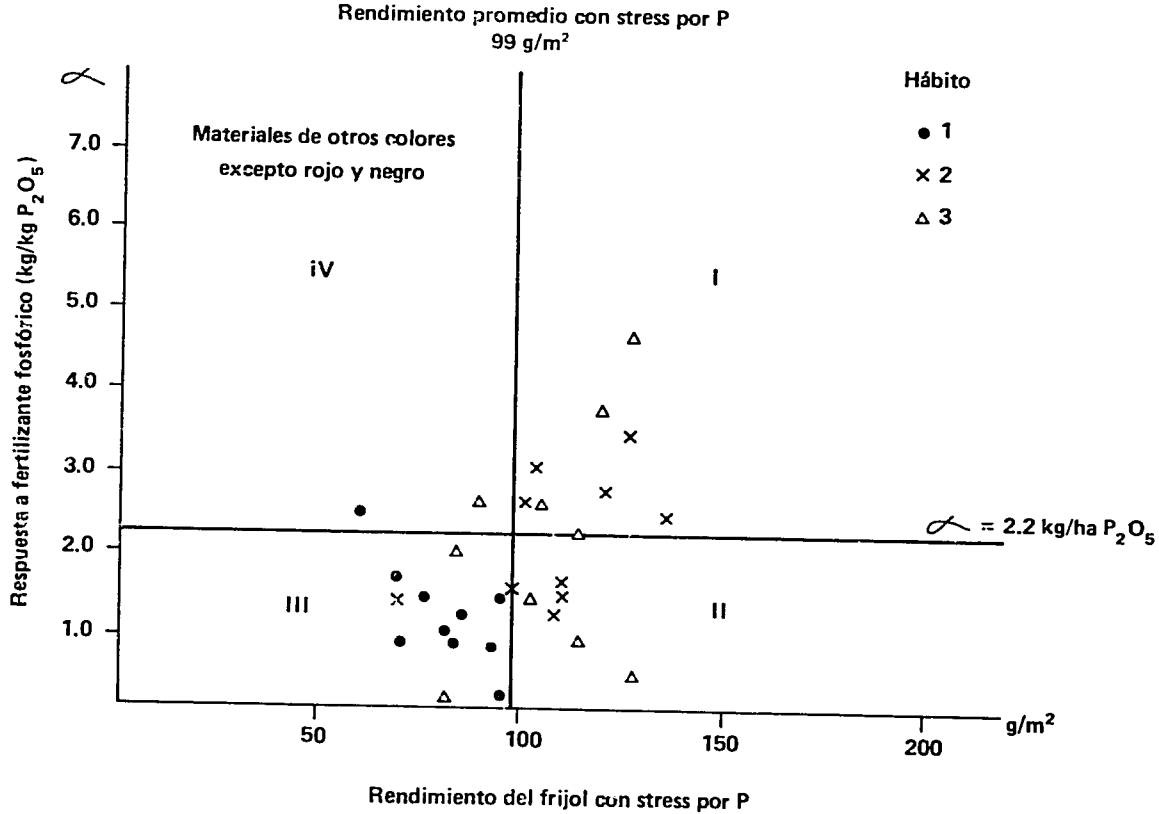


Figura 4. Evaluación de materiales para su eficiencia y respuesta a fertilizante fosfórico en CIAT-Quilichao.

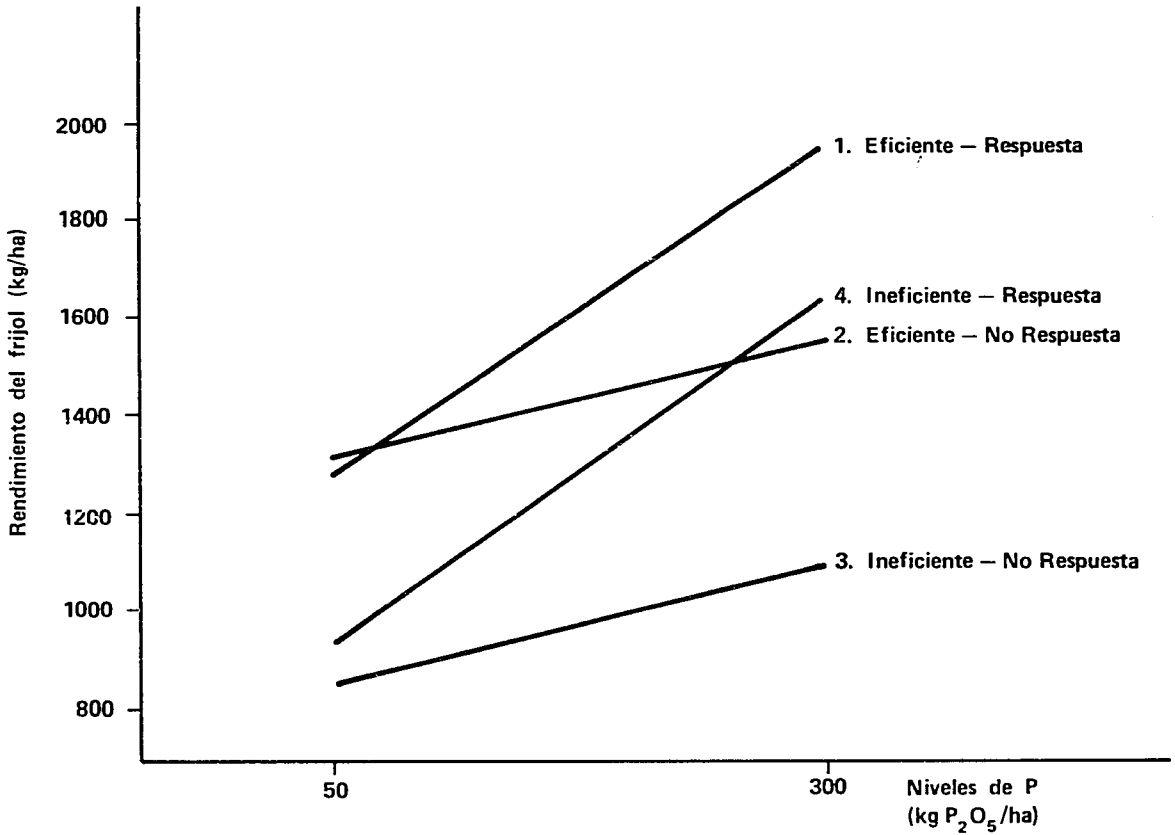


Figura 5. Diferentes curvas de respuesta de *Phaseolus vulgaris* L. a niveles de P.

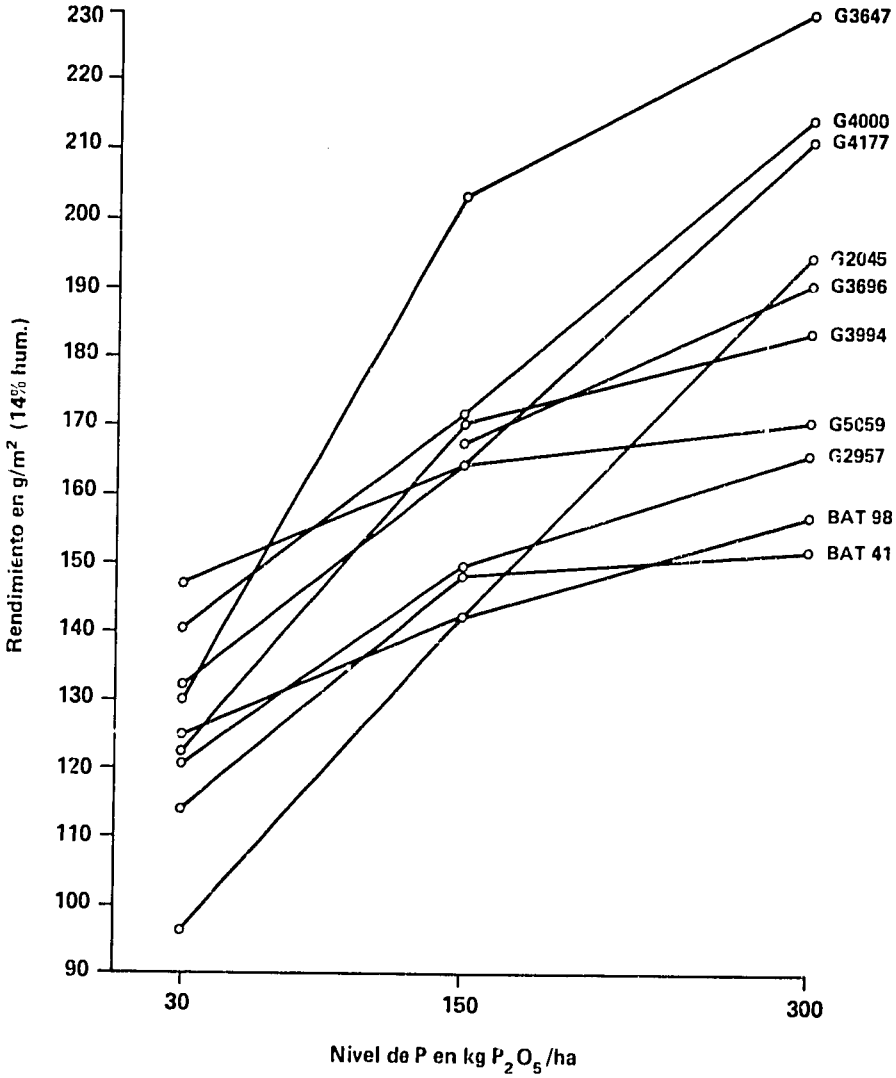


Figura 6. Respuesta de algunos cultivares de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) a diferentes niveles de fósforo.

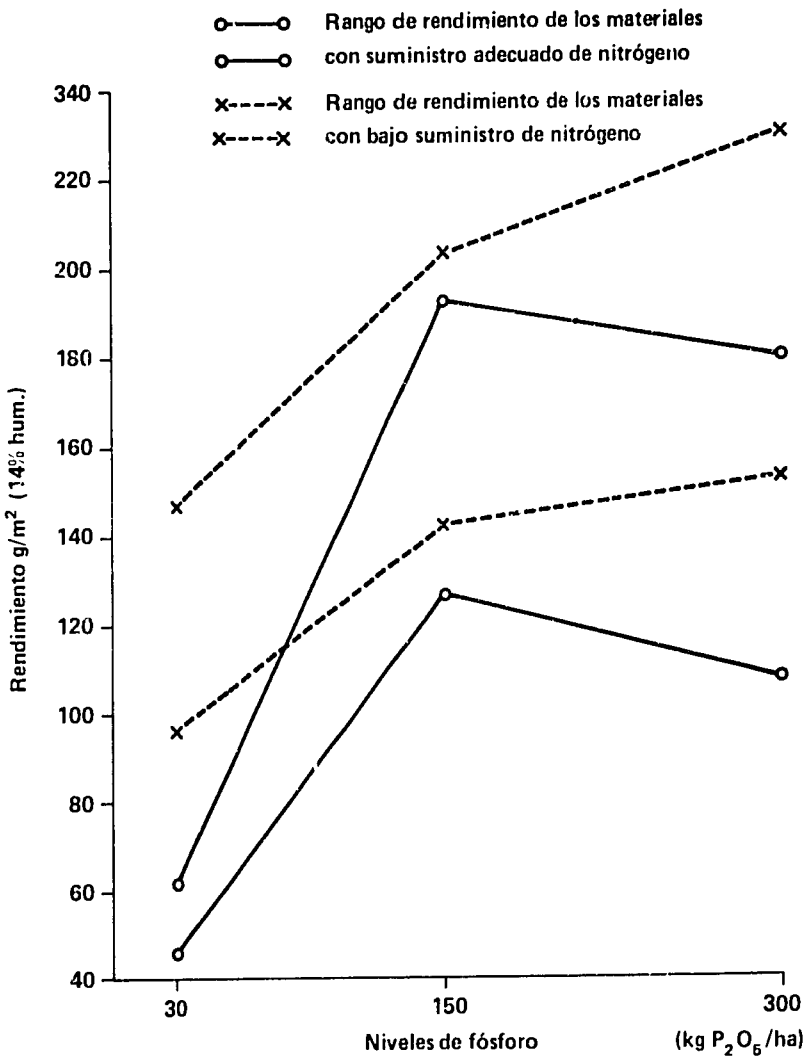


Figura 7. Rango de respuesta de frijol a diferentes niveles de P, afectado por diferentes niveles de N.

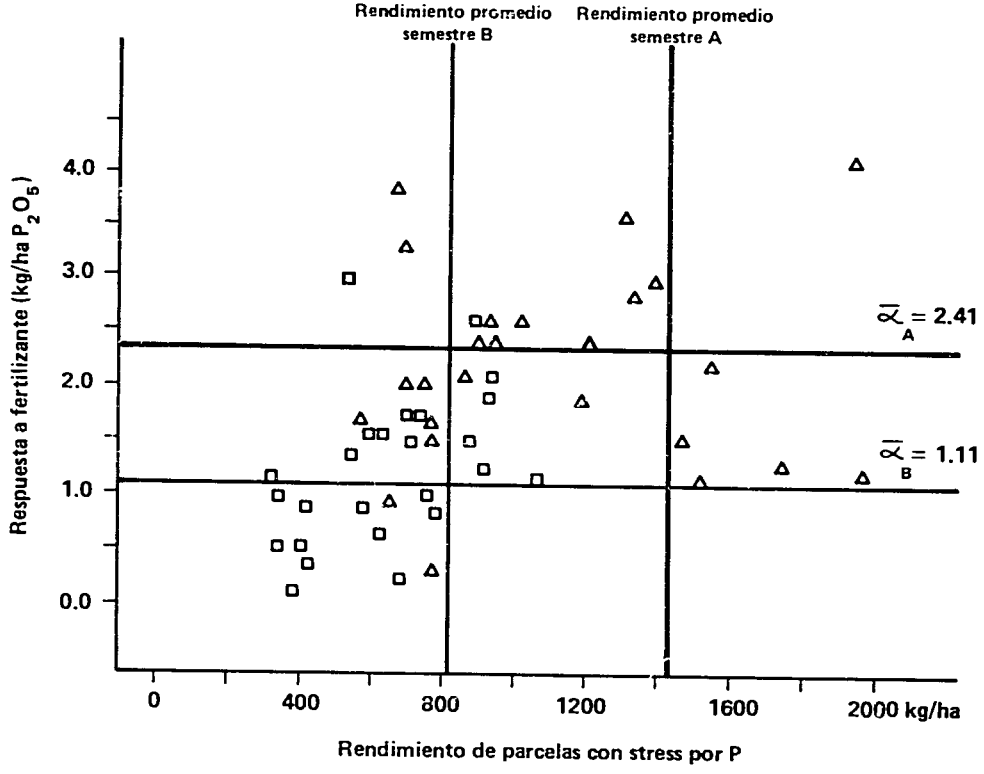


Figura 8. Efectos de diferentes semestres.

A través de este resultado de evaluación, se escogieron solamente materiales que tienen características de eficiencia en condiciones de "stress" por P con buena respuesta a fertilización de fósforo, o poseen características para tolerar desde la moderada, hasta la alta toxicidad por Al y Mn; así se puede afirmar que estos materiales se comportan bien en condiciones normales.

Las Figuras 9 y 10 muestran alta correlación entre materiales condicionados al "stress" de fósforo y materiales tolerantes a la moderada toxicidad por Al y Mn, con su rendimiento potencial.

Evaluación conjunta para obtener materiales tolerantes a condiciones adversas de suelos

Estos materiales deben tener todas las características en sí; eficientes en el uso del fósforo en el suelo, con respuesta a fertilizantes fosfóricos, y al mismo tiempo tolerantes a moderada toxicidad de aluminio y con respuesta a encalamiento.

A través de una gráfica (Figura 11), se pueden evaluar e identificar materiales con las características deseables. Los únicos materiales que quedan en el cuadrante I se identifican como tolerantes a condiciones de suelos ácidos. La mayoría de estos materiales identificados hasta este momento como tolerantes, son de origen brasilero donde deben adaptarse a condiciones adversas; pero algunos materiales no comerciales también poseen esta característica, como G4000.

Este resultado muestra la efectividad del sistema de "tamizado" en Santander de Quilichao, donde también el Al y el Mn están afectando la producción.

Para ilustrar más ampliamente el manejo de la información obtenida a través de la metodología de "tamizado", se incluyen los Cuadros 2 y 3 y las Figuras 12, 13 y 14, como otro ejemplo.

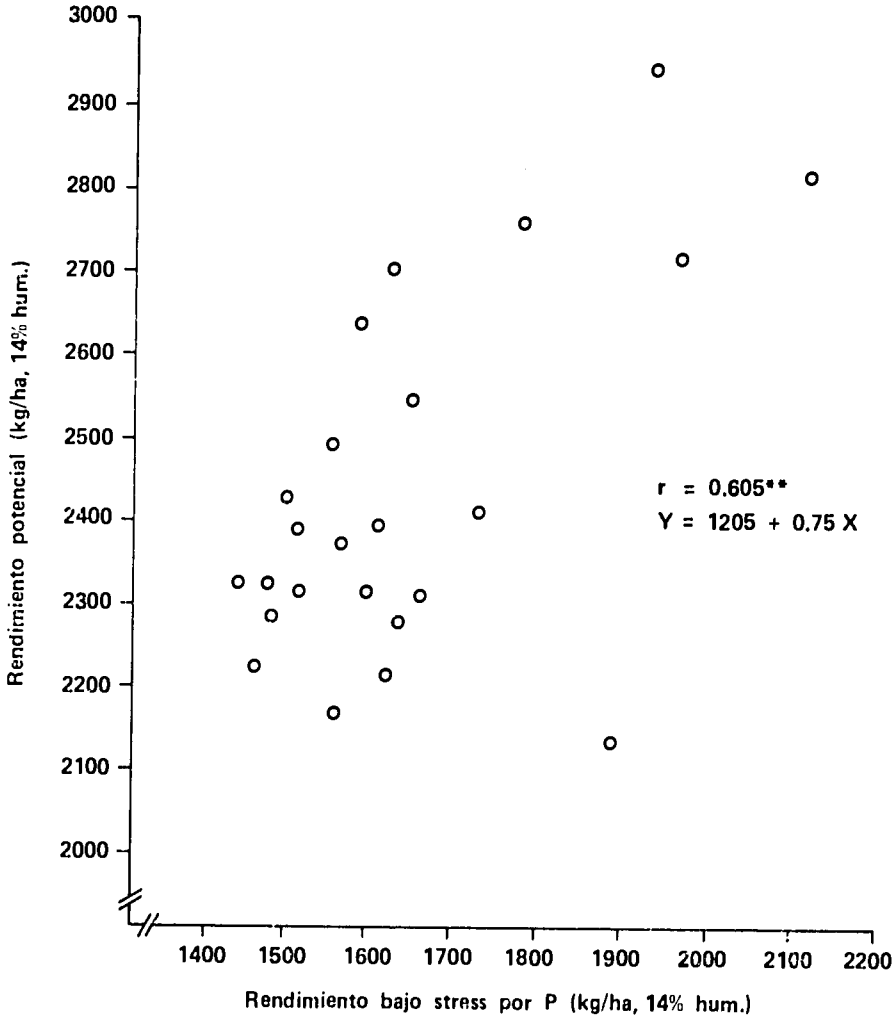


Figura 9. Correlación entre rendimiento potencial y rendimiento bajo stress por P. CIAT-Quilichao 1979 A.

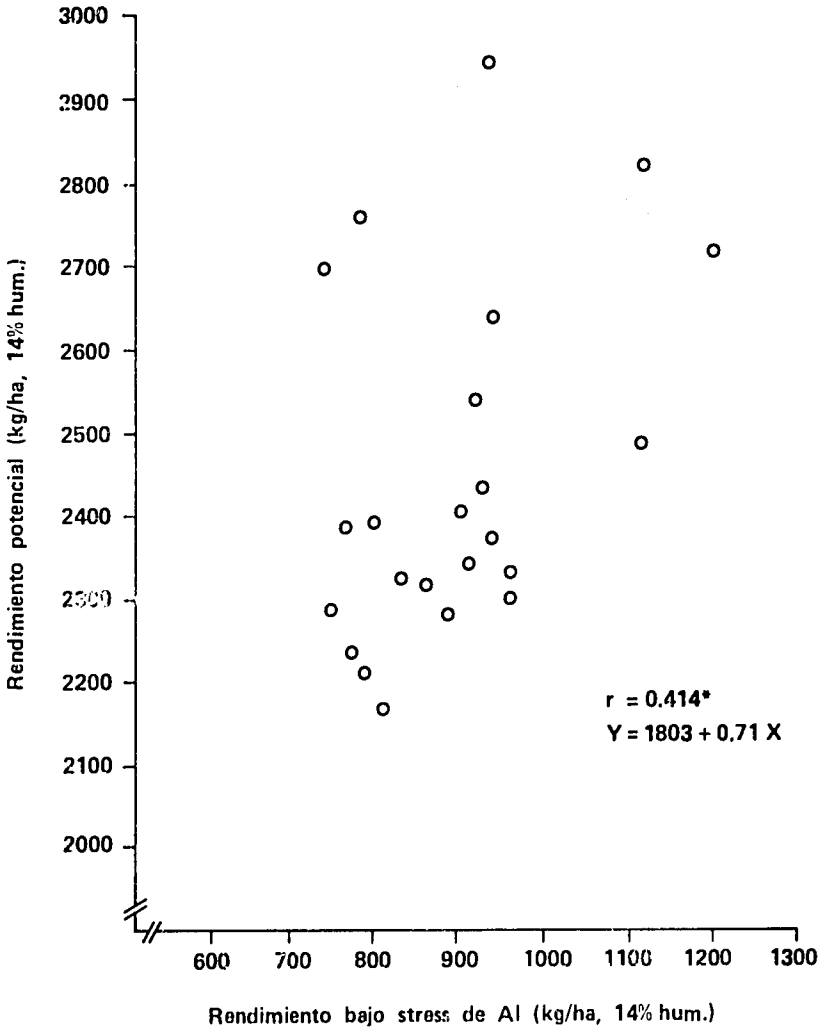


Figura 10. Correlación entre rendimiento potencial y rendimiento bajo stress por Al. CIAT-Quilichao 1979 A.

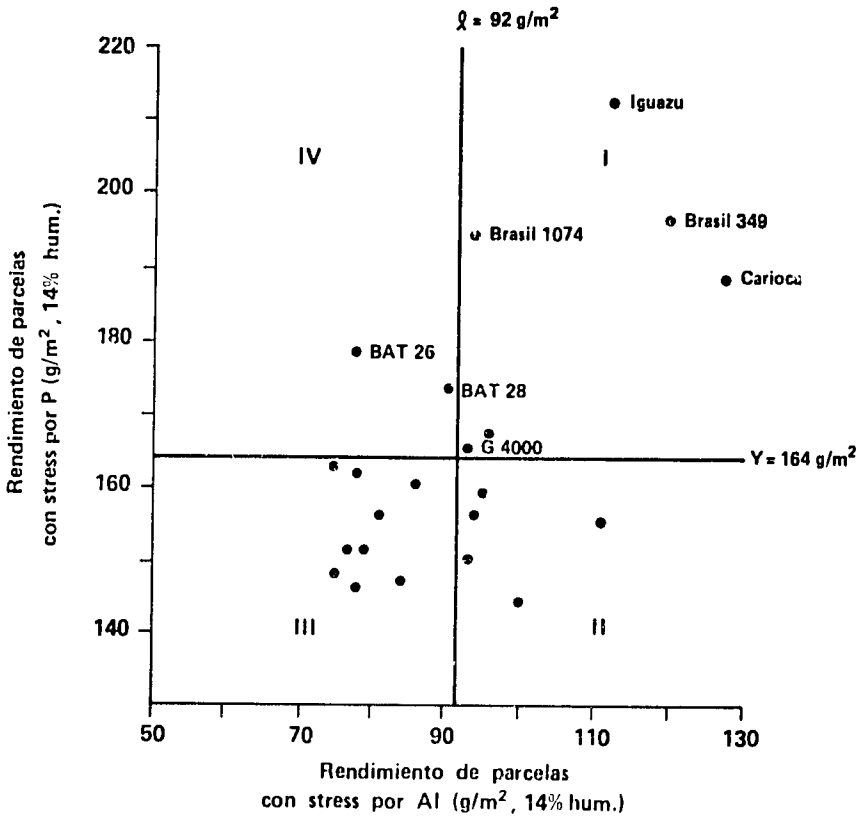


Figura 11. Evaluación para obtener materiales tolerantes a condiciones adversas de suelos.

Cuadro 2. Materiales eficientes a bajo fósforo con menos del 10% de saturación de Aluminio en CIAT-Quilichao, 1979B.

Identificación	Color semilla	Hábito	Rendimiento kg/ha · 50 kg P2 O5/ha (22 kg P/ha)	Rendimiento kg/ha · 300 kg P2 O5/ha (133 kg P/ha)	Factor de respuesta a
1. Carioca	crema	III	2558	3129	2.3
2. BAT 449	negro	II	2543	3045	2.0
3. EMP 28	bayo	II	2216	2739	2.1
4. BAT 115	negro	II	2155	2800	2.6
5. A 22	Café	III	2107	2724	2.4
6. BAT 458	negro	II	2061	2717	2.6
7. BAT 450	negro	II	2057	2715	2.6
8. BAT 263	negro	III	2049	2660	2.5
9. BAT 317	crema	II	2011	2598	1.7
10. BAT 76	negro	II	1977	2436	1.8
		R	2173		a 2.2

$$\text{Factor de respuesta} = \frac{\text{rendimiento alto P - rendimiento bajo P}}{\text{kg/ha P2 O5 sin stress - kg/ha P2 O5 stress x P}}$$

Cuadro 3. Materiales tolerantes a niveles moderadamente altos de aluminio y manganeso en suelos con 65% de saturación de aluminio en CIAT-Quilichao 1979 B.

Identificación	Color semilla	Hábito	Rendimiento kg/ha		Factor de respuesta B
			65% Saturación Al	10% Saturación Al	
1. BAT 450	negro	II	472	2394	34
2. EMP 28	bayo	II	555	2297	32
3. BAT 458	negro	II	555	2580	37
4. Carioca	crema	III	616	2717	38
5. BAT 449	negro	II	466	2354	34
6. BAT 76	negro	II	457	2500	37
7. BAT 115	negro	II	456	2584	39
8. A 22	café	III	452	2446	36
9. BAT 317	crema	II	450	2650	40
10. BAT 263	negro	III	450	2406	36
		R	493		B 36.3

$$B = \frac{\text{rendimiento sin stress - rendimiento con stress x Al + Mn factor de respuesta.}}{\text{\% saturación Al trat.stress x Al-\% saturación Al trat.sin stress.}}$$

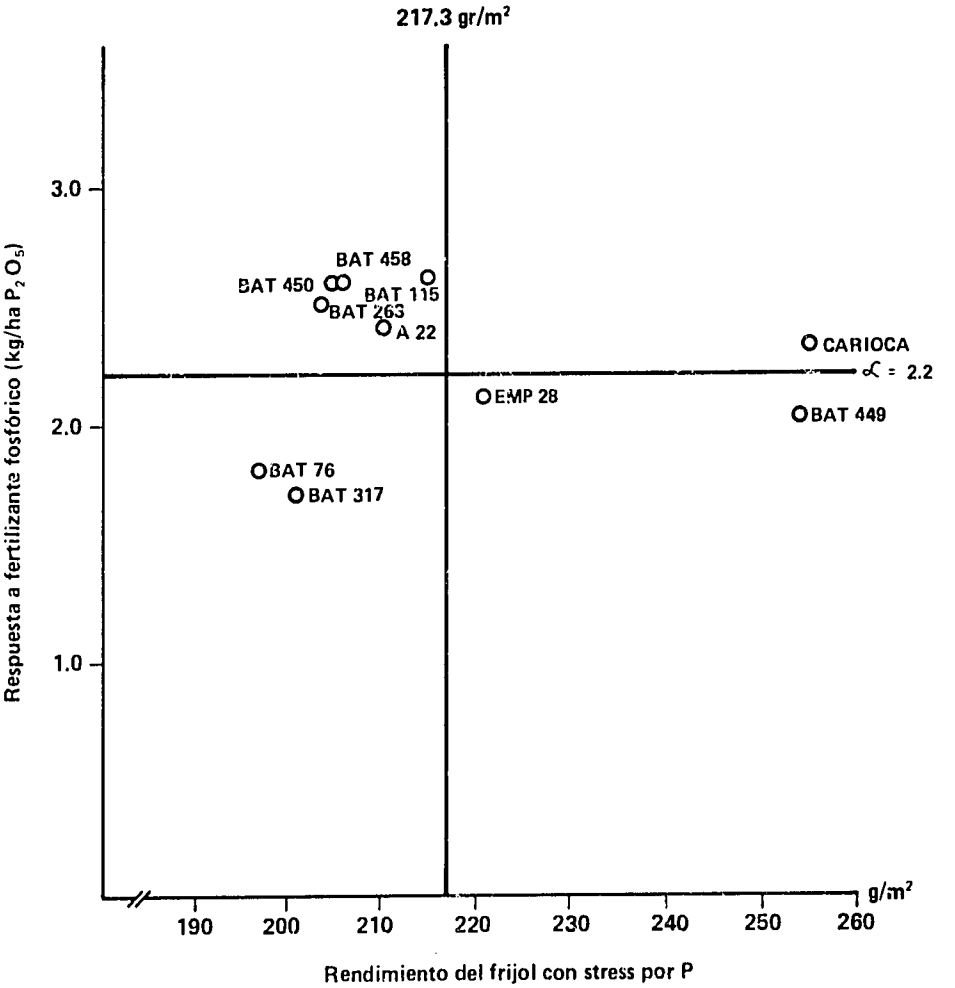


Figura 12. Evaluación de materiales para su eficiencia y respuesta a fertilizante fosfórico en CIAT-Quilichao.

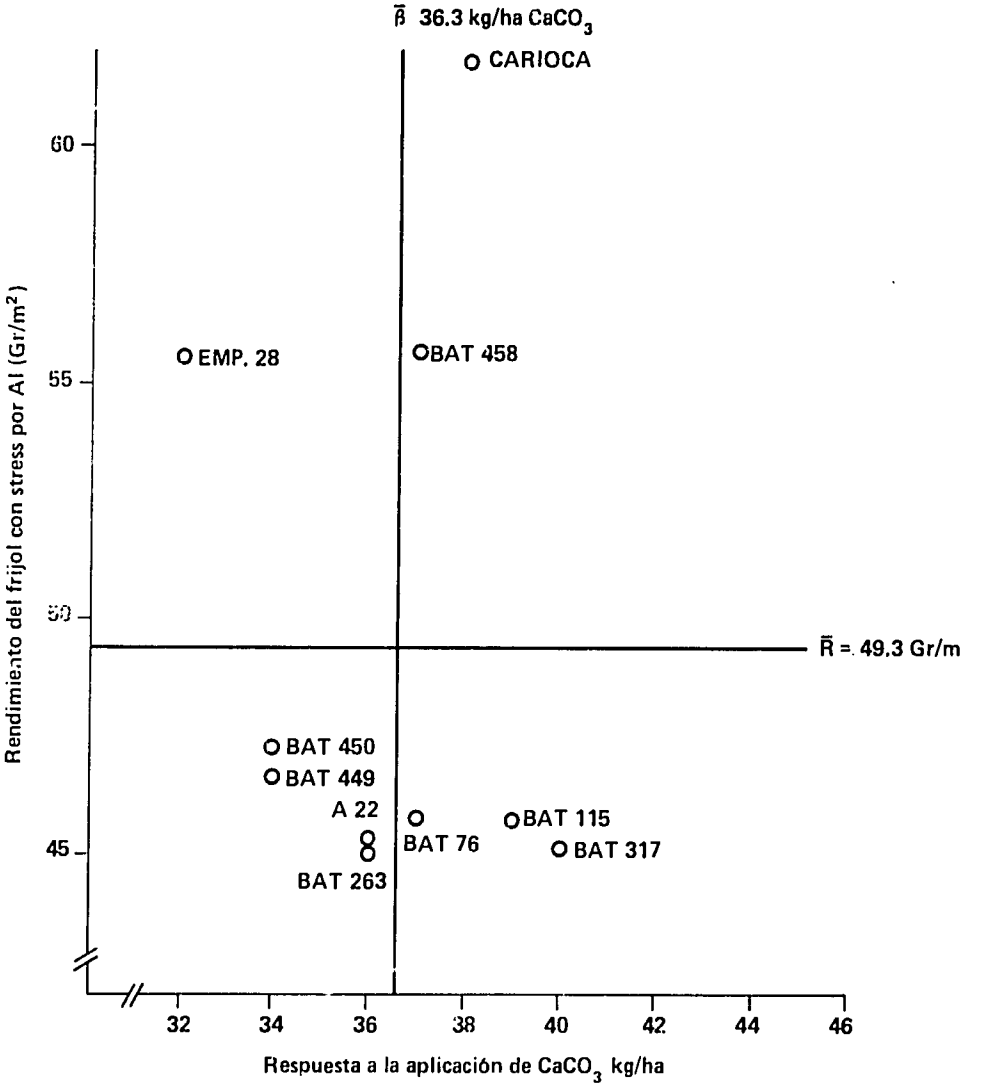


Figura 13. Evaluación de materiales para su eficiencia y respuesta a la aplicación de Cal.

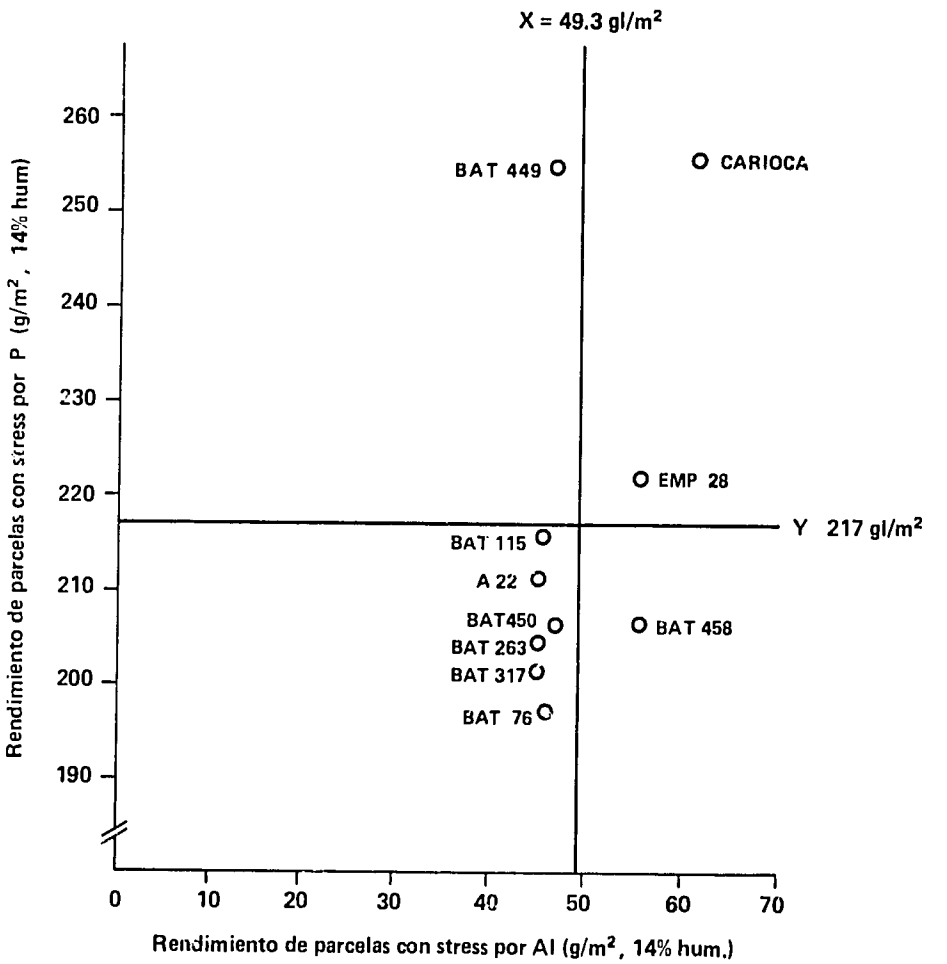


Figura 14. Evaluación para obtener materiales tolerantes a condiciones adversas de suelos.

Apêndice 1 Fertilizantes correctivos para CIAT-Quilichao

Elemento	Dosis kg/ha		Forma del fertilizante	Cantidad kg/ha
N	100	- N	Urea	240
P	50-300	- P2 05	Superfosfato triple	670
K	100	- K20	Sulfato de Potasio	200
S	20	- S	Azufre	20
B	1	- B	Borax	10
Zn	5	- Zn	Sulfato de Zinc	25
Mg	1	- Mg	Sulfato de magnesio	20
Mo		-	Molybdeno de Sodio	1

BIBLIOGRAFIA

1. Abruña, Rodríguez, F., R. W. Pearson, and R. Pérez, Excolar 1974. Lime response of corn and beans grown on typical ultisols and oxisols of Puerto Rico. P. 261-282. In E. Bornemisza and A. Alvarado (eds.) Soil Management in Tropical America. North Carolina State Univ. Raleigh, N.C. 27607.

2. Arriger, W.H., C.D. Foy, A.L. Fleming, and B.E. Caldwell, 1968. Diferential tolerance of soybean varieties to an acid soil high in exchangeable aluminium. Agron. J. 60: 67-70-

3. Bollard, E.G. and G.W. Butler, 1966. Mineral nutrition of plants. p. 77- 112. In L. Machlis (Ed.). Annual Review of Plant Physiology 17.

4. Brown, J.C., and R.B. Clark. 1974. Differential response of two maize inbreds to molybdenum stress. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 38: 331-333.

5. Campbel, L.G., and H.N. Laferver. 1976. Correlation of field and nutrient culture technique of screening wheat for aluminium tolerance. In: Wright J.M. (Ed.) Plant adaptation to mineral stress in problem soils. Cornell Univ. Ithaca. N.Y., U.S.A.

6. CIAT, 1976. Annual Report.

7. Cobra Neto, A. 1967. Adsorao e Deficiencias dos macronutrientes pelo feijoeiro. Tese de doutor em agronomia G.S.A. Piracicaba (S.P.). Brasil.

8. FAO. 1976. Anuario de Producción. Vols. 29. Roma, Italia.

9. Fassbender, H.W. 1967. La fertilización del frijol (Phaseolus sp.) ba: 17 (1): 46-52.

10. Foy, C.D., 1974. Effects of aluminium on plant growth. p. 601-642. In. E.W. Carson (Ed.). The plant root and its environment. Univ. Press of Va., Box 3608. Univ. Station, Charlottesville, VA, U.S.A.

11. Foy, C.D. 1976. Differential aluminium and manganese tolerances of plant species and varieties in acid soils. Ciencia e Cultura. 28: 150-155.

12. Fliming, A.L., and C.D. Foy, 1968. Root structure reflects differential alluminium tolerance in wheat varieties. Agron. J. 60: 172-176.

13. Freitas, L.M.M. de, A.C. McClung e W.L. Lott. 1960. Field studies on fertility problems of two Brazilian "campos cerrados". 1958-1959. IBEC Research institute, Boletín 21. New York.

14. Gabelman, W.H. 1976. Genetic potentials in nitrogen, phosphorus, and potasium efficiency. In: Wright (Ed.). Plant adaptation to mineral stress in problem soils. Cornell Univ. Ithaca N.Y. U.S.A.

15. Gerloff, G.C. 1963. Comparative mineral nutrition of plants. Annual rev. plant physiology. 14: 107-129.

16. Guazalli, R.J., et al. 1973. Efeitos agronomicos e econômicos do calcario, nitrogenio, fósforo, potásio, enxofre e micronutrientes nos rendimientos do soya, feijão e arroz em Uberaba, Minas Gerais, Pesquisa Agropecuaria Brasileira. Serie Agronomía 8 (6): 29-37.

17. Hanson, W.D., and E.J. Kamprath. 1979. Selection for aluminium tolerance in soybean based on seedling-root growth. Agron. J. 71: 581-586.

18. Haag, H.P. et al. Absorcao da nutrientes pela cultura do feijoeiro. Bragantia, 26 (30): 381-391. (1967). (118).

19. Hacht - Buchholtz, Ch. 1971. Wirkung der Mineralstoffernaehrung auf die Feinstructur den Pflanzenzalle. Z.F. Pflanzenernaerhr., Dueng, Bodenkunde, 132: 45-68.

20. Jacob, A. and H.v. Vexkuell, 1963. Fertilizer use, nutrition and manuering of tropical crops. p. 566. 3th. ed. Verlagsgesellschaft.Fuer Ackerban mbh. Hannover.

21. Kerridge, P.C., and W.E. Kronstad. 1968. Evidence of genetic resistance to aluminium toxicity in wheat (Triticum aestivum (vill). Host) Agron. J. 60: 710-712.

22. Kick. H. and R.S. Minhas 1972. Die Verfuegbarkeit der durch langjaehrige Duengung im Boden angereicherten Phosphaten. Landw. Forsch. Sonderh. 22: 184-191.

23. Lepiz, R. 1977. Informe 1977. Programa Nacional de Frijol. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. INIA - México.

24. Lindgren, D. 1976. Variability of phosphorus uptake and translocation in Phaseolus vulgaris L. under phosphorus stress. Ph.D. Thesis Univ. of Wisconsin, Madison. (Diss. Abst. 37 (1): 11-13.

25. Lynnes, A.S. 1936. Varietal differences in the Phosphorus feeding capacity of plants. Plant Physiol. 11: 665-688.

26. MacLe d, L.B., and L.P. Jackson, 1967. Aluminium tolerance of two barley varieties in nutrient solution, peat and soil culture. Agron. J. 59: 359-363.

27. Miranda de L.N. y E. Lobato, 1978. Tolerancia de variedades de feijão de trigo ao aluminio e de baixa disponibilidade de fosforo no solo. R. Bras. Ci. Solo. 2° 44-50.

28. Muller, L., Balerdi, F., Díaz-Romeu, R. & Fassbender H.W. 1968. Estudio del fósforo en suelos: de América Central 1. Ubicación, características físicas y químicas. Turrialba. 18: 319-332.

29. McLachlan, K.D. 1976. Comparative Phosphorus response in plants to a range of available phosphorus situation. Aust. J. Agric. Res. 27: 323: 323-341.

30. Pearson, R.W. 1975. Soil acidity and liming in the humid tropics. Cornell Int. Agric. Bull. 30 Cornell Univ., Ithaca, N.Y.

31. Polle, E., C.F. Konzale, and J.A. Kittrick. 1978. Rapid screening of wheat tolerance to aluminium in breeding varieties better adapted to acid soils. Technical series bulletin N°21 Nov. 1978. Office of Agric. Dev. support Bureau. A.D. Whashington, U.S.A.

32. Reid, D.A., A.L. Fleming, and C.D. Foy. 1971. A method for determining aluminium response of barley in nutrient solution in comparision to response in Al-toxic soil. Agrop. J. 63: 600-603.

33. Salinas, J.G., and P.A. Sánchez. 1975. Tolerance to aluminium toxicity and low available soil phosphorus. p. 61. In: Agronomic - Economic Research on tropical soils, Annual Report for 1975. Soil Sci. Dept. Univ. North Carolina, Raleigh. U.S.A.

34. Scheffer, F. y Schachtschabel, P. 1970. Lehrbuch der Bodenkunde, 7 Ed. Stuttgart, F. Enke, Verlog. p 443.

35. Van Goor, B.J., and D. Wiersma. 1974. Redistribution of potassium, calcium, magnesium, and manganese in the plant. Physiol. Plant. 31: 163-168.

36. Whiteaker, G. 1972. Inheritance and Physiology of differential growth response under phosphorus stress. Ph. D. Thesis. Univ. of Wisconsin, Madison.

37. Wolf, J.M. 1975. Soil-water relations in Oxisols of Puerto Rico and Brazil. p. 145-154. In: E. Bornemiza and A. Alvarado (Ed.). Soil management in tropical America. Soil Science Dep. North Carolina State Univ., Raleigh, N.C.

MANEJO DE LA ACIDEZ Y ENCALAMIENTO DE LOS SUELOS

Jorge Ortega

Introducción

Extensas áreas con suelos ácidos e infértiles en América tropical han comenzado a desempeñar un papel muy importante en la producción de alimentos.

En las regiones templadas del norte del mundo, las limitaciones impuestas por la acidez del suelo se eliminan, en parte, mediante el encalamiento para aumentar el pH del suelo hasta llevarlo a un valor casi neutro; sinembargo, esta estrategia no es aplicable a la mayoría de las regiones de oxisoles-ultisoles e inceptisoles derivados de cenizas volcánicas, debido a la distinta naturaleza química de los minerales de las arcillas de baja actividad, lo cual resulta con frecuencia en reducciones del rendimiento si dichos suelos se encalan hasta su neutralidad (Kamprath, 1971).

Por otra parte, los costos del transporte de la cal son con frecuencia altos en muchas áreas del trópico latinoamericano. De todas maneras, las principales limitaciones impuestas por la acidez del suelo, toxicidad de Al y Mn y deficiencia de P, Ca, Mg, se deben superar para lograr una agricultura exitosa en estas regiones que cubren un 70% con suelos infértiles en la América tropical.

Origen de la acidez del suelo

La acidez del suelo generalmente se origina por la acción integrada de los factores de formación del suelo, pero puede ser agravada por la percolación continua del agua a través de éste, por el uso prolongado de algunos fertilizantes que dejan residuo ácido, por la descomposición de la materia orgánica y mineral o debido a ciertas reacciones entre el suelo y las raíces de la planta (Kamprath, 1977).

La acidez del suelo se identifica con bajo pH (< 5.5.), altas concentraciones de aluminio y/o $Al^{+++} + Mn^{++}$ y deficiencias de elementos esenciales. El aluminio es el catión predominante en el complejo de intercambio en estos suelos y frecuentemente un factor limitante del crecimiento de muchas especies de plantas (Adams y Lund, 1966).

Estrategias

Para atenuar las limitaciones impuestas por la acidez del suelo sin hacer aplicaciones masivas de cal, se proponen algunas estrategias:

1. Cal para reducir la saturación de aluminio por debajo de los niveles tóxicos para sistemas agrícolas específicos;

2. cal para suministrar Ca y Mg y para estimular su movimiento en el subsuelo;

3. uso de especies y variedades tolerantes a las toxicidades de Al y Mn.

A. Cal para disminuir la saturación de aluminio

Hay tres consideraciones básicas que se deben tener en cuenta al adicionar cal para disminuir la saturación del aluminio: la determinación de la cantidad de cal que se debe adicionar si es que es necesario, la calidad de la cal que se debe utilizar y la promoción del efecto residual mas prolongado.

1. Determinación de la dosis de cal

El diagnóstico de la toxicidad de aluminio en suelos ácidos de América tropical se ha basado en el aluminio intercambiable extraido con KCl 1 N, desde la década de los sesenta (Mohr, 1960; Cate, 1965; Kamprath, 1970 y Salinas, 1978). La recomendación para el encalamiento se deriva comúnmente de las siguientes fórmulas en la que el requerimiento de cal se expresa ya en miliequivalentes de calcio o toneladas de CaCO3 equivalentes por hectárea:

meq Ca/100 g de suelo = 1.5 x meq Al Inter./100 g

ton Ca CO3 - eq/ha = 1.65 x meq Al Inter/100 g

Los muy bajos niveles de bases intercambiables comunes a estos suelos se deben tener en cuenta junto con las cantidades de aluminio intercambiable presentes (Olmos y Camargo, 1976; Freitas and Silveira, 1977). El porcentaje de saturación de aluminio (Allnter/ (Ca + Mg + K + Allnter). x 100) expresa en forma correcta estas relaciones. López y Cox (1977) indican que, en la mayoría de los casos, el porcentaje de saturación de aluminio se debe considerar primero, puesto que los suelos que presentan el mismo nivel de aluminio, presentarían diferentes respuestas al encalamiento en las mismas dosis de cal. Además, Evans y Kamprath (1971) y otros investigadores, incluyendo Spain (1976) han indicado que para muchos cultivos, los requerimientos de cal basados exclusivamente en aluminio intercambiable puede sobreestimar las dosis de cal debido a diferentes grados de tolerancia de las plantas al aluminio.

Desde el trabajo pionero adelantado por Menezes y Araújo en Brasil hace 30 años (Coimbra, 1963) de encalar un suelo ácido de América tropical, hasta un experimento reciente establecido hace ocho años también en Brasil (González et al., 1979), el enfoque común ha sido el de encalar el suelo para lograr una respuesta óptima del cultivo. Este criterio se puede interpretar como el cambiar el suelo para satisfacer la demanda de la planta. Este enfoque es difícil de aplicar en muchas áreas de América tropical debido a limitaciones de índole económica. También se debe anotar que Kamprath (1971) indicó que el encalamiento excesivo puede tener un efecto en detrimento del crecimiento de las plantas, como por ejemplo, una deficiencia de zinc inducida por la cal en yuca (Spain, 1976). Por consiguiente, es importante determinar la fórmula más apropiada para convertir el Al intercambiable a la cantidad de cal para sistemas específicos de suelo-cultivos. Cochrane et al., (1980) desarrollaron una fórmula para determinar la cantidad de cal que se necesita para disminuir el nivel de saturación de aluminio de la capa superior del suelo al rango deseado:

Cal requerida (ton CaC)3 - eq/ha) = 1.8 (Al - RAS (Al + Ca + Mg)/100,

donde RAS es el porcentaje crítico de saturación de aluminio requerido por un cultivo, una variedad o un sistema agrícola determinado para superar la toxicidad del aluminio y Al, Ca y Mg son los niveles intercambiables de estos cationes expresados en meq/100 g. Al compararla con datos reales de campo, la capacidad de predicción de esta ecuación es excelente (Cochrane et al, 1980).

Una ventaja adicional es que no se requiere un análisis de suelo exhaustivo sino solamente la extracción de aluminio, calcio y magnesio con KCl 1 N e información sobre la tolerancia de los cultivos al aluminio en términos del porcentaje de saturación de Al. La adopción de dicha fórmula podría conducir a una utilización más efectiva de la cal y ahorros considerables en las cantidades aplicadas como también en los costos.

2. Utilización de materiales de calidad para el encalamiento

Además de la forma para determinar las cantidades de cal que se deben aplicar, es importante considerar la calidad del material para el encalamiento. Desafortunadamente, en las regiones de Oxisoles Ultisoles de América tropical, por lo general es poca la atención que se le presta al tamaño de las partículas y composición química de la cal, excepto si es calcítica o dolomítica (López, 1975). Es necesario fomentar estudios de caracterización de depósitos locales de cal tales como los realizados por Guimaraes y Santos (1968) para el estado de Pará en la Amazonía brasilera. El material ideal para encalamiento se debe encontrar en la forma carbonatada y el 100% debe pasar por un tamiz 10 y el 50% por un tamiz 100. Las fuentes de Ca CO3 gruesas rara vez producen las respuestas deseadas en rendimiento del primer cultivo debido a que reaccionan lentamente. Con el fin de compensar esto, los agricultores con frecuencia aplican dosis más altas que las recomendadas, lo cual puede causar problemas por sobreencalamiento en cultivos posteriores (Camargo et al. 1962; Jones y Freitas, 1970).

En parte del Amazonas, la mayoría de las fuentes de cal se explotan para fines de construcción y se produce cal hidratada, Ca(OH)2 . Este material es extremadamente reactivo y sus efectos residuales son muy cortos (NCSU, 1975, 1976).

La alternativa para una mejor utilización de esta cal hidratada es utilizar dosis de aplicación más pequeñas y más frecuentes (Wade, 1978). Una mejor alternativa es solicitarle a los productores de cal que muelan la caliza al tamaño apropiado y mantenerla así en la forma carbonatada.

Como el magnesio es particularmente limitante en Oxisoles y Ultisoles, se prefieren las fuentes de cal dolomítica. Una relación Ca: Mg de 10:1 en el material para encalamiento generalmente se considera adecuada, aunque existe muy poca evidencia que sostenga esta aseveración.

3. Efectos residuales de cal

Generalmente se espera que los efectos benéficos del encalamiento de suelos ácidos duren varios años. Sin embargo, los efectos residuales por lo general duran menos en las regiones tropicales que en las templadas debido a la mayor precipitación y a las temperaturas más altas (Lathwell, 1979). La estimación de los efectos residuales del encalamiento de suelos ácidos es un factor primordial de manejo de los suelos en las regiones údicas de bosques tropicales y ústicas de sabanas. La duración del efecto residual también dependerá del ecosistema. En general, los suelos ácidos en los bosques húmedos tropicales presentarán efectos residuales más cortos que las regiones de sabana debido a la liberación más rápida del aluminio de los complejos de materia orgánica y a la mayor remoción de bases por las plantas en sistemas anuales de producción de cultivos y quizás a mayores pérdidas por lixiviación en los bosques húmedos (Villachica, 1978).

El Cuadro 1 resume los resultados de los efectos residuales de un experimento de encalamiento a largo plazo realizado en Brasil después de siete cultivos consecutivos (cinco de maíz, uno de sorgo y uno de soya). Después de 6.5 años, el pH del suelo disminuyó en todas las dosis de cal probablemente debido a la acidez residual por los fertilizantes nitrogenados. El nivel de aluminio intercambiable aumentó con el tiempo y los niveles de calcio y magnesio intercambiables disminuyeron. Los niveles de saturación de aluminio aumentaron en aproximadamente un 20% de los valores iniciales para las dosis de 0, 1 y 2 ton/ha. Los rendimientos de grano indicaron un excelente efecto residual, aún obteniendose más del 80% del rendimiento máximo de soya en el séptimo cultivo sucesivo con la dosis de cal de 1 ton/ha. Este resultado probablemente se asocia con la tolerancia al aluminio relativamente alta de la variedad de soya utilizada.

B. La cal como fertilizante de calcio y magnesio

El énfasis tradicional en la fertilización con NPK en América tropical (con la adición reciente del azufre) ha distraído la atención de las difundidas deficiencias de calcio y magnesio en las regiones de Oxisoles-Ultisoles. En sistemas de altos insumos, las fuentes tradicionales de fertilizantes tales como superfosfato simple y cal dolomítica, frecuentemente satisfacen los requerimientos nutricionales de las plantas en lo que respecta a los tres elementos secundarios. En sistemas de bajos insumos con plantas tolerantes a altos niveles de saturación de aluminio y bajos niveles de fósforo aprovechable cultivadas en suelos con baja capacidad efectiva de intercambio catiónico (CEIC), la correlación de las deficiencias de calcio y magnesio requiere atención directa.

1. Disponibilidad de calcio y magnesio

Los principales factores que afectan la disponibilidad de calcio y magnesio en Oxisoles y Ultisoles incluyen el nivel de estos nutrimentos en la forma intercambiable, la CEIC, los niveles de

Cuadro 1. Efectos residuales de las aplicaciones de cal a un Oxisol de Brasilia en términos de cambios en las propiedades químicas de la capa arable y rendimientos relativos en grano a 6 y 66 meses después del encalado.

Cal aplicada en 1972	pH		Al Intercambiable		Ca + Mg Intercambiable		Al Saturación		Rendimientos relativos en grano	
	6*	66*	6*	66*	6*	66*	6*	66*	6*	66*
ton/ha	1:1 H20		---------meq/100		g----------		---------- %		----------	
0	4.7	3.9	1.1	1.5	0.6	0.3	63	80	53	50
1	5.0	4.2	0.9	1.1	1.1	0.6	45	61	85	93
2	5.1	4.3	0.5	1.0	1.5	1.0	25	46	88	88
4	5.6	4.8	0.2	0.4	3.1	2.1	6	15	100	89
8	6.3	5.2	0.0	0.1	4.4	4.0	2	2	93	100

Recopilado de: NCSU (1974; González (1976); González, et al. (1979); CPAC, 1979; Miranda, et al. 1980).

*

Meses después del encalado. Los rendimientos se refieren al primer cultivo (maíz) y al séptimo cultivo (soya). Rendimientos máximos fueron 4.0 y 2.1 ton/ha, respectivamente.

aluminio intercambiable, la textura del suelo y la mineralogía de las arcillas (Kamprath y Foy, 1971).

Los niveles de calcio y magnesio intercambiables en Oxisoles y Ultisoles generalmente son muy bajos. El rango encontrado en sabanas de Brasil, Colombia y Venezuela es del orden de 0.1-0.7 meq Ca/100 g y 0.06-0.4 me Mg/100 g en la capa superior del suelo (López y Cox. 1977; Salinas, 1980; C. Sánchez, 1977). Los niveles de calcio y magnesio en el subsuelo generalmente son menores y a veces no son detectables en subsuelos de Oxisoles (Ritchey et al., 1980).

Los niveles de calcio y magnesio intercambiables en Oxisoles y Ultisoles de bosques húmedos son relativamente mayores, especialmente en la capa superior del suelo.

Las bajas CEIC de la mayoría de los Oxisoles y Ultisoles proporcionan algunas ventajas y desventajas para el suministro de calcio y magnesio. La primera desventaja es la rápida lixiviación durante períodos de lluvias intensas. Durante dichos períodos pueden ocurrir condiciones anaeróbicas temporales que inhiben la absorción de calcio y magnesio por las raíces. Durante la estación seca, la sequía puede acentuar las deficiencias de calcio y magnesio.

La concentración de estos elementos en muestras de tejido de Melinis multiflora y especies nativas de sabana disminuyó significativamente durante la estación seca en Carimagua (Lebdosoekojo, 1977). Las plantas se enfrentan, por lo tanto, a una situación difícil: probablemente hay una disponibilidad adecuada de calcio y magnesio durante parte de la estación lluviosa; durante períodos de intensa lluvia ocurren pérdidas rápidas por lixiviación; y durante la estación seca hay una baja disponibilidad de ambos nutrimentos debido a la sequía (Gualdrón y Spain, 1980). Sin embargo, tanto las plantas nativas como las introducidas en sabanas de Oxisoles parecen exhibir un mejor comportamiento en lo que respecta al calcio y al magnesio lo que se puede inferir de los bajos niveles en el suelo y las relaciones adversas dependientes de la humedad. Rodríguez (1975) indicó que algunas especies pueden presentar mecanismos más eficientes de absorción de calcio y magnesio que los que actualmente se conocen.

El aluminio compite con el calcio en la solución del suelo por sitios de intercambio. Por consiguiente, la toxicidad de aluminio se puede disminuir mediante adiciones de calcio (Millaway, 1979). La reducción en el desarrollo radical en condiciones de altas concentraciones de aluminio podría deberse a la deficiencia de calcio, la cual obstaculiza el desarrollo de raíces primarias (Zandstra, 1971).

En general, los suelos dominados por arcillas 1:1 requieren un menor nivel de saturación de bases para una disponibilidad adecuada de calcio y magnesio para las plantas que los suelos dominados por arcillas 2:1 (Kirby, 1979).

Esta es una ventaja de los Oxisoles y Ultisoles debido a la predominancia en ellos de arcillas 1:1.

2. Requerimientos de fertilizantes

Es escasa la información que existe sobre la dosis de aplicación de cal para satisfacer los requerimientos de fertilización con calcio y magnesio. El Cuadro 2 resume las experiencias obtenidas en Oxisoles de los Llanos Orientales de Colombia con niveles de 0.1 0.4 meq/100 g de ambos elementos.

En algunos casos, la respuesta a 0.5 ton/ha de cal dolomítica se debe al magnesio. Spain (1979) presentó un informe al respecto para la fase de establecimiento y mantenimiento de dos leguminosas forrajeras, Desmodium ovalifolium y Pueraria phaseoloides, en Carimagua, Colombia. En un experimento a largo plazo realizado en Brasilia, Brasil, una respuesta directa al magnesio también respondió por la mayor parte de la respuesta a la cal por un primer cultivo de maíz (NCSU, 1974). En Ultisoles de bosques húmedos en Yurimaguas, Perú, en donde no hay disponible cal dolomítica, Villachica (1978) recomendó dosis de aplicación de magnesio del orden de 30 kg Mg/ha/ cultivo para superar las deficiencias de magnesio y prevenir los desbalances de K/Mg. Estudios realizados recientemente muestran que las gramíneas tropicales difieren en sus requerimientos del calcio (CIAT, 1981).

3. Movimiento descendente del calcio y magnesio

No importando el fin por el cual se aplique cal (ya sea para disminuir la saturación de aluminio o para suministrar calcio y magnesio, o ambos), sus efectos benéficos ocurren principalmente a la profundidad a la cual se incorpore, puesto que la cal no se mueve en los suelos en forma considerable. El subsuelo de la mayoría de los Oxisoles y Ultisoles es por lo general ácido y con frecuencia presenta una barrera química para el desarrollo radical, ya sea debido a la toxicidad causada por el aluminio, a una deficiencia extrema de calcio o a ambas causas.

Es común observar raíces de cultivos anuales confinadas casi exclusivamente a la capa arable encalada, con poca penetración hacia el subsuelo ácido en los Oxisoles de sabana (González, 1976; Bandy, 1976) y Ultisoles de bosques húmedos (Bandy, 1977; Valverde y Bandy, 1981). Dichas plantas sufren por deficiencia de agua cuando ocurren períodos de sequía a pesar de tener suficiente humedad del suelo almacenada en el subsuelo. Ocurren pérdidas grandes en rendimiento cuando hay sequías " temporales en etapas críticas del crecimiento durante la estación lluviosa en regiones de Oxisoles (Wolf, 1977).

Un objetivo primordial de la tecnología de bajos insumos es la de estimular el desarrollo radical hacia dichos subsuelos ácidos como una alternativa para los sistemas de riego suplementario mucho más costosos. Se han diseñado tres estrategias para superar este problema: 1) aplicaciones profundas de cal en Oxisoles, 2) estímulo al movimiento descendente de calcio y magnesio y 3) el uso de cultivares y especies tolerantes.

Cuadro 2. Requerimientos estimados de cal para cultivos y pasturas importantes para los Oxisoles bien drenados de los Llanos Orientales de Colombia.

Especie	Dosis de Cal	Fuente
Cultivos:	ton/ha	
Arroz (estatura alta)	0.25 - 0.5	2
Yuca	0.25 - 0.5	5
Mango	0.25 - 0.5	5
Marañón	0.25 - 0.5	5
Cítricos	0.25 - 0.5	5
Piña	0.25 - 0.5	5
Cowpea	0.5 - 1.0	5
Banano	0.5 - 1.0	5
Maíz	1.0 - 2.0	5
Frijol negro	1.0 - 2.0	5
Tabaco	1.5 - 2.0	5
Maní	1.5 - 2.0	1
Arroz (estatura baja)	2.0 +	1
Pasturas:		
Andropogon gayanus	0.4	3
Panicum maximum	1.5	3
Brachiaria decumbens	1.1	
Stylosanthes capitata	0.5	3
Zornia latifolia	0.5	4
Desmodium ovalifolium	0.5	4
Pueraria phaseoloides	1.0	3
Pennisetum purpureum	2.6	3

Fuente: (1) Alvarado, sin fecha; (2) Calvo, et al. 1977; (3) Salinas and Delgadillo, 1980; (4) Spain, 1979; (5) Spain, et al., 1975.

A pesar de que la incorporación de las mismas dosis de cal a los primeros 30 cm de profundidad en vez de los primeros 15 cm no parece ser una tecnología de bajos insumos, de hecho ha aumentado los rendimientos de maíz en varias estaciones en un Oxisol cerca de Brasilia, Brasil (NCSU, 1984; Salinas, 1978; González et al., 1979). Esta práctica es factible en Oxisoles bien granulados que pueden ser labrados a una profundidad de 30 cm. sin mayores aumentos en el consumo de combustible de los tractores. En Ultisoles, con un cambio marcado en su textura dentro de los primeros 30 cm de profundidad, esta práctica no se puede recomendar puesto que puede crear problemas físicos severos en ese suelo (Sánchez, 1977). Esto indica que no solamente se deben considerar parámetros químicos del suelo al definir la práctica de encalamiento más apropiada, sino que también hay que tener en cuenta los parámetros físicos del suelo.

Una ventaja primordial de muchos suelos ácidos e infértiles es que sus propiedades físicas y químicas permiten el movimiento descendente de calcio y magnesio hacia las capas del subsuelo, disminuyendo de esta manera las limitaciones causadas por la acidez del suelo a mayor profundidad y aumentando el desarrollo radical. El movimiento descendente de calcio y magnesio aplicados en la forma de cal tiene poco significado práctico en otros suelos dominados por arcillas de alta actividad.

Como se mencionó con anterioridad, la cal no se mueve considerablemente en los suelos, pero el calcio y el magnesio intercambiables si presentan un movimiento considerable en Oxisoles y Ultisoles de baja CICE acompañados por aniones tales como sulfatos o nitratos (Pearson, 1975; Ritchey et al., 1980). La primera evidencia de este fenómeno en América Latina tropical la registró Pearson et al., (1962) después de aplicar aproximadamente 800 kg N/ha/año en la forma de sulfato de amonio a pasturas de gramíneas fertilizadas intensivamente en Puerto Rico.

La posible presencia de grandes concentraciones de aniones acompañantes estimuló el movimiento rápido de cationes básicos hacia el subsuelo.

En los últimos tres años se han hecho observaciones similares en Oxisoles de las sabanas brasileras y colombianas en Ultisoles de la Amazonía peruana, pero a niveles mucho más bajos de cal y de fertilizantes (Salinas, 1978; NCSU, 1978; Villachica, 1978; Ritchey et al., 1980; Gualdrón y Spain, 1980).

C. Selección de variedades tolerantes al aluminio

El principal componente del manejo de la acidez del suelo es la selección de variedades productivas que sean tolerantes a la toxicidad del aluminio. Un procedimiento preferido para el efecto es la selección de un gran número de ecotipos ya sea en soluciones de cultivo, en el invernadero, en el campo o una combinación de los tres. Para lograrlo exitosamente, se requiere de la colaboración cercana entre especialistas en suelos y fitomejoradores. Entre las técnicas de selección en soluciones nutritivas de cultivo, la prueba de la hematoxilina propuesta por Polle et al. (1978) es muy útil.

Sin embargo, los resultados de la selección en cultivos nutritivos o en invernaderos se deben validar en el campo con un rango representativo de los cultivares seleccionados. Spain et al., (1975), Howeler y Cadavid (1976), Salinas (1978) y Salinas y Delgadillo (1980) presentan ejemplos de dichas correlaciones. Los estudios adelantados por los últimos dos investigadores de aluminios y fósforo puesto que estos tienden a ocurrir al mismo tiempo (Salinas, 1978). En consecuencia, los cultivares se pueden clasificar por el nivel crítico de saturación de aluminio requerido para alcanzar un 80% del rendimiento máximo. Para una localidad específica, este parámetro se puede expresar en términos del requerimiento de cal mediante la utilización de la fórmula de Cochrane et al. (1980), incorporando el porcentaje requerido de saturación de aluminio (RAS).

D. Selección de variedades tolerantes al manganeso

La toxicidad al manganeso es otro factor limitante en ciertos Oxisoles y Ultisoles. Aunque no se conoce su distribución geográfica, se considera que es menos común que la toxicidad por aluminio. La toxicidad por manganeso ocurre en suelos que presentan altos niveles de manganeso fácilmente reducibles, generalmente con contenidos relativamente altos de materia orgánica que pueden causar condiciones anaeróbicas temporales. El manganeso es muy soluble a valores de pH menores que 5.5 particularmente en condiciones anaeróbicas, en las que el Mn 4+ se reduce a Mn2+.

En Oxisoles y Ultisoles bien drenados pueden ocurrir condiciones anaeróbicas temporales debido a la descomposición rápida de materia orgánica o a inundaciones temporales durante períodos de lluvia fuerte. Algunos ejemplos de dichos suelos incluyen el suelo arcilloso de Coto, un Tropeptic Eutrorthox de Puerto Rico (Pearson, 1975) y algunos suelos Orthoxic Palehumult en la estación de CIAT Quilichao en Colombia. A diferencia de la toxicidad de aluminio, la toxicidad de manganeso puede ocurrir a niveles de pH tan altos como 6.0 (Simar et al., 1974). Los niveles de cal comúnmente requeridos para aumentar el pH de los Oxisoles y Ultisoles tóxicos en manganeso a un nivel de aproximadamente 6, son por lo general muy altos. Por ejemplo, para aumentar el pH de 4.6 a 6.0 en el Ultisol de la estación de CIAT-Quilichao, es necesario aplicar Ca CO3 puro a razón de 20 ton/ha (CIAT, 1978).

En consecuencia, la principal estrategia es la de seleccionar variedades tolerantes. A diferencia de la toxicidad de aluminio, los síntomas de la toxicidad de manganeso, ocurren en las hojas puesto que este elemento tiende a acumularse en las partes aéreas, en tanto que el exceso de aluminio se acumula en las raíces (Foy, 1976). Los síntomas de toxicidad de manganeso incluyen clorosis marginal, deficiencia de hierro inducida, malformación de las hojas jóvenes y manchas localizadas en los sitios en donde se acumula manganeso (Vlamis y Williams, 1973; Foy, 1976). En términos generales, aparentemente las leguminosas son más susceptibles a la toxicidad del manganeso que las gramíneas (Lohnis, 1951; Hewit, 1963). Los científicos australianos han encontrado diferencias importantes en la tolerancia al exceso de manganeso entre las principales especies de leguminosas forrajeras.

Conclusiones

A pesar de que cerca del 70% de la extensión de tierra de las regiones de Oxisoles y Ultisoles de América tropical poseen limitaciones severas por la acidez del suelo, no es necesario encalar estos suelos hasta llevarlos a su nivel neutro o incluso a un pH de 5.5 con el fin de obtener una producción de cultivos y pastos sostenida. Los estimativos de las necesidades de producción de alimentos en el mundo a largo plazo no requieren de altas dosis de aplicación de cal para las 750 millones de hectáreas de América tropical con limitaciones severas por la toxicidad de aluminio, deficiencia de calcio y deficiencia del magnesio. A su vez, son engañosas las aseveraciones que indican que una producción agrícola sostenida es posible sin el encalamiento en la mayoría de los Oxisoles y Ultisoles. La existencia de variedades de especies forrajeras y de cultivos muy tolerantes al aluminio puede eliminar la necesidad de disminuir el nivel de saturación de aluminio del suelo mediante el encalamiento, pero en la mayoría de los casos las plantas requieren de fertilización con calcio y magnesio. Esto se puede lograr mediante aplicaciones de cal en dosis pequeñas o mediante el uso de fertilizantes que contengan suficientes cantidades de estos dos nutrimentos esenciales. Las aplicaciones de cal en pequeñas dosis son probablemente menos costosas por unidad de nutrimento que los fertilizantes de calcio y magnesio.

Un atributo muy positivo de muchos Oxisoles y Ultisoles de América tropical es la relativa facilidad de movimiento del calcio y magnesio en el subsuelo. Es posible aprovechar lo que normalmente se consideraría como un factor limitante del suelo: su baja CICE. Junto con una estructura del suelo favorable y suficiente lluvia, una baja CICE favorece la disminución gradual de las propiedades químicas del subsuelo. Esto a su vez favorece un desarrollo radical más profundo y menos oportunidad de que ocurra stress por la sequía. (Sánchez y Salinas, 1973).

BIBLIOGRAFIA

1. Alvarado, L. (Undated). Instituto Colombiano Agropecuario, (ICA), Bogotá, Colombia.

2. Adams, F., y Lund, Z.F. (1966). Effect of chemical activity of soil solution aluminium on cotton root penetration of acid subsoils. Soil Sci. 101:193-198.

3. Bandy, D.E. (1976). Ph.D. Thesis, Cornell University, Ithaca, New York.

4. _____. (1977). "Manejo de suelos y cultivos en sistema de agricultura permanente en la selva amazónica del Perú". Ministerio de Alimentación, Lima, Perú.

5. Calvo, F.A., Spain, J.M., y Howeler, R.H. (1977). Suelos Ecuat. 8, 151-159.

6. Camargo, M.N., Freire, E.S., and Venturini, W.R. (1962). Bragantia 21, 143-161.

7. Cate, R.B., Jr. (1965). Tech. Bull. Ed. Duarte Coelho, Recife, Brasil.

8. CIAT. (1978). "Annual Report for 1977". Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia.

9. CIAT. (1981). "Annual Report for 1980: Tropical Pastures Program". Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia.

10. Cochrane, T.T., Salinas, J.G., and Sánchez, P.A. (1980). Trop. Agric. (Trinidad) 57, 133-140.

11. Coimbra, R.O. (1963). En "Simposio sobre o Cerrado" (M.G. Ferri, Coord.). pp. 359-382. Univ. Sao Paulo, Brasil.

12. CPAC. (1979). "Relatório Técnico Anual do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados. 1977-1978", Empresa Brasilera de Pesquisa Agropecuaria, Brasilia, Brasil.

13. Evans, C.E., and Kamprath, E.J. (1970). Soil Sci. Soc. Am. Proc. 34, 893-896.

14. Foy, C.D. (1976b). En "Plant adaptation to mineral stress in problem soils" (M.J. Wright, ed.), pp 255-268. Cornell Univ., Ithaca, New York.

15. González, E. (1976). Ph.D. Tesis, North Carolina State Univ., Raleigh.

16. González, E., Kamprath, E.J., Naderman, G.C., and Soares W.V. (1979). Soil Sci. Soc. Am. J. 43, 1155-1158.

17. Gualdrón, R., y Spain, J.M. (1980). Suelos Ecuat. 10, 131-146.

18. Guimaraes, G.A., and Santos, J.M.S. (1968). Inst. Pesq. Exp. Agropec.Norte Circ. 11, Belém, Brasil.

19. Hewitt, E.J. (1983). En "Plant Phisiology" (F.C. Steward, ed.), Bol. 3, pp. 137-360. Academic Press, New York.

20. Howeler, R.H., and Cadavid, L.F. (1976). Agron. J. 68, 551-555.

21. Jones, M.G., ayd Freitas, L.M. (1970). Preq. Agropec. Bras. 5, 91-99.

22. Kamprath, E.J. (1970). Soil Sci. Soc. Am. Proc. 34, 252-254.

23. _____ (1971). Soil Crop Sci. Soc. Fla. Proc. 31, 200-203.

24. _____ (1973). En "A review of soils research in tropical Latin América" (P.A. Sánchez, ed.), pp. 138-161, 179-181. North Carolina St. Univ., Raleigh.

25. Kamprath, E.J., and Foy, C.D. (1971). En "Fertilizer technology and use" (R.A. Olsen et al., eds.), 2nd Ed., pp. 105-151. Soil Sci.

26. Kirkby, E.A. (1979(. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 10, 89-113.

27. Lathwell, D.J. (ed.). (1979). Cornell Int. Agric. Bull 35.

28. Lohnis, M.P. (1951). Plant Soil 3, 193-222.

29. López, A.S. (1975). M.S. Thesis, North Carolina State University, Raleigh.

30. López, A.S., and Cox, F.R. (1977). Soil Sci. soc. Am. Proc. 41, 742-747.

31. Millaway, R.M. (1979). Commun, Soil Sci.. Plant Anal. 10, 1-128.

32. Miranda, L.N., Mielniczuk, J., and Lobato, E. (1980). In "Cerrado: Uso e Manejo" (D. Marchetti and A. d. Machado, eds.), pp. 521-578. Editerra, Brasilia, Brasil.

33. Mohr, W. (1960). An I congr. nac. Cons. Solo, pp. 61-76. Campinas, Sao Paulo, Brasil.

34. NCSU. (1974). "Agronomic-Economic research on tropical soils". Annual Report for 1973. North Carolina State Univ., Raleigh.

35. NCSU. (1976). "Agronomic-Economic research on tropical soils". Annual Report for 1975. North Carolina State Univ., Raleigh.

36. _____ (1978). "Agronomic-Economic research on tropical soils". Annual Report for 1976-77. North Carolina State Univ., Raleigh.

37. Olmos, I.L.J. and Camargo, M.N. (1976). Cien. Cult. (Brasil) 28, 171-180.

38. Pearson, R.W. (1975). Cornell Int. Agric. Bull. 30.

39. Pearson, R.W., Abruña, D., and Vicente-Chandler, J. (1962). Soil Sci. 93, 77-82.

40. Polle, E., Konzak, C.F., and Kittrick, J.A. (1978). Crop Sci. 18, 823-827.

41. Ritchey, K.D., Djalma, M.G., Lobato, E., and Correa, O. (1980). Agron. J. 72, 40-44.

42. Rodríguez, M. (1975). M.S. Thesis, Cornell University, Ithaca, New York.

43. Salinas, J.G. (1978). Ph.D. Thesis, North Carolina State University, Raleigh.

44. Salinas, J.G. (1980). En "Fertilidad de suelos-diagnóstico y control"(F. Silva-Mojica, ed.), pp. 399-420. Sociedad Colombiana Ciencia del Suelo, Bogotá.

45. Salinas, J.G., and Sánchez, P.A. (1976). Cien. Cult. (Brasil) 28, 156-168.

46. Salinas J.G., González, E., Kamprath, E.J., and Sánchez, P.A. (1976). En "Agronomic-economic research on soil of the tropics", pp. 81-98. North Carolina State Univ., Raleigh.

47. Sánchez, C. (1977). "Encalamiento de Ultisoles de Sabana". Univ. del Oriente, Jusepín, Venezuela.

48. Sánchez, P.A. (1972). N.C. Agric. Exp. Sta. Tech. Bull. 213.

49. _____ (ed.). (1973). N.C. Agric. Exp. Sta. Tech, Bull. 219.

50. _____ (1976). "Properties and management of soils in the tropics". Wiley, New York.

51. _____ (1977). En "Proc. Int. Sem. on Soil environment and fertility management in intensive agriculture". pp. 535-566. Soc. Sci. Soil and Manure, Tokyo, Japan.

52. _____ (1979). En "Soils research in agroforestry" (H.O. Mongi and P.A. Huxley, eds.), pp. 79-124. ICRAF, Nairobi, Kenya.

53. Sánchez, P.A., and Cochrane, T.T. (1980). En "Priorities for alleviating soil-related constraint to food production in the tropis", pp. 107-140. IRRI, Los Baños, Philippines.

54. Sánchez, P.A., and Isbell, R.F. (1979). En "Pasture production in acid solis of the tropics")P.A. Sánchez and L.E. Tergas, eds.), pp 25-54. CIAT, Cali, Colombia.

55. Sánchez, P.A., and Nureña, M.A. (1972). N.C. Agric. Exp. Sta. Tech. Bull. 210.

56. Sánchez, P.A., and Cuevidia, A., Ramírez, G.E., Vergara, R., and Minguillo, F. (1973). Soil Sci. Soc. Am. Proc. 37, 789-791.

57. Sánchez, P.A., and Uehara, G. (1980). en "Phosphorus in Agriculture" (E.E. Khaswaneh, E. Sample, and E.J. Kamprath, eds.), pp 471-514. Amer. Soc. Agron, Madison, Wisconsin.

58. Simar, A., Cradock, F.W., and Hudson, A.W. (1974). Plant Soil 41, 129-140.

59. Spain, J.M. (1975). Am. Soc. Agron. Spec. Publ. 24, 18.

60. _____ (1976). En "Plant adaptation to mineral stress in problem soils" (M.J. Wright, ed.), pp. 213-222. Cornell Univ. Press, Ithaca, New York.

61. _____ (1979). En "Pasture production in acid soils in the tropics" (P.A. Sánchez and L.E. Tergas, eds.), pp. 167-175. CIAT, Cali, Colombia.

62. Spain, J.M., Francis, C.A., Howeler, R.H., and Calvo, F. (1975). En "Soil Management in Tropical América" (E. Bornemisza and A. Alvarado, eds.), pp 308-329. North Carolina State Univ., Raleigh.

63. Valverde, C., and Bandy, D.E. (1981). En "Amazon agricultural and land use research". CIAT, Cali, Colombia (en impresión).

64. Villachica, J.H. (1978). Ph.D. Thesis, North Carolina State University, Raleigh.

65. Vlamis, J., and Williams, D.E. (1973). Plant Soil 39, 245-251.

66. Wade, M.K. (1978). Ph.D. Thesis, North Carolina State University, Raleigh.

67. Wolf, J.M. (1977). Pesq. Agropec. Bras. 12, 141-150.

68. Zandstra, H.G. (1971). Ph.D. Thesis, Cornell University, Ithaca, New York.

PRINCIPIOS BASICOS DE LA ASOCIACION DE CULTIVOS

Susana García
Jeremy Davis

Introducción

La asociación de cultivos en el trópico tiene una historia casi tan larga como la historia de la agricultura. Los sistemas complejos del campesino actual en América tienen sus raíces sin duda en las culturas indígenas y sus cultivos de subsistencia. Su importancia se preserva en numerosas zonas de minifundio en América Central y América del Sur, en especial a todo lo largo de la cordillera andina, en los valles, altiplanos y laderas.

La investigación agrícola en el trópico ha ignorado por largo tiempo esta realidad, enfocándose hacia el desarrollo de una tecnología cuyo objetivo es una producción más eficiente de unicultivos. En este sentido se ha llegado a aumentar el potencial de rendimiento de muchos cultivos a través de nuevas prácticas culturales, uso de fertilizantes, fungicidas, insecticidas y herbicidas y así mismo mediante el mejoramiento genético, con la obtención de nuevas variedades de rendimiento superior para condiciones de alta tecnología.

Sin embargo, muchos de los cultivos alimenticios en el trópico se siguen produciendo en pequeñas fincas con sus sistemas de cultivo tradicionales, sistemas complejos con dos o más cultivos en el mismo lote, bajas densidades, labores manuales con mano de obra familiar y sin uso de insumos químicos y variedades regionales de cultivo tradicional.

La importancia de estos sistemas de producción ha llevado a la necesidad de orientar la investigación hacia el entendimiento de los sistemas con el objeto de contribuir con una nueva tecnología para el mejoramiento de las condiciones de vida y productividad del campesino.

Importancia de la asociación de cultivos

La asociación de cultivos puede definirse como un sistema en el cual dos o más especies cultivadas se siembran con suficiente proximidad en el espacio para resultar en una competencia interespecífica para un recurso limitante o potencialmente limitante (Hart, 1975a). Esta definición implica que cada cultivo estará afectado por competencia con las otras especies componentes del sistema. Como consecuencia, el rendimiento de una especie será menor cuando es asociada que en unicultivo.

La característica mas notable del sistema es que cualquier variación en un factor que influya en el crecimiento y desarrollo de las plantas, resultará en una ventaja selectiva de uno de los cultivos sobre el otro. Esta interacción dinámica entre los cultivos asociados trae aparejada una mayor estabilidad de producción del sistema como un conjunto, con un menor riesgo de pérdida total por cualquier factor de stress físico o enfermedad de una de las especies. Cuando el rendimiento de un cultivo disminuye, aumenta el del otro o los otros.

Al definirse esta interacción como un atributo propio del sistema, se evidencia la necesidad de analizar y evaluar los sistemas de asociación de cultivos que se encuentran en la realidad entre las formas tradicionales

de los campesinos en América, como un conjunto integrado por dos o más cultivos, con una mayor estabilidad de producción y menor riesgo a través de los años que los unicultivos por separado. La mayor estabilidad del ecosistema se explica como un freno a la multiplicación de los patógenos e insectos por la presencia de la otra especie, frente a las altas densidades de siembra del unicultivo (Rappaport, 1971). Lépiz (1974) ha observado en México, en varios años de ensayos de asociación maíz-frijol, mayor sanidad del frijol asociado en cuanto a plagas y enfermedades respecto a los unicultivos. También se produce un mejor aprovechamiento de las variaciones del medio ambiente, ventaja que tiene una mezcla de genotipos en un ambiente variable, por ejemplo en un factor como distribución de las lluvias. La eficiencia fotosintética del ecosistema asociado es mayor que en los unicultivos, debido al mayor aprovechamiento de la luz en estratos foliares diferentes o más amplios. El sombreado de los cultivos favorece así mismo una mayor competencia del sistema con las malezas.

Respecto a la interacción y estabilidad en la asociación de maíz-frijol, comenta Lépiz: "en algunos ensayos los rendimientos de frijol han sido sobresalientes, en algunos otros el maíz no ha logrado una buena producción y en otros más, tanto el frijol como el maíz han producido buena cosecha; de acuerdo principalmente a la disponibilidad de humedad en un momento dado".

En cuanto a la asociación de cultivos como alternativa para el agricultor se evidencia en varios trabajos (Francis, Sanders, 1979; Hart, 1975b; Tobón et al, 1975, Lépiz, 1974) que el beneficio económico de las asociaciones en la mayoría de los casos es significativamente más alto que el de los unicultivos, siendo una buena alternativa para el uso de los recursos del campesino en las zonas estudiadas. "La ganancia combinada de ambos cultivos en la asociación supera sistemáticamente a la ganancia que se obtiene al sembrar frijol o maíz solos (Lépiz, 1974). "Los sistemas de alternativas probados de unicultivos de maíz y frijol con variedades mejoradas, con mayor fertilización y mayores densidades de población no fueron superiores en ingresos netos a los sistemas agrícolas tradicionales" (relevo papa-maíz-frijol) (Tobón, 1975).

La disminución del riesgo en el sistema de asociación, junto al mayor beneficio económico, demuestran la racionalidad de estos sistemas agrícolas tradicionales y su persistencia en los distintos países del área. Como contraparte, los unicultivos, sistemas de siembra de una sola variedad a densidades altas de población, en extensiones y con uso de maquinarias, tiene una productividad elevada y se la considera como una evolución de la agricultura. Sin embargo, también se dice que es el ecosistema más delicado e inestable que jamás haya aparecido en la tierra.

Como conclusión de este análisis cabe mencionar del trabajo de Tobón en Colombia, analizando los sistemas complejos de Antioquia, "Sistemas agrícolas como los que los agricultores del Oriente de Antioquia han ideado existen en muchas regiones de agricultura tradicionalmente en América Latina. Por diferentes razones, los agrónomos latinoamericanos hemos aceptado a priori la ineficiencia de estos sistemas agrícolas, frente a los prometedores avances que ofrece la llamada revolución verde. El hecho en sí de que los sistemas agrícolas tradicionales hayan subsistido pese a la opinión adversa de los agrónomos puede tomarse como una evidencia de que aquellos ofrecen ventajas para los agricultores tradicionales. Si se acepta esta posición, el reto para el fitomejorador

y el agrónomo es desarrollar nuevas variedades y tecnologías apropiadas para los pequeños agricultores que representen un verdadero beneficio para ellos.

Se hace mención de algunas estimaciones estadísticas como ejemplos específicos de la importancia de la asociación de cultivos en el mundo (A.S.A., 1976; Gutiérrez, et al. 1975).

- El 98% de la producción de caupí, principal leguminosa en Africa, se encuentra asociada con otros cultivos alimenticios.
- El 83% del terreno cultivable en la zona norte de Nigeria se dedica a cultivos múltiples.
- El 90% del cultivo de frijol en Colombia se encuentra en asociación con maíz, papa y otros cultivos.
- El 73% de la producción de frijol en Guatemala se encuentra en asociación, principalmente con maíz.
- El 80% de frijol en Brasil se encuentra sembrado en asociación con otros cultivos, principalmente maíz.
- El 58% del frijol en México corresponde a siembras asociadas con maíz.
- El 60% del maíz y un 70-80% de frijol en el trópico latinoamericano se encuentran asociados con otros cultivos.

Terminología de los sistemas de cultivos asociados

Durante el simposio sobre cultivos múltiples celebrado en Knoxville (A.S.A., 1976), se acordó una serie de términos para describir los varios sistemas de cultivos múltiples. Con ello se busca normalizar el uso de dichos términos para evitar problemas de comunicación entre los investigadores.

1. Cultivos múltiples (Multiple Cropping):

   La intensificación de la agricultura en tiempo y espacio por medio de la siembra de dos o más cultivos en el mismo terreno, durante el mismo año.

   Dentro de este concepto hay una serie de alternativas.

   a. Cultivos secuenciales (Sequential Cropping): La siembra de dos o más cultivos en secuencia en el mismo terreno, durante el mismo año. El cultivo que sigue se siembra después de la cosecha del cultivo anterior.

      - Cultivos dobles. Dos cultivos por año en secuencia.
      - Cultivos triples. Tres cultivos por año en secuencia.
      - Cultivos cuádruples. Cuatro cultivos por año en secuencia.
      - Cultivo de soca. Cultivo de retoño del cultivo anterior.

b. Cultivos asociados (Intercropping): La siembra de dos o más cultivos simultáneamente o con un traslape en los ciclos vegetativos en el mismo terreno.

- Cultivos mixtos. Siembra por sitios, sin arreglo en surcos.
- Cultivos intercalados. Siembra por surcos de por lo menos uno de los cultivos.
- Cultivos en fajas. Siembra en fajas amplias de varios surcos.
- Cultivos de relevo. Siembra del segundo cultivo antes de la cosecha pero después de la floración del primero.

2. Unicultivo (Sole Cropping):

La siembra de una sola variedad a su densidad normal.

Monocultivo: La siembra repetida del mismo unicultivo en el mismo terreno.

3. Rotación:

La siembra cíclica de una serie de cultivos, que puede incluir un período de descanso, en el mismo terreno a través de varios años.

4. Patrón de cultivos:

La secuencia anual y colocación física de los cultivos, o de los cultivos y el barbecho, en determinado campo.

5. Sistema de cultivos:

Los patrones de cultivos utilizados en una finca y sus interacciones con recursos u otras actividades en la finca, así como la tecnología, disponible que determina su composición.

Según esta terminología, al hablar de cultivos múltiples se trata de una escala de posibilidades agronómicas, desde un extremo de cultivos en secuencia, en serie, traslape parcial o relevo de cultivos hasta el otro extremo de una siembra simultánea de cultivos. En la realidad se presentan distintas situaciones para cada caso, como por ejemplo en asociación directa o siembra simultánea, sistema que puede ser intensivo, con altas densidades de cada cultivo y una producción relativamente alta; o muy tradicional, con varios cultivos, sin organización, a densidades bajas, sin uso tan intensivo del terreno o de otros recursos disponibles.

Ejemplos de asociación de frijol

A continuación se ejemplifican algunos sistemas de asociación de frijol principalmente con maíz, existentes en países de América Latina.

1. Cultivos mixtos frijol trepador - maíz:

Este sistema se encuentra en países como México, Guatemala, Colombia, Ecuador y Perú. Su producción se concentra en los valles y

altiplanos de tierras altas en la Sierra Madre y en la Cordillera Andina, siendo limitada en las altitudes altas e intermedias.

El cultivo asociado de frijol de enredadera y maíz es muy común en la Sabana de Bogotá, Boyacá y otros lugares de Colombia, predominando el tipo Sangretoro (Cundinamarca 129). En 1957 se realizaron en ICA-Tibaitatá los primeros ensayos de variedades de frijol de mejor comportamiento para la asociación en climas fríos, con ciclos de 9 y 10 meses para frijol y maíz respectivamente. (Mancini y Castillo, 1960). En este trabajo se resalta la superioridad de la variedad Ecuador 51 por su potencial de rendimiento y la urgente necesidad del mejoramiento de variedades de frijol de enredadera, que benefician directamente al campesino colombiano. Se hace énfasis en este tipo de variedades de alto rendimiento, con las cuales el campesino obtendrá beneficios económicos, contando con suficiente mano de obra.

2. Cultivos intercalados frijol arbustivo-maíz:

Hay mayor tendencia a la producción de este sistema en las altitudes intermedias, encontrandose en países como Colombia, Brasil, México y Guatemala. Dentro de Colombia existe en las partes planas y semiplanas del Huila, a menos de 1500 msnm y en la zona de Nariño, a 1300 msnm, zona ondulada o quebrada.

3. Otras asociaciones:

En la zona cafetera de Colombia se produce frijol arbustivo con café y frijol con yuca; mientras en Nariño existe una asociación más compleja con frijol arbustivo, maíz y maní, con tres cosechas por semestre.

En Antioquia se encuentra el sistema de frijol arbustivo-papa como parte de un sistema más complejo de cultivos múltiples y otro de frijol voluble en estacas y arracacha.

4. Relevo maíz-frijol arbustivo o de semiguía:

Este sistema se utiliza ampliamente en América Latina. Un ejemplo es el de la siembra de maíz primero (Mayo-Junio) seguido de frijol (en Agosto-Septiembre). Es un sistema generalizado en América Central donde se siembra el frijol cuando el maíz está en la etapa de madurez fisiológica cerca de la cosecha. Se siembra frijol tipo arbustivo, rastrero o de semiguía (tipos II y III).

Otro sistema de relevo en Brasil incluye la siembra del frijol en Agosto-Septiembre, seguido por el maíz, el cual se siembra cuando el frijol se encuentra en la etapa de formación de vainas. El primer cultivo de frijol se cosecha y el segundo se intercala bajo los tallos maduros del maíz. Este es un sistema más complejo de relevo frijol-maíz-frijol.

5. Relevo maíz-frijol voluble:

Este es uno de los sistemas típicos de Antioquia, Colombia, a 2200 msnm, donde se siembra un frijol voluble que se enreda en los tallos de maíz en choclo. Se siembra a golpe, en cuadros y a densidades de tres y dos plantas de maíz y frijol por golpe. En las partes altas de Guatemala se siembra el frijol cuando el maíz ha florecido, en un sistema de siembra semejante.

Tobón et al (1975) describen en su trabajo los sistemas agrícolas locales de producción en el oriente antioqueño y los que incluyen la papa como cultivo de mayor valor económico; estos son (Relevo = R, Cultivo secuencial = /):

a. Papa R maíz R frijol enredador / maíz R frijol enredador/papa...

b. Papa R maíz R frijol enredador / papa + frijol arbustivo/papa...

c. Maíz R frijol enredador/maíz R frijol enredador / maíz...

Tanto en frijol como en maíz se utilizan materiales criollos, siendo el frijol más común el "Cargamanto". El calendario incluye la siembra de papa: Nov. a Dic., la de maíz intercalado en Feb. y la de frijol, al pie del maíz en Julio; las cosechas son respectivamente en Mayo, Octubre y Enero. Se fertiliza sólo la papa y el frijol trepador. Se practica el clareo del maíz, eliminación de hojas inferiores, para favorecer la entrada de luz en el cultivo de frijol. Las densidades de siembra son de 22,700 pl/ha. de papa, 27,000 de maíz y 23,000 de frijol y los rendimientos medios del sistema en conjunto son de 10,500; 1,500 y 600 kg/ha respectivamente de papa, maíz y frijol.

Estos sistemas múltiples de cultivo aprovechan eficientemente los recursos ecológicos de la región, en cuanto a régimen de lluvias, temperaturas benignas y suelo, son un ejemplo de racionalidad de sistemas agrícolas tradicionales.

Principios fundamentales

En los principios fundamentales de la asociación de cultivos, hay que incluir factores fisiológicos, agronómicos, genéticos, patológicos, entomológicos, económicos, nutricionales y culturales, entre los más importantes.

Desde el punto de vista fisiológico se plantea la cuestión de cómo aprovechar o explotar al máximo los recursos disponibles durante el ciclo anual. El problema fundamental en estudio es la competencia entre los dos o más cultivos en asociación, competencia por los factores necesarios para el crecimiento y desarrollo de los cultivos, como son luz, agua, nutrientes del suelo, dióxido de carbono, entre los más importantes.

Los estudios de competencia en cultivos asociados investigan la distribución de las curvas de utilización o requerimiento de los factores de crecimiento de los cultivos en asociación y su grado de coincidencia en espacio y tiempo. La gama de situaciones que notamos al mencionar y ejemplificar los cultivos múltiples conllevan así mismo distintos grados de competencia interespecífica. Aún dentro de un sistema de siembra simultánea y cultivos intercalados la competencia varía en función del ciclo de crecimiento de cada uno. El ejemplo de yuca-frijol arbustivo muestra un caso de complementación o competencia positiva, donde los requerimientos del segundo se producen mucho antes que los de la yuca, no afectando por tanto el desarrollo y producción final de ambos. La complementación puede ser física, como es el caso del frijol voluble que usa como soporte para trepar a un maíz alto.

En la medida en que las curvas de utilización de recursos coincidan para dos o más cultivos y se trate de un sistema intensivo con altas densidades

y proximidad en el espacio de los mismos, se producirá una competencia negativa, reduciendose significativamente la producción de cada cultivo componente.

Desde el punto de vista agronómico, la asociación de cultivos no presenta problemas especiales en zonas de minifundio, ya que las tareas son manuales, uso de mano de obra familiar y tracción animal. Las posibilidades de mecanización de una parte del manejo del cultivo, como la preparación del suelo, siembra o cosecha dependen del sistema particular de que se trate, pudiendose presentar problemas por los ciclos traslapados en los casos de relevo, por ejemplo.

El control de malezas se realiza en esas zonas generalmente a mano, ejerciendo la asociación en conjunto mayor competencia para la invasión de malezas que un sistema de monocultivo. Cuando se trata de control químico, se necesita un producto o mezcla de productos que no sea dañino a ningún cultivo componente del sistema.

En ciertos sistemas de asociación, la proximidad de los cultivos ejerce cierta protección de uno respecto al otro en lo referente al ataque de insectos (Altieri et al. 1977) y posiblemente para algunas enfermedades. En la asociación frijol-maíz de siembra simultánea en condiciones del CIAT se ha visto reducido el ataque del cogollero del maíz en comparación con el monocultivo. En el frijol asociado se ha observado menor incidencia de bacteriosis que en el monocultivo de frijol voluble.

Es importante hacer notar que las ventajas de los sistemas de cultivos múltiples no deben confundirse con las ventajas de la diversificación, posibilidad de elección para el agricultor. La diversificación de cultivos en varios lotes de la misma finca lograría objetivos como: nutrición familiar, menos riesgo con respecto a cambios de precios por la obtención de dos cosechas y utilización relativa de mano de obra familiar.

Para el agricultor la tradición en la siembra de estos sistemas complejos juega un papel importante en su decisión a través de ciertos factores como: uso más eficiente de su limitado terreno, conservación del suelo, producción con baja utilización de insumos por menor incidencia de malezas, enfermedades y plagas, uso más intensivo de la mano de obra familiar, estabilidad en la producción del conjunto y mayor beneficio económico con menor riesgo de pérdida total.

Conclusiones

Antes de fijar prioridades en cuanto a cultivos o sistemas o sobre cuáles son los factores más importantes para estudiar en determinada zona o región, es indispensable conocer bien: los cultivos actuales y sus sistemas de producción en la zona; los potenciales del suelo y clima de la región y los principales factores limitantes en la producción de los cultivos. Fundamentalmente es necesario recoger toda la información disponible sobre los cultivos en la zona de interés.

El programa de investigación debe tener un intercambio continuo y estrecho con los agricultores de la zona, a los efectos de asegurar un enfoque práctico de la investigación y promover la adopción de prácticas o variedades nuevas cuando surgen como recomendaciones del programa. Es muy importante realizar la evaluación de la nueva tecnología a nivel de finca, a través de la producción de cada cultivo o sistema antes y después del proyecto, para determinar la efectividad del proceso de investigación.

BIBLIOGRAFIA

1. Altieri, M.A.; Francis, C.A., Schoonhoven, A. v. y Doll, J. (1977) A review of insect prevalence in maize (Zea mays L.) and bean (Phaseolus vulgaris L.) in polycultural systems. Field Crops Research. 1, 33-49.

2. Papendick, R.I., Sánchez, P.A. y Triplett, G.B. (1976) Múltiple Cropping A.S.A. Special Publication. N° 27, 378 p.

3. Francis, C.A. y Sanders, J. (1979). Economic analysis of bean and maize systems: monoculture vs. associated cropping. Field Crops Research, 1, 319-335.

4. Gutiérrez, U., Infante, M. y Pinchinat, A. (1975). Situación del cultivo del frijol en América Latina. CIAT, Cali-Colombia. Boletín Informe.

5. Hart, R.D. (1975a). II. A bean, corn and manioc polyculture cropping system. I. The effect of interspecific competition on crop yield. Turrialba 25 (3); 294-301.

6. _____ (1975b). II. A comparison between the yield and economic return for monoculture and poly-culture cropping systems. Turrialba 25 (4): 377-384.

7. Lépiz, R.I. (1974). Asociación de cultivos maíz-frijol. Folleto Técnico N° 58. INIA, México.

8. Mancini, M. y Castillo M.A. (1960). Observaciones sobre los ensayos preliminares en el cultivo asociado de frijol de enredadera y maíz Agricultura Tropical, Vol. 16.

9. Tobón, H., Turrent, F.A., y Martínez A. (1975). Comportamiento de algunos sistemas agrícolas tradicionales a varias prácticas de producción en el oriente antioqueño, Colombia. Agrociencia 19: 45-67.

METODOLOGIA DEL DIAGNOSTICO DE LA PRODUCCION DE FRIJOL

Norha Ruiz de Londoño
Douglas Pachico

Antecedentes

El objetivo básico de la investigación agrícola es generar tecnologías que puedan ser usadas por los agricultores. Las nuevas tecnologías serán usadas sólo en la medida en que solucionen los problemas reales de los agricultores y ello dentro de su marco de restricciones técnicas, económicas y culturales. Dentro de este contexto es obviamente necesario un conocimiento de las circunstancias de la producción de frijol y de los objetivos de los productores, el cual se pretende lograr por medio de "estudios de diagnóstico" realizados en regiones donde se cultiva frijol.

Aún cuando existen diversas formas de realizar un estudio diagnóstico de la producción agrícola, entre los cuales podrían mencionarse los métodos del CATIE y del CIMMYT, no se pretende en este documento hacer una recopilación de ellos ni tampoco un tratado sobre el tema. El objetivo es condensar la metodología sugerida y practicada en los cursos nacionales e internacionales sobre investigación en fincas realizadas por el Programa de Frijol del CIAT, y usada en sus trabajos regulares como una guía para los investigadores de frijol.

Objetivos del diagnóstico

1. Aportar criterios para el diseño y ejecución de ensayos de nueva tecnología de frijol en fincas de agricultores.

2. Llevar información a los centros de investigación que ayude a definir prioridades de investigación en frijol.

Justificación e importancia

El conocimiento de las prácticas actuales de producción y la comprensión de su racionalidad son esenciales para definir las alternativas tecnológicas aptas para el agricultor.

Mucha investigación ha demostrado que sus prácticas actuales no son improvisaciones al azar y generalmente representan adaptaciones lógicas a su situación y a sus recursos. Un ejemplo de ello es el tradicional sistema de siembra usado en Costa Rica, denominado "tapado", una forma de siembra al voleo sobre suelo enmalezado. Después de la siembra viene el corte o "chapiado" de la maleza para cubrir con ella la semilla y de allí hasta la cosecha no realizan ninguna otra práctica. Este sistema no produce altos rendimientos pero tiene un alto retorno a la mano de obra, evita erosión del suelo y disminuye la diseminación de mustia hilachosa al actuar como colchón.

Otro ejemplo de la lógica de las prácticas tradicionales de los agricultores que podría mencionarse es el uso de mezclas de semillas en la provincia de Chota en Perú: La producción de frijol es eminentemente dirigida al autoconsumo. Se usa una mezcla de arbustivos y volubles de diferentes colores, formas, tamaños y períodos vegetativos. Esta mezcla, además de la protección ante variaciones imprevistas en las condiciones climáticas y de sus efectos colaterales sobre incidencia de plagas y

enfermedades, provee a la familia campesina de frijol verde, que es la forma de consumo habitual, durante un buen tiempo, por la amplia gama de períodos vegetativos que involucra la mezcla usada (desde 120 hasta 240 días). Si bien los rendimientos son bajos, es posible que las mezclas estén asegurando un rendimiento mínimo y satisfaciendo además el gusto o la necesidad de la familia campesina de alimentos en estado verde. Introducir tecnologías que aumenten los rendimientos creando excedentes para el mercado podría resultar ineficiente hasta tanto no se homogenice un poco el tipo de grano que le permita competir en el mercado. Homogenizar el tipo de grano significa reducir la protección que han creado ante riesgos climáticos y sanitarios y quizás forzar sus hábitos de consumo, por lo cual sería una alternativa tecnológica no deseable para ellos.

Por ello la estrategia óptima es comenzar desde la base de la tecnología actual de los agricultores, haciendo cambios marginales a ella, donde las ventajas de las nuevas opciones tecnológicas sean coherentes con el criterio del agricultor y no de los investigadores. Esto sólo se puede lograr conociendo y comprendiendo la racionalidad de las prácticas del agricultor.

Metodología del diagnóstico

El proceso comprende una serie de pasos que se enumeran a continuación y que se tratarán en detalle posteriormente.

1. Identificación de zonas productoras de frijol.
2. Identificación y evaluación del grado de conocimiento existente sobre los problemas que enfrenta la producción de frijol en el área de estudio.
3. Definición de la información que debe recogerse para formular el diagnóstico.
4. Definición de las herramientas de diagnóstico.
5. Diseño de la encuesta.
6. Diligenciamiento de la encuesta.
7. Análisis de la encuesta.
8. Elaboración del diagnóstico.
9. Identificación de limitaciones.
10. Definición de estudios especiales.

1. Identificación de zonas productoras de frijol

En un país o región pueden existir, y de hecho existen, varias regiones productoras de frijol cuya importancia puede estar definida en términos de uso de recursos o de destino de la producción. La selección de una zona u otra está determinada por el tipo de impacto que se pretenda alcanzar, tal como: mejorar ingresos, aumentar el consumo rural, reducir riesgo, mejorar la eficiencia en el uso de los

recursos, etc. Cualquiera que sea el tipo de impacto buscado, es fundamental que en las fincas de la zona en cuestión se tenga el cultivo de frijol como una actividad frecuente y cotidiana. La metodología aquí descrita no es aplicable para diseñar tecnología para zonas nuevas en la producción de frijol.

2. Evaluación del grado de conocimiento sobre las circunstancias de la producción de frijol en el área de estudio

Antes de proceder a visitar las fincas frijoleras es importante realizar los siguientes pasos:

a. Revisión de estudios disponibles sobre la región o regiones similares (tesis de grado, informes de las asociaciones de agricultores, cooperativas y entidades nacionales).

Nota: Esta información debe ser utilizada con precaución, pues los cambios tecnológicos generan una dinámica propia, por lo cual los datos disponibles pueden ser obsoletos en el momento de la revisión.

b. Compilación de datos agroclimáticos disponibles.

c. Contactos con personas expertas en aspectos agrícolas de la región: agrónomos, extensionistas, prácticos agrícolas, mejoradoras de hogar, directivos de bancos de crédito agrícola, vendedores de insumo, etc.

Nota: No olvidar que el criterio con el cual el experto regional hace un diagnóstico de la situación podría estar sesgado por:

- El objetivo propio de su trabajo (Ej.: supervisores de crédito).

- El tipo de agricultores que atiende (Ej.: agricultores con recursos superiores o inferiores al promedio.

d. Recorrido preliminar por la región - Este recorrido debe incluir charlas informales con algunos agricultores frijoleros que ayuden a definir los puntos que deberán ser incluidos con más detalle en las conversaciones formales que se tendrán posteriormente. Estos sondeos pueden ser realizados por grupos multidisciplinarios.

3. Definición de la información que debe recogerse para formular el diagnóstico

El tipo de información a recoger está determinado dentro del siguiente contexto:

a. El frijol es un cultivo importante en la zona.

b. Se van a diseñar ensayos de nueva tecnología de frijol para realizarlos en las fincas de agricultores.

c. No se tiene información detallada, actualizada y confiable sobre la producción de frijol en la zona.

d. La cantidad de información a recoger debe guardar un equilibrio entre ser lo suficientemente completa para que informe lo necesario y lo suficientemente concreta para no fatigar al agricultor.

e. Se pretende recoger y procesar la información en forma rápida, fácil y a bajo costo.

Dentro de este contexto y de acuerdo a los objetivos específicos definidos inicialmente, la información necesaria a obtener es:

a. Prácticas del agricultor en el cultivo de frijol y su porqué.

- Fecha y método de siembra;
- nivel de uso de insumos;
- sistema de siembra;
- variedades sembradas.

El conocer las prácticas y las razones, permite conocer la lógica de sus decisiones y definir una tecnología base a partir de la cual se proyecten cambios marginales.

b. Problemas del frijol

- Los observados por el encuestador en el cultivo;
- Los mencionados por el agricultor. Incluye todo tipo de problemas y no sólo agrobiológicos. Por ejemplo: problemas para conseguir la semilla o para vender el frijol.

Este tema es esencial en la encuesta, pues orienta sobre las áreas o puntos que pueden ser solucionados con ensayos en fincas o remitidos a los centros de investigación.

c. Recursos del agricultor

- Cuáles se utilizan en el frijol;
- cuáles se utilizan en otros cultivos.

Esta información ayuda a definir la factibilidad de las soluciones tanto en términos de recursos como de la orientación que el agricultor hace de ellos de acuerdo a la importancia relativa de los cultivos y actividades de la finca. Dos ejemplos ayudan a aclarar esta afirmación:

En Antioquia, Colombia, una región con alto uso de insumos en frijol, se ensayó una tecnología de uso de pesticidas específicos para antracnosis, enfermedad identificada como problema en la zona. Al cabo de tres años de ensayos en fincas, la mitad de los agricultores habían incorporado a sus prácticas el nuevo fungicida. Esta tecnología tenía opción por cuanto: a) fumigar el frijol era desde antes, una práctica cotidiana; b) el agricultor dispone de un ingreso monetario que le genera la venta de sus productos; c) el frijol es un cultivo importante en términos de uso de recursos de la finca. Un caso

bien diferente lo constituyen los agricultores de Chota, donde el frijol es una actividad marginal en términos de capital, mano de obra, tierra, insumos químicos, y su producción está destinada al consumo de la finca, todo lo cual limita cualquier tecnología que requiera egresos monetarios.

d. Conceptos del agricultor

- Características de las variedades sembradas y dejadas de sembrar;
- cambios en su sistema y razones para los cambios;
- razones de sus prácticas actuales;
- razones del uso de mezclas varietales.

Conocer los conceptos del agricultor es parte del proceso de entender su lógica y las restricciones que enfrenta. Por ejemplo, en regiones de pequeños agricultores a veces se encuentra que los controles de malezas son insuficientes y el frijol debe competir con ellas. Ensayar las desyerbas como una opción tecnológica sería aparentemente adecuado, no obstante en muchos casos las malezas no se destruyen porque son usadas para el pastoreo del ganado cuando se ha cosechado el cultivo, y su destrucción no tendría sentido para el agricultor, quien necesita alimentar sus animales.

e. Papel del frijol en la finca

- Cultivo principal o secundario;
- destino del frijol: mercado - consumo;
- rotaciones;
- otros cultivos de la finca.

Si el frijol es un cultivo principal o secundario, puede ser medido en términos de área relativa, uso de recursos, destino de la producción. Todo ello determina la opción de una nueva tecnología. Aquí se podrían mencionar muchos ejemplos. Tal es el caso del sistema maíz - frijol en Chota, donde la densidad encontrada en frijol fue muy baja en términos agronómicos, pero es quizás la deseable en términos del maíz cuya importancia en el consumo, medida como cantidad y frecuencia de consumo, es mayor que la de frijol. Es posible que para los agricultores no sea deseable incrementar los rendimientos de frijol a expensas del maíz. Ello, no obstante, no es una situación estática. En Marinilla, Colombia, hasta hace 5 o 6 años el maíz era el producto importante del sistema maíz - frijol en relevo, ampliamente difundido en la zona. Pero hoy en día el frijol, ha cobrado tanta importancia, hasta el punto de llegar al monocultivo de frijol desplazando en esta forma al maíz. Esta situación debida a cambios en precios y tecnología, muestra que los estudios de diagnóstico tienen una vigencia limitada.

El destino del frijol, como se planteó anteriormente, puede definir opciones tecnológicas en cuanto a:

Variedades: Aceptables para mercado o para consumo de la finca.

Uso de insumos: Altamente improbable su adopción por los agricultores de autoconsumo.

Uso de otros productos: Crédito, asistencia técnica, mano de obra. Pueden ser opciones no aptas para agricultores de autoconsumo.

El estudio de diagnóstico NO se propone:

a. Estimar costos de producción de frijol o de otros cultivos;
b. Describir y analizar otros cultivos o actividades;
c. Cuantificar las relaciones entre el frijol y otros cultivos o actividades de la finca.

Limitaciones del estudio de diagnóstico:

a. No se obtiene información sobre toda la finca;
b. No se profundiza en un problema en particular;
c. No cuantifica el desempeño económico del cultivo ni la participación de los factores.

Estos aspectos deberán ser cubiertos posteriormente en forma paralela al desenvolvimiento de los ensayos en fincas.

4. Definición de las herramientas de diagnóstico

Una vez concretada la zona y habiendo logrado un conocimiento general de ella y de los temas específicos a investigar sobre la producción de frijol, se elabora una lista de los puntos que deberán ser estudiados y sobre los cuales se debe recoger información. Para recoger esta información es necesario visitar los cultivos y hablar con los agricultores. Tanto las observaciones agrobiológicas del cultivo como la conversación deben ajustarse a una lista de preguntas que se formulará sistemáticamente a todos los entrevistados y cuyas respuestas deben ser consignadas también sistemáticamente. Esto implica llevar una lista de preguntas o una encuesta. Algunas personas se inclinan hacia las entrevistas informales donde las preguntas y respuestas se retienen en la memoria del entrevistador y se consignan después de la entrevista en un cuestionario. Este método busca hacer más espontánea la relación con el agricultor, lo cual se espera refleje mejor información. Nuestra experiencia en este campo nos muestra que la lista de preguntas para hacer un estudio de diagnóstico consta de 70 preguntas como mínimo, sin contar las observaciones de campo. Parece difícil entonces retener todas las respuestas en la memoria. Por otra parte, este método corre el riesgo de orientar la conversación hacia temas sobre cuya importancia pueda el entrevistador tener un preconcepto o sesgo, o incurrir en olvidos y confusiones. Por estas razones preferimos la encuesta como herramienta para recoger la información. En los estudios de diagnóstico realizados por el Programa de Economía de Frijol del CIAT, en Colombia, y en colaboración con las entidades nacionales de investigación de Perú, Argentina, Costa Rica y Guatemala, se ha empleado siempre un cuestionario formal, sin encontrar tropiezos en la relación con el agricultor, lo cual respalda aún más el empleo de la encuesta como herramienta en la recolección de información.

Varios tipos de encuestas pueden ser concebidos para obtener el diagnóstico de la producción. En este caso concreto en que queremos tener un diagnóstico de las circunstancias de la producción y de los productores de frijol para diseñar ensayos en fincas, partimos de una "encuesta preliminar".

5. Diseño de la encuesta

Varios aspectos conforman este punto:

a. Organización de las preguntas;
b. tipos de preguntas;
c. sistemas de obtención de la información.

a. Organización de las preguntas

El orden de las preguntas en el cuestionario debe obedecer a:

- Facilitar la comunicación con el agricultor
  * No iniciar con temas inadecuados. Por ejemplo: tamaño de la finca, uso de crédito;
  * no terminar con temas densos.
- Hacer un seguimiento secuencial del cultivo o actividad
  * Por facilidad para el entrevistado;
  * por calidad de la información.
- Evitar sesgos en la información
  * Preguntas sobre ingreso, tenencia de la tierra, utilización de crédito estatal y asistencia técnica en etapas iniciales pueden llevar a deformar datos sobre recursos e insumos empleados.

b. Tipos de preguntas

De acuerdo a los objetivos de la encuesta "exploratoria", el tipo de preguntas a utilizar son fundamentalmente:

- Preguntas abiertas: Ej.: Cuáles son los cultivos de su finca?
- Preguntas conceptuales: Porqué cambió de sistema de siembra? Porqué usa fertilizantes?

Las preguntas dirigidas son poco usadas a este nivel de la encuesta "exploratoria" porque generalmente se desconocen las diferentes alternativas, lo cual impide precisar las preguntas.

c. Sistemas de obtención de la información

Con el fin de obtener la mejor información y reducir el riesgo de fatiga para el agricultor entrevistado, se hace necesario

definir, al elaborar el cuestionario, qué datos se pueden obtener del agricultor, del lote de cultivo y/o de ambos. Esto a su vez define dos sistemas de obtención de la información.

- Observación del cultivo de la finca

  * Condiciones sanitarias del cultivo;
  * distribución del, o de los cultivos en el lote;
  * condiciones de humedad del suelo;
  * población de plantas;
  * uso de la tierra en la finca;
  * topografía.

  Conversaciones con el agricultor

  * Cifras,
  * fechas,
  * cantidades,
  * conceptos.

  Nota: La observación de campo no excluye preguntas al agricultor sobre cuáles son sus problemas en la producción de frijol en razón a que éstos pueden variar entre años y en concepción; así problemas que lo son para el técnico, pueden no serlo para el agricultor y viceversa. Esto es especialmente importante de tener en cuenta ya que se corre el riesgo de llevar tecnologías que corrigen problemas que no lo son, y que por lo tanto tienen pocas probabilidades de ser adaptadas. En la sección de Economía de Frijol del CIAT, se encuentra disponible un modelo de encuesta exploratoria. Si se requiere puede ser solicitado por escrito por la institución interesada.

6. Diligenciamiento de la encuesta

Este punto cubre tres aspectos:

a. Entrenamiento de encuestadores;
b. prueba de la encuesta;
c. selección de los agricultores.

a. Entrenamiento de los encuestadores

Es importante definir quiénes deben ser los encuestadores. Por razones del fin principal que se persigue, cual es, el de realizar ensayos de nueva tecnología de frijol en fincas de agricultores, se cree necesario que los encuestadores sean personas que estén trabajando directa o indirectamente en frijol, e idealmente aquellas quienes van a tomar las decisiones sobre el tipo de tecnología a ensayar a nivel de finca, para

buscar soluciones a los problemas identificados en su diagnóstico. De no ser así, el tiempo empleado en instruirlos sobre identificación de problemas agrobiológicos sería mayor y la captación de la problemática del cultivo sería quizá menor.

El entrenamiento comprende:

- La explicación sobre la estructura de la encuesta;
- la explicación sobre el objetivo de cada pregunta (según el instructivo previamente elaborado);
- la instrucción sobre la forma de abordar al agricultor, que comprende:

  * Introducción: Debe ser corta, convincente y veraz; en ella debe informarse al agricultor para qué se está haciendo esta entrevista y que sus respuestas van a ser anotadas en el cuestionario. Si el agricultor no acepta la entrevista, está en su derecho y se buscarán otros agricultores. Si acepta, el proceso de encuestar se facilita porque de antemano se han definido y aclarado los propósitos y procedimientos.

    Es aconsejable, pero nunca ha sido indispensable, hacerse acompañar por alguien conocido en la zona, pero quien no introduzca sesgos en las respuestas.

  * Lenguaje: Usar sus términos y adaptarse a sus unidades de medidas.

    El encuestador deberá formular las preguntas con un lenguaje comprensible para el agricultor. No debe leer textualmente las preguntas del cuestionario, sino formularlas en la forma y con el lenguaje coherente para el entrevistado. En general la forma como están escritas las preguntas en el cuestionario no puede ser la misma como se le formulan al agricultor, por problemas de espacio. Le corresponde al encuestador adaptarlas a una forma que encaje dentro de la conversación que lleva con el agricultor y en los términos usados por él. Suministrar un glosario de términos regionales a los encuestadores es muy útil.

    Es frecuente que los agricultores tengan medidas distintas a las comúnmente manejadas por los investigadores. El área, por ejemplo, parece ser secundaria y su principal parámetro de medida es la cantidad de semilla. El rendimiento, la cantidad de mano de obra utilizada, la extensión del lote, la cantidad de fertilizantes son comúnmente expresados en términos de la cantidad de semilla: Ej.: Una lata de frijol por kilo de semilla, un bulto de abono orgánico por pucha de sembradura, etc. Conocer su sistema de medida y sus términos aumenta la comprensión de la información suministrada y mejora la comunicación con el agricultor.

* Actitud: Hablar con el agricultor como personas interesadas en aprender de su experiencia y no como depositarios de la tecnología.

La actitud de quien realiza la encuesta deberá ser, básicamente receptiva: escuchar, entender y preguntar son sus funciones como encuestador. Formular, aconsejar o desaprobar prácticas del agricultor no lo son y deberán eliminarse durante la entrevista.

Cuando el agricultor atiende a un entrevistador está gastando su tiempo y en algunos casos espera una retribución. Por ello, esta situación en algunas ocasiones genera en el encuestador la creencia de que es necesario hacer ofrecimientos a cambio de la información. Una introducción donde se ilustra al agricultor sobre los propósitos de nuestra visita deberá obviar este tipo de situaciones. Si no se logró en la introducción, durante el curso de la entrevista se deberá volver a manifestar al agricultor que su información será útil para detectar problemas y encontrar soluciones que en un futuro se ensayarán en las fincas de la región.

b. Prueba de la encuesta

Después de haber realizado las primeras encuestas (8 o 10) es necesario evaluar su desempeño en base a:

- Si el orden de las preguntas es correcto;
- si las preguntas responden a los objetivos fijados;
- si hay preguntas inadecuadas;
- si hay preguntas irrelevantes;
- si hay necesidad de introducir nuevas preguntas;
- si hay que modificar las preguntas.

Una vez evaluada la encuesta, se introducen los cambios que sean necesarios.

c. Selección de los agricultores

La selección de los agricultores y del número de ellos que deberán ser encuestados, depende de:

- El marco muestral;
- la homogeneidad de la población encuestada;
- el presupuesto y recursos disponibles.

Si existe una lista de agricultores de frijol para la región que se va a estudiar, se puede definir y seleccionar la muestra siguiendo las normas de muestreo. No obstante, es de esperar que las listas disponibles para pequeños agricultores, si las hay, no contengan el total de la población sinó que hagan referencia a grupos con características muy específicas. Por ejemplo: los que usan crédito, los que usan semilla comprada,

los que reciben asistencia técnica, etc. Esto introduce sesgos graves y en este caso es más aconsejable desplazarse a la zona e ir entrevistando a los agricultores que tengan sembrado frijol tratando de cubrir varios puntos del área frijolera de la zona.

El número de entrevistas depende de la variabilidad en:

- Las prácticas y los sistemas de siembra;
- las épocas de siembra;
- la incidencia e intensidad de problemas agrobiológicos;
- la disponibilidad de recursos;
- las variedades sembradas;
- las condiciones de suelos y de clima entre fincas.

Dado que el fin principal del diagnóstico es permitir diseñar y realizar ensayos de nueva tecnología en fincas de agricultores, se hace necesario probar técnicas que puedan servir a un grupo amplio de agricultores. Esto es factible en la medida en que el diagnóstico haya identificado los factores de variabilidad y los factores de homogeneidad entre ellos, que permitan definir "dominios de recomendación". Este término usado por CIMMYT hace referencia a: grupos de agricultores para quienes se puede hacer la misma recomendación.

7. Análisis de la encuesta

Una vez obtenida la información para la región en estudio, se procede a definir la factibilidad de agrupar las observaciones según características divergentes y que determinan tecnologías diferentes. Ejemplo, variedad sembrada: puede determinar hábito de crecimiento diferente, época de siembra y cosecha diferentes, uso de mano de obra y/o de otros insumos diferentes. Otro ejemplo podría ser uso de crédito, que también puede determinar uso actual y futuro de diferentes opciones tecnológicas. Esta primera forma de agrupación de la información está básicamente determinada por el conocimiento global adquirido por las personas que realizaron la encuesta. En el curso del análisis se pueden definir nuevos criterios de agrupación, pero generalmente son subdivisiones de los definidos al iniciar el análisis de los datos.

La sección de Economía de Frijol del CIAT dispone de los cuadros básicos que deberán obtenerse al procesar los datos de la encuesta exploratoria. Como se puede observar, se trata de un método sencillo y ágil que permite en corto tiempo procesar la información. Se obtienen promedios y porcentajes para variables simples y para cruces de variables. La institución interesada los puede obtener solicitándolos por escrito.

8. Elaboración del diagnóstico

Al finalizar el procesamiento de la información se procede a analizar los datos y elaborar un diagnóstico de la producción que debe permitir cumplir con los objetivos específicos definidos inicialmente:

- Describir el sistema;
- identificar los problemas de la producción de frijol;
- conocer las prácticas de cultivo;
- conocer los recursos;
- conocer cómo se manejan los recursos;
- identificar tipo de insumo usado y época y forma de aplicación;
- conocer la importancia relativa del frijol;
- definir nivel de variables no experimentales;
- definir testigo.

Todo esto con el fin de diseñar ensayos de nueva tecnología que encajen con las circunstancias del agricultor y que ofrezcan soluciones a sus problemas.

9. y
10. Identificación de limitaciones y definición de estudios especiales

Otro paso posterior al procesamiento y análisis de la información recogida por la encuesta exploratoria es el de que los participantes en este proceso definan las limitaciones de la información recogida. Es seguro que habrá aspectos específicos de un tema que exigirán, dada la importancia observada, mayor cantidad de información para su evaluación. Esto implica nuevas visitas a un grupo más reducido de agricultores y/o de lotes de frijol para ahondar en aspectos concretos del tema. Quizá sea necesario asesorarse de gente experta en la disciplina a que hace referencia el tema en cuestión. Estos se denominan "estudios especiales" y son un paso posterior y necesario a la encuesta "exploratoria".

CAPITULO VI
LA EXPERIMENTACION EN FRIJOL

PAGINA

EL DIAGNOSTICO DE PROBLEMAS EN FRIJOL..... 385
C. A. Flor

PLANEACION DE LOS EXPERIMENTOS..... 401
J. Escobar

TAMAÑO DE PARCELA..... 409
O. Voysest

EL DIAGNOSTICO DE PROBLEMAS EN FRIJOL

Carlos A. Flor M.

El diagnóstico es el proceso mediante el cual se da la definición de un problema y se determinan sus agentes causales primarios. Este proceso en muchas ocasiones es complicado y representa un verdadero reto para el investigador. Tanaka y Yoshida (13), indican que "diagnosticar un desorden nutricional en los vegetales es tan importante como difícil". Por eso generalmente se acepta que el diagnóstico o definición del problema, es la parte más complicada del trabajo de un investigador". Según Font-Quer (4), el diagnóstico es "lo propio de la diagnosis o lo referente a la misma; es el conjunto de signos o síntomas que sirven para caracterizar una enfermedad". Diagnosis es "la acción de discernir, de juzgar". Patiño (11), señala la etimología de la palabra: gnosis, conocer; dia, a través.

Las técnicas y proceso general del diagnóstico, son estudiados en la Etiología, disciplina que tiene por objetivo el conocer la naturaleza y clasificación de los agentes primarios causantes de enfermedades. Es importante señalar que predomina la tendencia a asociar el término "enfermedad" con los agentes primarios causales, hongos, virus y bacterias. Sinembargo, una conceptualización más amplia considera que también factores ambientales como suelo, clima, pueden ser causantes de enfermedades. En otro sentido es muy frecuente asociar los términos "problema", "enfermedad", "disturbio", "desorden".

El diagnóstico es la fase inmediata a la "observación sensorial del problema"; según Muñoz (10), el diagnóstico de una enfermedad debe ser el punto de partida y la base científica para la formulación de planes de control. El papel del diagnóstico, dentro del esquema convencional de la metodología de la investigación científica puede apreciarse en la figura 1.

El diagnóstico vegetal presenta algunas características especiales, en relación al diagnóstico en el caso de los animales:

1. En general, las estructuras (órganos, tejidos) vegetales son más sencillas que las estructuras animales.

2. Los animales exteriorizan en una forma más evidente los problemas que los afectan: aumento de temperatura, postración, sudores, diarreas, erizamiento.

3. También los animales manifiestan en forma más rápida el problema. Además es rápida, su reacción al tratamiento positivo del mismo.

4. Algunas manifestaciones del problema en los vegetales, como por ejemplo los síntomas, son de muy difícil interpretación.

5. Algunos de los órganos vegetales, por ejemplo las raíces, no son visibles y su exploración puede conducir a la muerte de la planta.

6. En el diagnóstico vegetal interesan las afecciones que comprometen a conjuntos de plantas, a poblaciones; el individuo aislado generalmente no tiene significancia en fitopatología; en cambio en

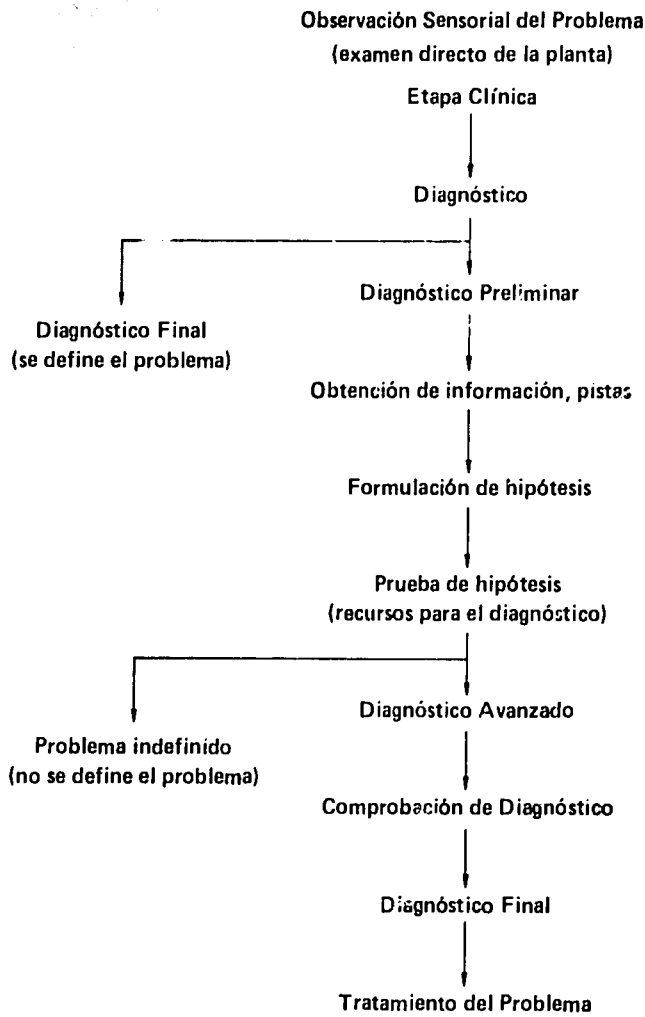


Figura 1. Representación del proceso de diagnóstico.

el diagnóstico humano y animal, el interés se centra básicamente en el individuo" (Muñoz 10).

Dentro de los posibles agentes causales de problemas, se consideran como Fisiopatógenos o fisiópatos a los agentes inanimados como exceso o deficiencia de agua, acidez y salinidad excesivas. Los problemas causados por estos agentes, son denominados "desordenes nutricionales" por varios autores. Tanaka y Yoshida (13) indican que desorden nutricional es cualquier anormalidad causada por una deficiencia de un elemento esencial, o una toxicidad causada por niveles altos de cualquier sustancia o iôn en el suelo. También se incluyen aquí las toxicidades causadas por sustancias que se acumulan en suelos inundados para el caso del arroz como sulfuros, ácidos orgánicos, CO2, etc. Finalmente se incluyen aquí los "agentes polutantes", como los gases industriales.

Barley et al (1), clasifican las enfermedades en parasíticas y no parásitas. En la última clase incluyen las "enfermedades nutricionales, las debidas a factores ambientales como viento, agua y condiciones físicas del suelo.

Dentro de los vegetales, por otra parte, también hay necesidad de precisar algunas situaciones especiales:

- Hay plantas que tienen más problemas que otras.

- Hay medios ambientes más favorables para ciertos problemas: en suelos ácidos, por ejemplo, toxicidades de Al, Mn, Fe.

- Diferentes problemas pueden presentar síntomas similares. Es muy frecuente la confusión entre síntomas de desordenes nutricionales y síntomas causados por virus.

- Un mismo problema puede manifestarse en forma o grados diferentes. Esta situación muy frecuente refleja diferentes intensidades del problema y complica la caracterización visual del problema.

- Diferentes variedades dentro de una especie, pueden tener diferente comportamiento ante un mismo problema. Igualmente hay que recordar que los requerimientos nutricionales de una especie son proporcionales al rendimiento, y varían según se trate de híbridos, líneas, variedades.

- Hay síntomas primarios y secundarios: algunas veces los síntomas de un problema secundario, enmascaran los síntomas de un problema primario.

- En los estados finales o muy graves, muchos problemas conducen a una sintomatología similar, generalmente necrosis.

- Los desordenes nutricionales pueden ser causados por los efectos combinados de a) antagonismo (la presencia de un iôn disminuye la absorción de otro, evitando la posible toxicidad de este último); b) sinergismo (la presencia de un iôn aumenta la absorción de otro).

- Todos los nutrimentos esenciales deben estar presentes en la planta, pero no todos los elementos presentes en ella son esenciales. Por el contrario, estos últimos por ejemplo mercurio, niquel, selenio, pueden ser causa de toxicidades. Para algunas plantas hay necesidad

de considerar los llamados "nutrimentos funcionales": Si, Al, Na. (Barley et al, 1)

- El suelo y sus propiedades químicas y físicas debe ser estudiado en forma integral. Problemas en propiedades físicas pueden por ejemplo, afectar el movimiento del aire en el suelo, lo cual a la vez se refleja en dificultades en las reacciones de oxidación y posibilidad de algunas deficiencias.

- Las plantas con deficiencias nutrimentales tienden a ser más susceptibles a la invasión de organismos patógenos, aunque aquellas plantas sanas y con una nutrición balanceada parecen ser más susceptibles a los virus (Barley, et al, 1).

- Hay plantas más exigentes en ciertos nutrimentos: por lo tanto son más sensibles para mostrar deficiencias de este nutrimento: la alfalfa es exigente en boro; la coliflor en molibdeno.

El proceso de diagnóstico, por otra parte, requiere de una serie de ayudas y de técnicas, llamadas corrientemente "recursos para el diagnóstico" y dentro de los cuales están:

- La caracterización visual de síntomas.

- Los análisis químicos de suelos y de plantas, con los correspondientes "niveles críticos".

- La observación macroscópica y microscópica de la planta o parte de la planta afectada.

- El aislamiento de posibles patógenos y las pruebas de patogenicidad respectivas.

- La consulta bibliográfica.

- La experimentación.

- La observación de otras plantas y cultivos: plantas indicadoras.

Puede afirmarse que en general un proceso de diagnóstico requiere del uso de varios de los anteriores recursos. Veamos algunos comentarios más específicos sobre estos recursos:

La caracterización visual de síntomas

La experiencia adquirida en la caracterización visual de síntomas de deficiencias o toxicidades de nutrimentos, es un elemento de indudable importancia para el diagnóstico. Debe tenerse cuidado con el peligro de definir problemas en base a los "síntomas típicos"*; el autor considera que este concepto tradicionalmente usado en fertilidad de suelos sólo es válido en casos muy específicos y por lo tanto debe ser usado con prudencia; sugiere como alternativa el uso de expresiones como "cuadro sintomatológico", "síndroma", "síndrome", "cuadro de síntomas", expresiones que se refieren al complejo "síntomas y signos", con sus diferentes intensidades.

Tres categorías de síntomas son importantes de recordar:

- Síntomas necrósicos: Muerte del protoplasma y los tejidos. Son de naturaleza "regresiva". Aquí figuran, el marchitamiento, la quemazón, el vaneamiento, la momificación.

- Síntomas hiperplásicos: Excesiva multiplicación o sobrecrecimiento. Son de carácter "progresivo". Aquí figuran el gigantismo, el enrollamiento, los tumores, la fasciación.

- Síntomas hipoplásicos: Detención en la multiplicación, el crecimiento. Son de carácter "represivo". la roseta, el aborto, el enanismo.

Por otra parte también hay necesidad de considerar que no solamente hay "síntomas visibles", tales como algunos de los mencionados anteriormente. También hay "síntomas citológicos" (por ejemplo: cloroplastos pequeños), "síntomas químicos" (por ejemplo: bajo contenido de clorofila, bajo contenido de almidones), "síntomas metabólicos" (por ejemplo: reducción en la intensidad de la síntesis de proteínas).

Los análisis químicos de suelos y de plantas

En cuanto a los análisis químicos de suelos y de plantas, con fines de diagnóstico, el uso de la técnica del "contraste" o comparación entre suelo problema o suelo normal, o entre planta/órgano problema y planta/órgano normal, no sólo simplifica la interpretación pues la conduce a una sencilla comparación, sino que permite un uso más lógico de este recurso, en comparación con la sola interpretación del análisis del suelo problema o del tejido problema. Los análisis rutinarios de fertilidad no parecen ser los más apropiados para fines de diagnóstico. Lo recomendable es solicitar análisis para macronutrimentos y micronutrimentos, y en casos especiales incluir Al, Na, sales. Según Guerrero (6), el diagnóstico químico de la fertilidad del suelo requiere que el método químico de extracción de determinado nutrimento obtenga verdaderamente la fracción que estará disponible al cultivo; además se requiere contar con niveles críticos confiables. Estos dos supuestos básicos del análisis, son el resultado de la investigación y de la calibración del análisis.

El Cuadro 1 presenta la aproximación de niveles críticos de nutrimentos en el suelo para frijol. Esta información se presenta a nivel de simple referencia, pues lo deseable es que estos niveles críticos se obtengan o se ajusten a condiciones locales. Para fines de diagnóstico el análisis de suelo ha producido mejores resultados que el análisis de tejidos en cultivos como frijol. Sinembargo, y también a nivel informativo, se presenta el Cuadro 2 como una aproximación a los niveles críticos de nutrimentos en hojas de frijol. También es importante interpretar correctamente las concentraciones de nutrimentos en los tejidos y su relación con el crecimiento. Esta relación se muestra en la Figura 2 (Prevot y Ollagnier, citados por Benton Jones 2, Galiano 5).

---

*/ Típico (Latín Typicus): lo propio, lo característico de algo; lo que incluye en sí la representación de otra cosa, siendo emblema o figura de ella. (Diccionario Real Academia, 1977).

Cuadro 1. Aproximación de niveles críticos de nutrimentos en el suelo para frijol (Howeler)

Determinación	Método	Nivel Critico
pH	Suelo/agua = 1:1	5 y 8.1
Al	KCl, 1N	1 me/100 gr
Sat. Al	Al/Al + Ca+Mg+K+Na	10%
P	Bray I Bray II Olsen-EDTA Carolina Norte	11 ppm 15 ppm 14 ppm 13 ppm
K	Acetato de amonio 1N	0.15 me/100 gr
Mg	Acetato de amonio	2.0 me/100 gr
Ca	Acetato de amonio 1N	4.5 me/100 gr
Conductividad	Extracto saturación	0.8 mmhos/cm
Sat. Na	Acetato de amonio 1N	4%
B	Agua caliente	0.4 - 0.6 ppm
Zn	Carolina Norte	0.8 ppm
Mn	Carolina Norte	5 ppm
Cu *	NH4 C2 H3 O2 (pH 4,8) 0.5M-EDTA	0.2 ppm 0.7 ppm
Fe	NH4 C2 H3 O2 (pH 4,8)	2.0 ppm

*/ Cox F.R. and E.J. Kamprath. Micronutrient Soil Tests, in "Micronutrients in Agriculture". S.S.S.A., p. 313 (Nota: Niveles de Cu, Fe para varios cultivos).

Cuadro 2. Aproximación de niveles críticos de nutrimentos en hojas de frijol

Nutrimento	Método	Parte de la Planta	Nivel Crítico
Nitrógeno	Kjeldahl	Hojas superiores	5%
Fósforo	Digestión: $HClO_4$ + HNO_3 Determinación: Molibdato de Amonio	Hojas inferiores	0.35%
Potasio	Digestión: $HClO_4$/+ HNO_3 Determinación: Absorción Atómica	Hojas superiores	2%
Calcio	Digestión: $HClO_4$+ HNO_3 Determinación: Absorción Atómica	Hojas superiores	1.44%
Magnesio	Digestión: $HClO_4$/+ HNO_3 Determinación: Absorción Atómica	Hojas superiores	0.35-1.30%
Azufre	Digestión: $HClO_4$ + HNO_3 Determinación: Absorción Atómica	Hojas superiores	0.20-0.25%
Boro	Digestión: Calcinación Determinación: Curcumina	Hojas superiores	20-25 ppm
Cobre	Digestión: $HClO_4$ +HNO_3 Determinación: Absorción Atómica	Hojas superiores	15-25 ppm
Manganeso	Digestión: $HClO_4$/+ HNO_3 Determinación: Absorción Atómica	Hojas superiores	75-250ppm
Zinc	Digestión: $HClO_4$ + HNO_3 Determinación: Absorción Atómica	Hojas superiores	15-20 ppm

Información obtenida de los siguientes autores: Cox, F.E. y Kamprath; Chapman, H.D.; Fox, R.H ; Howeler, R.H., Flor, C.A. y González C.; Hunter, A.H.; Stewart, B.A. y Porter, L.K.; Tisdale, S.L. y Nelson W.L.

Otros investigadores como Homes, Recalde y Galiano (5), indican que bajo una nutrición normal, los contenidos de nutrimentos en las hojas guardan un equilibrio nutritivo". Este equilibrio ha sido obtenido a nivel de relaciones binarias, cuando se trata de dos nutrimentos, o de relaciones ternarias si se trata de tres o de relaciones senarias si se trata de seis. (Figura 3). También se habla de equilibrio nutritivo entre nutrimentos aniónicos (N:P:S) y nutrimentos catiónicos (K:Ca:Mg).

La Experimentación

La experimentación constituye posiblemente la técnica de diagnóstico más usada por los investigadores de suelos de América Latina. Existen básicamente dos tendencias:

I. Experimentación "unifactorial"

a. Aplicación de tratamientos al suelo, generalmente bajo el siguiente diseño, por ejemplo para el caso de un posible problema de deficiencia de micronutrimentos:

1. Tratamiento "completo"
2. Tratamiento "completo - Zn"
3. Tratamiento "completo - B"
4. Tratamiento "completo - Fe"
5. Tratamiento "completo - Mn"
6. Tratamiento "completo - Cu"
7. Tratamiento "completo - Mo"
8. Testigo absoluto

En algunos casos, por ejemplo suelos ácidos, para tener éxito con el plan anterior, se requiere de encalamiento previo.

El Cuadro 3 indica algunas fuentes y niveles que pueden ser usados para estos tratamientos al suelo.

b. Aplicación de tratamientos por vía foliar generalmente bajo el siguiente diseño:

1. + Zn
2. + B
3. + Fe
4. + Cu
5. + Mn
6. + Mo
7. + Testigo

Es muy importante en este caso tener en cuenta la velocidad de absorción de los nutrimentos aplicados a las hojas. Lluvias posteriores a la aplicación lavan los productos aplicados y retardan o impiden el diagnóstico. Por ejemplo, la absorción de nitrógeno, magnesio, zinc y manganeso es mucho más rápida que la de fósforo, azufre o hierro. También hay que considerar la "movilidad" de los nutrimentos: nitrógeno y potasio son muy móviles; boro y calcio son "inmóviles". Los Cuadros 4, 5, y 6 presentan información complementaria sobre estos puntos.

Las dos situaciones mencionadas en la experimentación "unifactorial" son meros ejemplos ilustrativos de un sin número de posibilidades, que dependen de la habilidad de la persona que está orientando el proceso o ruta del diagnóstico.

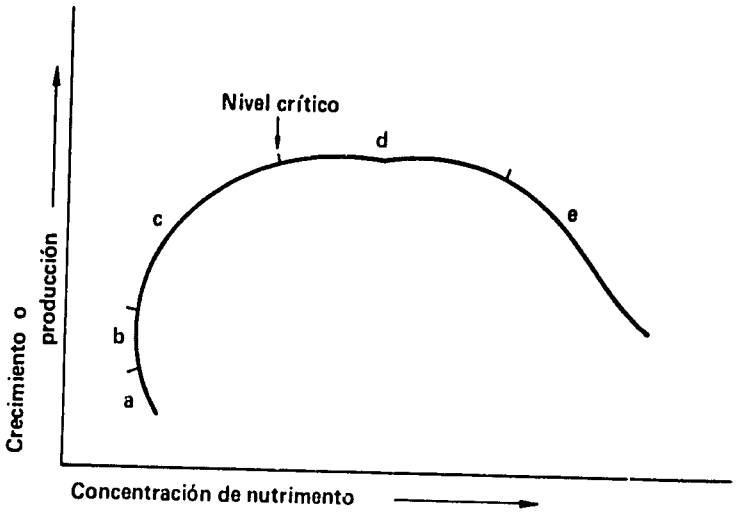


Figura 2. Relación entre contenido de un nutrimento en la plan- y el crecimiento (Prevot y Ollagnier):
Zona "a": Deficiencia muy aguda (efecto de dilución Steenbjerg)
Zona "b": Deficiencia grave
Zona "c": Deficiencia media
Zona "d": Consumo de lujo
Zona "e": Toxicidad

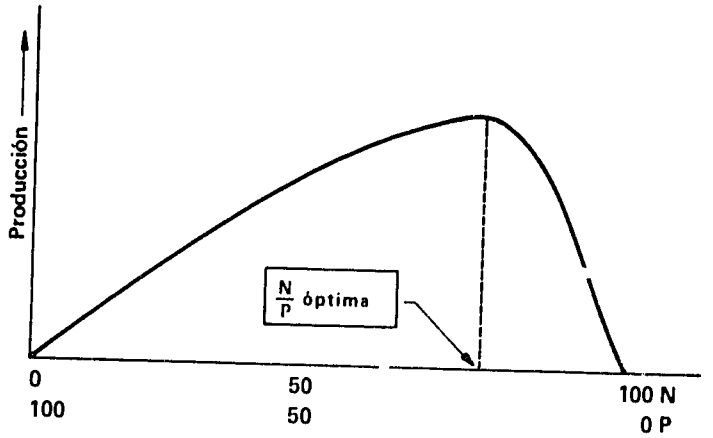


Figura 3. Representación esquemática de la relación entre producción y una razón binaria $\frac{N}{P}$ (Galiano, 5).

Cuadro 3. Fuente y cantidad promedio de micronutrimentos que pueden usarse en la fase de diagnóstico del problema (Aplicaciones al suelo)

Elemento	Fuente	% del Elemento	Dosis media Kg/ha Elemento
Cu	Sulfato de cobre, CuSO4,.5H2O	25	2
	Quelato de cobre, Na2Cu EDTA	13	0.5
Mn	Sulfato Manganeso MnSO4.3H2O	26	6
Zn	Sulfato de Zinc ZnSO4.H2O	35	
	ZnSO4.7H2O	21	5
	Oxido de Zinc ZnO		
B	Borax Na2B4 07.10 H2O	10	
	Solubor Na2B4 07. 5 H2O + NaB10 06.10 H2O	20	1
Mo	Molibdato de Sodio	39	0.2
Fe	Quelato de hierro, NaFe EDTA	5-14	2
	Quelato de hierro, NaFe DFPA	10	

Cuadro 4. Velocidad de absorción de nutrimentos aplicados al follaje (Wittwer, 1964)

Nutrimento	Tiempo necesario para tener un 50% de absorción	
Nitrógeno (Urea)	0.5 - 2	Horas
Fósforo	5 - 10	Días
Potasio	10 - 24	Horas
Calcio	10 - 94	Horas
Magnesio	10 - 24	Horas
Azufre	5 - 10	Días
Cloro	1 - 4	Días
Hierro	10 - 20	Días
Manganeso	1 - 2	Días
Molibdeno	10 - 20	Días
Zinc	1 - 2	Días

Cuadro 5. Movilidad de los nutrimentos aplicados a las hojas

Altamente Móviles	Móviles	Parcialmente Móviles	Inmóviles
Nitrógeno Potasio	Fósforo Azufre	Zinc Cobre Manganeso Hierro Molibdeno	Boro Calcio

Nutrimento más móvil

Nutrimento más inmovil

Cuadro 6. Concentración promedio de varias fuentes de nutrimentos que pueden usarse en las fases de diagnóstico del problema o de comprobación de diagnóstico. Aplicaciones Foliares.*

Nutrimento	Fuente	Concentración %
N	Urea	0.5-1
K	K2 SO4	1
Mg	MgSO4,.7H2O	1
Fe	Fe EDTA	0.5-1
B	Na2 B4 O7.10 H2O	0.2
B	Solubor	0.1
Mn	MnSO4.H2O	0.5
Zn	ZnSO4.7H2O	0.5
Cu	CuSO4.5H2O	0.3
Mo	(HH4)6 Mo7 O24.4H2O	0.01

*/ El uso de agentes humectantes como Agral 60 favorece la eficiencia de la aspersión.

II. Experimentación "multifactorial"

Generalmente se utiliza cuando ya se posee alguna información sobre el posible efecto de dos o más nutrimentos y/o sus interacciones.

La observación de otras plantas como malezas y cultivos vecinos al sitio en donde está el problema cuyo diagnóstico interesa, es un recurso valioso pero muy poco usado: algunas plantas son especialmente sensibles a bajas cantidades de un nutrimento particular en el suelo y muestran síntomas de su deficiencia más fácilmente que otras plantas. Chapman, citado por Barley (1), da los siguientes ejemplos de plantas indicadoras:

Nutrimento	Planta indicadora
N	Coliflor, repollo
P	Maíz, lechuga, tomate
K	Papa, tabaco, banano, caña, yuca
Ca	Repollo, alfalfa
Mg	Papa, coliflor, maíz
S	Alfalfa, trébol
Fe	Papa, coliflor, cítricos
B	Girasol, remolacha
Mn	Remolacha, manzano, cítricos
Zn	Cítricos, tomate, maíz
Cu	Naranjo, limón, mandarina
Mo	Tomate, lechuga, espinaca

La observación macroscópica, estereoscópica y microscópica de la planta o parte de la planta afectada

Una de las causas más frecuentes en los diagnósticos equivocados radica en la deficiente observación y exploración de la planta o cultivo afectado. Por otra parte existe un conocimiento pobre sobre los aspectos más generales de la morfología, la anatomía y la fisiología de las plantas que se cultivan. Una recomendación elemental, en el sentido de mejorar el conocimiento de las plantas en "estado normal", permitirá por diferencia conocer mejor "las manifestaciones de anormalidad". También hay necesidad de conocer las diferentes etapas de desarrollo de un cultivo, pues muchas veces se altera el desarrollo fisiológico, produciéndose cambios o anormalidades en la diferenciación de órganos, estructuras. En el caso del frijol por ejemplo, observaciones recientes en CIAT, indican que es posible el diagnóstico de ciertos problemas de suelos, cuando el cultivo crece en suelos extremadamente pobres, mediante la observación de síntomas en las hojas primarias, y cuando la planta apenas ha formado la primera hoja trifoliada. De esta manera, las hojas primarias se convierten en "hojas diagnóstico". Esta observación ha sido hecha para N, K, Mg ; su importancia radica en la posibilidad de una definición rápida del problema y el inmediato tratamiento del mismo.

El aislamiento del patógeno y las pruebas de patogenecidad respectivas

Aunque el énfasis principal del tema que se está tratando se refiere al diagnóstico de los problemas de fertilidad de suelos, es necesario recordar todos los posibles agentes causantes de enfermedades. En el caso de hongos y bacterias, deben cumplirse los postulados de Koch:

1. El organismo o agente fitopatógeno debe estar asociado con la enfermedad en todos los casos y a su vez la enfermedad no debe aparecer sin que el microorganismo esté o haya estado presente.

2. El organismo o agente fitopatógeno debe ser aislado en cultivo puro, natural o artificialmente y deben estudiarse sus caracteres específicos.

3. Cuando en condiciones favorables la planta hospedante sana se inocula con el posible agente fitopatógeno en cultivo puro, deben reproducirse los síntomas característicos de la enfermedad.

4. El agente fitopatógeno debe ser reaislado del hospedante inoculado y debe mostrar las mismas características en cultivo puro que el que se aisló anteriormente.

La inducción-deducción del problema

Para finalizar es importante tener en cuenta que hay dos vías o rutas no excluyentes, que permiten orientar el proceso de diagnóstico:

a. El diagnóstico por inducción, muy usado para el caso de fitoxicidades.

b. El diagnóstico por deducción, muy usado en fertilidad de suelos para el caso de deficiencias.

BIBLIOGRAFIA

1. Barley, K.P., R.D. Graham and D.R. Laing. 1975. The Agronomy of annual crops. Edited by M.J.T. Norman

2. Benton Jones, J. 1972. Plant tissue analysis for micronutrients. In "Micronutrients in agriculture" edited by J.J. Mortvedt, P.M. Giordano and W.L. Lindsay. Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin. 319-346 p.

3. Flor, C.A., R. Howeler y C.A. González. 1975. Zinc y Boro, dos microelementos limitativos para la producción de algunas cosechas en las regiones cálidas de Colombia. CIAT. 23 p. (mimeografiado).

4. Font-Quer, P. 1977. Diccionario de Botánica; Editorial Labor.

5. Galiano, F. 1980. Diagnóstico foliar. Fundamento y empleo de algunos cultivos. En "Fertilidad de suelos, diagnóstico y control". Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. 201-224p.

6. Guerrero, R. 1980. El diagnóstico químico de la fertilidad del suelo en "Fertilidad de suelos, diagnóstico y control". Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. 141-199 p.

7. Howeler, R.;. C.A. Flor y C.A. González. 1976. Diagnosis and correction of boron deficiency in beans (Phaseolus vulgaris) and mungbeans (Vigna radiata) in a Mollisol from the Cauca Valley of Colombia. 33 p.

8. Malavolta, E. 1976. Manual de química agrícola, nutriçao de plantas e fertilidade do solo. Editora Agronomica Ceres. Sao Paulo. 528 p.

9. Mortvedt, J.1. 1978. Occurrence of micronutrients in rocks, soils, plants, and fertilizers. En "Suelos Ecuatoriales", memorias del V coloquio de suelos: potasio y micronutrimentos en la agricultura colombiana. Vol. IX, N° 2, pp. 135-140.

10. Muñoz, H. 1981. Diagnóstico de enfermedades. Primer Curso Internacional de Reconocimiento y Diagnóstico de Plagas en Vegetales. 10 p.

11. Patiño, H. 1981. Trascendencia del enfoque ecológico en el diagnóstico de problemas fitosanitarios. Primer Curso Internacional de Reconocimiento y Diagnóstico de plagas en Vegetales. 10 p.

12. Soil Science Society of América, Inc. 1972. Micronutrients in agriculture. Editorial Committee. J.J. Morvedt, P.M. Giordano, W.L. Lindsay. 666 p.

13. Tanaka, A. and S. Yoshida. 1970. Nutritional disorders of the rice plant in Asia. Int. Rice Res. Inst. Tech. Bull. 11.

14. Tisdale, L.S. and Nelson, W.L. 1967. Soil Fertility and Fertilizers. New York Mc Millan. p. 694.

PLANEACION DE LOS EXPERIMENTOS*

Introducción

Entre la conceptualización del problema en estudio y el montaje real del experimento, transcurre un período importante que debe ser utilizado en examinar los objetivos específicos, revisar jerarquías y prioridades, considerar caminos o métodos de ejecución y visualizar procedimientos de análisis para la información que se genere; ese período constituye la Fase de Planeación.

Por planeación se entiende un proceso intelectual que se desarrolla en los momentos de reflexión, como un paso previo a la toma de decisiones conducentes a una acción determinada. La planeación conlleva a tomar una serie de decisiones simultáneas o sucesivas tendientes a evaluar subjetiva pero racionalmente, si lo que se quiere se puede alcanzar con lo que se tiene. Es una confrontación entre objetivos y recursos físicos y metodológicos disponibles. (Véase Fig. 1).

Una buena planeación está en relación directa con la cantidad y calidad de la información previa disponible. Desde el punto de vista agronómico, una adecuada planeación presupone disponer de información que permita conocer la historia del lote a emplear, en sus características de suelo (análisis físico-químico), manejo recibido (fertilizantes y herbicidas aplicados), cultivos anteriores, niveles de producción logrados, grado de variación presentado.

Así como es imposible recomendar una variedad o una dosis de aplicación de fertilizante, válidas para cualquier zona productora de frijol, así también es imposible dar recomendaciones específicas de planeación, válidas para todo tipo de experimento.

En este trabajo se expondrán planteamientos generales sobre la planeación, relacionados con:

1. El enfoque experimental
2. Los elementos básicos del experimento
3. El análisis de la información

Desglosando el segundo aspecto en los elementos estructurales básicos de todo experimento.

Consideraciones en relación al enfoque experimental

El enfoque del trabajo experimental está relacionado con la claridad en la conceptualización del problema en estudio y las alternativas (hipótesis) de solución que se consideran viables. En esta fase conviene no perder de el grado de generalización de los resultados y el grado de precisión requerido en ellos.

---

* Escobar Girón, J.A. et al - Tomado de Manual de Capacitación en Biometría para Experimentación en Frijol. CIAT, 1981. 133 p.

PLANEACION DEL EXPERIMENTO

LO QUE QUIERO

OBJETIVOS DEL EXPERIMENTO

1. Definición y jerarquización de objetivos.
2. Grado de generalización de resultados.
3. Posibilidad del estudio simultáneo de varios factores.
4. Selección específica de tratamientos.
5. Variables a cuantificar, época y sistema de evaluación.
6. Magnitud de las diferencias que espera se produzcan.

LO QUE TENGO

INFORMACION DISPONIBLE

1. Antecedentes (historia) del lote experimental.
2. Identificar fuentes de heterogeneidad sistemática.
3. Grado de variabilidad natural para el cultivo, en las variables de respuesta a cuantificar.
4. Selección del diseño experimental.
5. Tamaño y forma de la parcela.
6. Número de repeticiones.

PLANEAR ES DECIDIR
SI LO QUE QUIERO LO PUEDO LOGRAR
CON LO QUE TENGO

Figura 1. Objetivos e información para la experimentación.

El grado de generalización deseado conduce a la definición de un Marco de Referencia (Universo) al cual se pretende extrapolar los resultados o conclusiones y ayuda a precisar la representatividad de la muestra; el experimento se visualizaría como un procedimiento de muestreo en un espacio y tiempo dados. Conviene analizar si el sitio y tiempo (climatológico) bajo los cuales se desarrolla, darán representatividad a las condiciones más frecuentes de ocurrir en el universo de referencia.

Para garantizar una adecuada generalización de los resultados y aumentar la confiabilidad de los hallazgos logrados, debe pensarse en series de experimentos, sobre todo cuando se espera interacción con el ambiente de suelo y clima.

En ocasiones conviene diseminar la experimentación sacrificando repeticiones dentro de la finca o centro experimental, a cambio de un mayor cubrimiento del área de influencia del programa; por ejemplo, en vez de cuatro fincas con seis repeticiones de los tratamientos en cada una de ellas, puede ser más representativo dos repeticiones en cada una de doce fincas, que capten tanto las condiciones variadas de fertilidad natural, como el manejo dado al cultivo por los productores en la zona.

De manera similar cuando se trata de la selección de material por resistencia a plagas, se debe meditar respecto a la intensidad o severidad del ataque que puede presentarse y no descartar la posibilidad de siembras escalonadas, con menor número de repeticiones para cada siembra pero con un muestreo más intensivo de las condiciones de clima, por sus efectos potenciales para favorecer o perjudicar la ocurrencia de una plaga.

El grado de precisión guarda relación tanto con la variabilidad presente en las respuestas a cuantificar, como con la diferenciación que se espera producir como resultado de los tratamientos a emplear.

Puesto que se debe tener mayor precisión cuando se espera detectar o encontrar diferencias reales relativamente pequeñas, vale la pena replantear la necesidad o conveniencia de ejecutar el experimento, y meditar sobre la importancia teórica del problema. Cuando las diferencias esperadas son pequeñas (sobre todo en respuestas muy variables), éstas pueden no tener importancia práctica y podría estarse cayendo en un desperdicio de recursos.

Por ejemplo en el caso de frijol para la variable producción, cuando existan diferencias reales de menos de 250 kg/ha, éstas son difíciles de detectar, a no ser que se emplee una técnica experimental muy refinada y un alto número de repeticiones.

Consideraciones sobre los elementos básicos del experimento

Desde el punto de vista operativo parece conveniente visualizar los experimentos como un sistema de comunicación entre el hombre y la naturaleza, mediante un modelo analógico de "acción-reacción".

En relación a las entradas

En el sistema de comunicación los tratamientos a emplear no son más que portadores de mensajes mediante los cuales se pretende interrogar a la

naturaleza. Deberá existir plena concordancia entre los objetivos formulados y la escogencia de tratamientos, no pudiendo ser precisados éstos hasta tanto aquellos no hayan sido definidos.

Para ensayos de comparación de materiales de frijol (experimento unifactor) se debe tener en cuenta los varios criterios de clasificación del germoplasma, tales como hábito de crecimiento, color de semilla y tamaño del grano. Tales clasificaciones permiten:

1. Disminuir el tamaño de los experimentos (menor número de tratamientos).

2. Uniformizar población óptima para cada hábito.

3. Garantizar comparaciones agronómicas con testigos específicos de aceptación regional comprobada.

4. Evaluación económica en términos más realísticos.

Conviene considerar la posibilidad de estudiar varios factores en forma simultánea o el germoplasma bajo variadas condiciones de manejo (con y sin protección contra insectos; con y sin fertilización; con y sin estres por humedad) a fin de precisar la interacción germoplasma x ambiente y estimar la reducción de la producción por factores adversos.

El estudio simultáneo de varios factores da origen a estructuras factoriales completas, parciales o aumentadas, permitiendo un mayor campo de observación en el comportamiento de las respuestas, acelerando el proceso investigativo o disminuyendo los costos.

Como el número de tratamientos se incrementa al aumentar el número de factores y el número de niveles o modalidades de los factores en estudio, con lo cual se dificulta el manejo práctico del ensayo, se puede emplear selectivamente algunas combinaciones, a fin de establecer la importancia relativa de algunos factores.

Por ejemplo en problemas de diagnóstico de suelo relativos a deficiencias de elementos menores como Cu, B, Zn, Fe, Mo, cada uno a dos niveles, se tendría un total de 32 combinaciones ($2^k = 32$), pudiéndose emplear con carácter exploratorio una serie de $(k + 2) = (5 + 2)$ tratamientos, consistentes en: un testigo absoluto, un tratamiento que incluye todos los elementos (tratamiento completo) y cinco tratamientos resultantes de eliminar uno a uno los elementos en estudio, como se ilustra en el Cuadro 1.

En relación a las unidades experimentales

Una de las preguntas que con mayor frecuencia se formula en la fase de planeación a los especialistas en estadística, es la relacionada con el tamaño de parcela y número de repeticiones a emplear. La respuesta presupone disponer de información previa relacionada con el índice de heterogeneidad del suelo, el grado de variabilidad en las respuestas y la magnitud de las diferencias que se espera detectar. Además conviene definir las áreas de borde tanto laterales como de cabecera, de acuerdo al hábito de crecimiento de los materiales a emplear.

la variación de fertilidad tiene un patrón definido, aumentando paulatina y gradualmente de un extremo a otro del campo. En la figura 2B la heterogeneidad se presenta en manchas irregulares, a manera de "islas de variación". En uno y otro caso un bloqueo eficiente resulta difícil o imposible, sin los antecedentes posicionales que ilustran las figuras.

En relación a las respuestas

Las unidades experimentales como consecuencia de los tratamientos aplicados, emiten reacciones o respuestas que el hombre evalúa, analiza e interpreta. Desde la fase de planeación se debe establecer cuáles variables van a ser cuantificadas, la época y el sistema de evaluación a emplear.

Conviene uniformizar sistemas de evaluación dentro de algunas disciplinas, empleando procedimientos convencionales que faciliten el intercambio de la información. Por ejemplo los fitopatólogos procuran acuerdos surgidos en reuniones de trabajo, a fin de diseñar escalas internacionales de evaluación de enfermedades.

Tradicionalmente el rendimiento ha sido considerado una adecuada síntesis de las complejas reacciones suelo-planta-clima-manejo, y es un criterio básico en la mayoría de las comparaciones entre tratamientos. Esta variable debe complementarse con otras que ayuden a formar criterio agronómico del comportamiento y faciliten la interpretación del fenómeno.

No todas las decisiones experimentales surgen de variables de respuesta directa, siendo posible recurrir a variables derivadas como: Rendimiento equivalente en cultivos asociados o beneficio económico, en estudios comparativos de tecnología, índice de cosecha en estudios de fisiología.

Consideraciones en relación al análisis de la información

La técnica estadística a emplear depende del tipo de datos que se recolecten y de ciertos supuestos que la técnica misma exige, pero sin perder de vista las necesidades específicas de quien planifica el experimento, quien conoce sus metas y objetivos particulares.

Se pretende que desde la fase de planeación queden definidos los aspectos relativos al tipo de análisis a emplear, siendo recomendable que el personal de las Oficinas de Biometría participe del proceso y ayude a tomar decisiones respecto al manejo que se dará a la información recolectada.

Se pueden diferenciar cuatro tipos de datos, según la escala de evaluación empleada:

1. Nominales en las cuales las respuestas se clasifican en categorías mutuamente excluyentes sin grado de diferenciación (relación de equivalencia pero no de orden) como por ejemplo: reacciona, no reacciona; vivo, muerto; +, -; rojo, negro, blanco.
2. Ordinales clasifica las respuestas en categorías mutuamente excluyentes manteniendo una relación de orden entre sí, como por ejemplo: alto, medio bajo; resistente, intermedio, susceptible.
3. De intervalo tiene las características de una escala ordinal y en adición cualquier distancia entre dos puntos es conocida como las escalas de 1 a 10 empleadas por los fitopatólogos.

Cuadro 1. Composición de tratamientos para un diagnóstico de suelos.

N° de tratamiento	ELEMENTOS A ESTUDIAR*					DENOMINACION
	Cu	B	Zn	Fe	Mo	
1	1	1	1	1	1	Completo
2	0	1	1	1	1	Completo-Cobre
3	1	0	1	1	1	Completo-Boro
4	1	1	0	1	1	Completo-Zinc
5	1	1	1	0	1	Completo-Hierro
6	1	1	1	1	0	Completo-Molibdeno
7	0	0	0	0	0	Testigo absoluto

* Los valores 1 y 0 indican presencia o ausencia del elemento: para cada uno de ellos deberá establecerse la dosis real (kg/ha) a usar.

Conviene realizar esfuerzos para lograr que las unidades experimentales tengan la mayor homogeneidad posible, pero el material experimental en extremo homogéneo limita la generalización de los resultados.

Como se está interesado en buscar procedimientos que den adecuada precisión a los resultados, acorde con los recursos disponibles, el material experimental se puede estratificar formando clases, denominadas genéricamente bloques, los cuales agrupan unidades experimentales lo más homogéneas posibles. No hay que descartar la posibilidad de estratificación (bloqueo) en base a gradientes de fertilidad o a la identificación de fuentes de variación sistemática (pendiente, textura del suelo, nivel freático).

No es necesaria la continuidad espacial de un bloque a otro, ni tampoco es necesaria la vecindad física de las parcelas que integran los bloques. La exigencia estadística es la de lograr parcelas con la mayor homogeneidad dentro del bloque y no siempre las formas rectangulares, tan frecuentes en la experimentación de campo, logran eficientes resultados.

En la práctica el técnico desconoce las tendencias de fertilidad, lo cual imposibilita un adecuado bloqueo o estratificación, como procedimiento para controlar la heterogeneidad sistemática. En tales casos se recomienda la formación de bloques lo más compactos posibles (forma cuadrada).

En la figura 2 se muestran mapas o contornos de fertilidad en lotes del CIAT, obtenidos con promedios móviles mediante computador. En la figura 2A

4. Continuos en los cuales cada observación está asociada a un número real perteneciente a un intervalo, como en la evaluación de la precipitación en mm, el área foliar en cm2 o el rendimiento en kg/ha.

Para las dos primeras categorías el análisis estadístico se efectúa mediante el empleo de técnicas no paramétricas* como la prueba binomial o la de Chi-Cuadrado. Para las evaluaciones en escala de intervalo y para las variables continuas se emplean las técnicas paramétricas como la de regresión, el análisis de varianza o el análisis de covarianza.

Como parte del análisis pueden establecerse, con fines predictivos, relaciones funcionales entre las entradas (variables independientes) y las respuestas (variables dependientes), para lo cual las técnicas de regresión han sido ampliamente utilizadas, mediante el ajuste de modelos polinomiales.

El análisis de varianza para datos continuos es la técnica más generalizada; es un procedimiento aritmético de descomposición de la suma de cuadrados total (y de sus grados de libertad) en una serie de sumas de cuadrados (y grados de libertad) que se asocian a cada una de las partes que se identifican previamente en un modelo, el cual supuestamente contiene todos los componentes que integran una observación.

El análisis de varianza desempeña dos funciones:

1. Permite obtener una estimación del error experimental (S^2 = CME).

2. Proporciona un mecanismo para la prueba de la hipotesis nula sobre la igualdad de medias poblacionales de tratamientos, mediante el criterio F**.

La estadística juzga no sólo teniendo en cuenta las medidas o diferencias entre medias de tratamientos, sino también de acuerdo al grado de variabilidad ("error experimental") que se haya estimado, de acuerdo al modelo estadístico postulado para el análisis.

Mediante el análisis estadístico se trata de establecer si las diferencias observadas entre las medias pueden ser atribuidas a la variación aleatoria presente en los datos, sosteniéndose entonces que las diferencias no son significativas o por el contrario pueden ser atribuidas a los tratamientos aplicados, en cuyo caso se afirma que las diferencias son significativas.

En ningún momento se debe entender que resultados no significativos son malos o despreciables; desde el punto de vista experimental ellos tienen tanto valor como los resultados significativos; lo que se desea con la planeación y análisis es prevenir errores, en el sentido de no rechazar la hipótesis (sobre igualdad de medias poblacionales de tratamiento) cuando ella es falsa (Error Tipo II) o rechazarla cuando ella es cierta (Error Tipo I).

---

* Son pruebas más sencillas en las cuales no es necesario especificar condiciones acerca de los parámetros o con supuestos menos restrictivos.

** Snedecor, G. W. y Cochran, W. G. Statiscal Methods 6a. ed. Ames. IOWA University Press. 1968. 608 p.

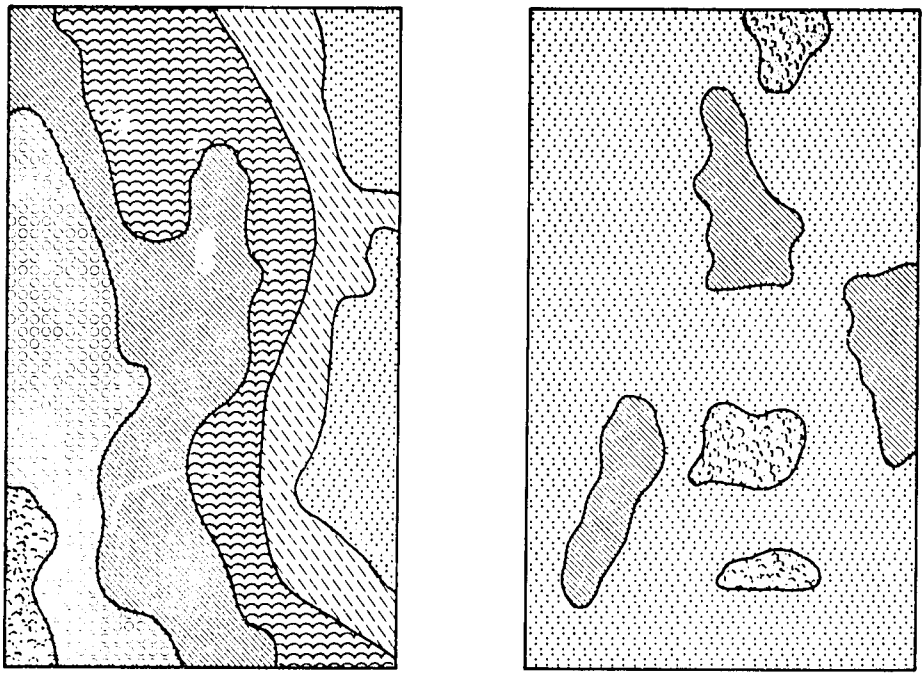


Figura 2. Mapa de fertilidad de suelos obtenidos mediante promedios móviles, con datos provenientes de ensayos de uniformidad con frijol, en dos lotes experimentales de CIAT–Palmira.

TAMAÑO DE PARCELA

Oswaldo Voysest

El tamaño de parcela es una consideración muy importante que hay que tener en cuenta en la conducción de experimentos de campo. Hay por lo menos tres razones que hacen que ésto sea así. Una es de carácter económico pues es evidente que los costos de un ensayo disminuyen al reducir su tamaño con la ventaja adicional de permitir acomodar mas ensayos en el lote experimental. La otra tiene que ver con la precisión experimental; el interés del investigador es detectar diferncias reales relativamente pequeñas entre los tratamientos y obvio que tiene que existir un tamaño óptimo de parcela para ubicar estas diferencias con un cierto margen de seguridad; ahora bien, sin sacrificar esta habilidad, el investigador debe al mismo tiempo, por razones de orden práctico, tener experimentos de un tamaño tal que le permitan dar un uso eficiente a los recursos de toda índole de que dispone. En resumen para seleccioanr el tamaño óptimo de la unidad experimental hay que tener en cuenta criterios de orden económico, estadístico y práctico.

Factores que influyen en el tamaño y forma de la parcela

Son muchas las consideraciones que hay que tener en cuenta antes de decidir el tamaño de la unidad experimental en un experimento de frijol y en este capítulo trataremos de analizar algunas de ellas.

1. Area del lote experimental

   Puesto que desde el punto de vista estadístico el investigador está interesado en tener una parcela experimental de un tamaño tal que le permita disminuir al máximo el error experimental, si uno dispone de un terreno suficientemente grande se puede utilizar una parcela del tamaño necesario para que la variabilidad del error sea mínima. Por el contrario si contamos con un terreno pequeño se debe reducir el tamaño de la parcela teniendo en cuenta el número de repeticiones, esto es cuanto más repeticiones tenemos, la reducción del área de la parcela puede ser mayor.

2. Tipo de suelo

   La variabilidad del suelo es indudablemente el factor de mayor consideración cuando se trata de determinar el tamaño óptimo de la parcela experimental. Para medir la heterogeneidad del suelo generalmente se utilizan los llamados ensayos "en blanco" o ensayos de uniformidad, que consisten en sembrar toda la extensión de un campo con una sola variedad y someter todo el campo a prácticas de cultivo idénticas. Luego se divide el campo en cierto número de parcelas, cuya producción se mide por separado de tal manera que los rendimientos de las parcelas contiguas pueden ser sumados para integrar parcelas de diferentes tamaños y formas y de esta manera poder evaluar y comparar la variabilidad del suelo y otros factores.

   Hay muchos estudios sobre la relación entre tamaño óptimo de parcela y la variabilidad del suelo. En la literatura sobre el tema es frecuente encontrar una función que relaciona estos dos factores, la misma se expresa así: $X=b/(1-b)$, donde "b" es el índice de heterogeneidad del suelo y "X" es el área de la parcela; esta

función también incluye un componente sobre costos, sinembargo los experimentadores casi siempre están mas interesados en lo que es mas conveniente que en lo que es mas económico pues su preocupación es mas bien detectar diferencias de una magnitud determinada independientemente del costo. En esencia lo que esta función dice es que cuando el índice de heterogeneidad del suelo (b) tiende a cero, hay alta correlación entre parcelas adyacentes, i.e. hay homogeneidad de suelo y el tamaño de la parcela (X) puede ser pequeño pues todas caerían dentro de zonas de igual fertilidad. Por el contrario, si el índice de heterogeneidad del suelo tiende a la unidad esto indica que no existe correlación entre las parcelas adyacentes, i.e. la heterogeneidad del suelo es alta y hay que usar por lo tanto parcelas muy grandes, pues de esta manera cada parcela incluiría mas de una franja de heterogeneidad y la variación con respecto a las otras parcelas serían menores; la varianza debida a tratamientos sería en este caso la que predominaría.

3. Objetivo del ensayo

Hay ensayos cuyo objetivo es descartar materiales obviamente indeseables y por lo tanto están formados por gran número de materiales; en estos casos la parcela experimental es necesariamente pequeña como lo es también en el caso de pruebas en las cuales la cantidad de material de propagación es limitado como es el caso de las pruebas tempranas de progenies. Hay casos sinembargo en que no hay limitación de semilla y el número de materiales por probarse es relativamente pequeño como es el caso de los ensayos con materiales élites, ensayos avanzados, etc.; en estos casos las parcelas pueden ser mas grandes. En el caso de los experimentos de pesticidas o fertilizantes donde es necesario proteger a una parcela de la influencia del tratamiento de la parcela vecina, la unidad experimental tiene que ser necesariamente grande; lo mismo sería el caso de experimentos de mínima labranza, riegos, etc.

4. Número de repeticiones y grado de precisión

Tanto el número de repeticiones como el tamaño de la parcela experimental tienen gran influencia en la disminución del error experimental por lo que se hace necesario encontrar un equilibrio entre ambos. En 1961 W.H. Hatheway publicó un artículo en el cual definió la relación matemática entre el tamaño de parcela, el número de repeticiones y la diferencia entre tratamientos que espera ser detectada, expresada como porcentaje de la media general. La relación que encontró Hatheway establece que el tamaño de la parcela es directamente proporcional a la variabilidad e inversamente proporcional al número de repeticiones y a la diferencia a detectar entre tratamiento. Así, si uno quiere detectar diferencias pequeñas, i.e. el grado de precisión que se desea es grande, se requerirán parcelas de tamaño muy grande o bien parcelas mas pequeñas con un número grande de repeticiones. Es posible graficar el grado de precisión deseado con diferentes tamaños de parcela manteniendo fijo el número de repeticiones o fijar el tamaño de parcela variando el número de repeticiones.

5. Homogeneidad del material experimental

En frijol hay una gran variación fenotípica entre los materiales, variación que muchas veces concede ventajas a un material sobre otro; por ejemplo, una línea de hábito indeterminado de grano pequeño, es

generalmente más rendidora que una línea de frijol de hábito determinado de grano grande. Para que las comparaciones sean válidas, los ensayos deben agrupar materiales de características similares y estos pueden requerir diferentes tamaños de parcela como veremos mas adelante al discutir los tamaños de parcela para los frijoles arbustivos y volubles.

Al discutir el tamaño óptimo de la parcela experimental es necesario aclarar que si bien el área de parcela útil puede no variar cuando se trata de detectar diferencias reales relativamente pequeñas entre los tratamientos, el área total de la parcela si podría variar por razones de orden práctico. Por ejemplo si estuvieramos comparando materiales de hábito I, probablemente no necesitemos surcos de contorno pues estas plantas se mantienen erectas y las probabilidades de que se enreden entre si plantas de dos parcelas contiguas de tal manera que se produzca una mezcla de granos de diferentes líneas, son muy bajas. Si por el contrario estuvieramos ensayando líneas de hábito III, esto es postradas y con guías, el uso de surcos de contorno es inevitable precisamente para prevenir las mezclas mecánicas a las que hemos aludido. En la práctica la situación no es tan complicada pues los investigadores generalmente usan surcos de contorno sea que el ensayo se trate de materiales de hábito I, II o III, pero es útil tener en cuenta estas consideraciones pues si existiera limitaciones de tierra podría ser necesario usar parcelas más pequeñas y estos conceptos pueden ser útiles. Hay muchas otras circunstancias en las cuales el uso de surcos de contorno se hace necesario, pero a estas alturas la pregunta pertinente es: tienen estos surcos de contorno como función sólo el evitar mezclas mecánicas o por el contrario existe un efecto de bordes?.

Efecto de bordes

El llamado efecto de bordes se manifiesta a través de un cambio en el patrón de crecimiento y en el rendimiento de las plantas cerca del perímetro de la parcela con relación a las plantas de la parte central de esta. Estudios realizados en CIAT con frijoles de hábito arbustivo (Amezquita, Muñoz y Voysest, 1977) y con frijoles volubles (Davis, Amezquita y Muñoz, 1981) mostraron que no hay efecto de competencia entre parcelas adyacentes cuando se comparan materiales de hábito similar. En ambos casos se detectaron efectos de bordes de cabecera posiblemente debido a que ahí las plantas tienen menos competencia por luz y nutrientes. Aunque en el caso de los frijoles de hábito arbustivo no se determinó hasta que distancia se extendía el efecto de competencia muchos investigadores compensan este efecto dejando bordes de cabecera de 0.5m.; sinembargo, dependiendo de la precisión que se busque y de la clase de material que se pruebe (todos de un mismo hábito e igual tamaño de grano), no habría ningún inconveniente en ignorar el efecto de bordes de cabecera o atenuarlo eliminando la primera y la última planta de la parcela. En el caso de los frijoles volubles en asociación con maíz se comprobó que existía un borde de cabecera que no era uniforme para todas las variedades; algunas de ellas aprovechan mas que otras la luz adicional que penetra de la copa de maíz en las calles de modo que los rendimientos de las variedades de frijol mas productivas, i.e. con mas capacidad para competir con el maíz, son menos sobre estimadas cuando se incluyen bordes de cabecera que los rendimientos de las variedades menos productivas. Para evitar el efecto de bordes de cabecera en los ensayos de frijoles volubles asociados con maíz, se recomienda dejar 1m por lo menos de borde a cada extremo de la parcela.

Métodos para determinar el tamaño de parcela

El propósito de esta sección no es describir en detalle los diferentes métodos que se pueden utilizar para determinar el tamaño de la unidad experimental, pues esto ya está hecho en publicaciones especializadas. Lo que se pretende es mostrar a quienes no están familiarizados con la metodología, los principios básicos de uno de estos métodos, el mas simple, y proveer la fuente de consulta básica para quienes quieran profundizar en el tema.

1. Método de la máxima curvatura

   Para éste se utiliza un ensayo de uniformidad, llamados también "en blanco" por constituir de una sola variedad sometida al mismo cuidado cultural de modo que las únicas diferencias que se expresen sean aquellas debidas a la heterogeneidad del suelo. A la cosecha, el área total es dividida en unidades pequeñas a cada una de las cuales se le calcula la varianza, la desviación estándar, la media y el coeficiente de variación con base en los datos de rendimiento. Con las unidades pequeñas contiguas se pueden hacer diversos arreglos de unidades mas grandes a las cuales se les calcula también los mismos parámetros estadísticos. En un gráfico se relacionan luego las diversas áreas de parcela con el coeficiente de variación, o la desviación estándar. El tamaño óptimo de parcela correspondería al punto de máxima curvatura, i.e., el punto en la curva que señala que un aumento en el área de parcela no produce un descenso marcado en el coeficiente de variación (Fig. 1).

   Fairfield Smith señaló como desventaja de este método el hecho de que el punto de curvatura máxima no es independiente del tamaño de las unidades mas pequeñas que se cosechan, ni de la escala de la gráfica de la medición.

2. Método de la máxima curvatura

   En 1938 Smith propuso un método cuantitativo para determinar el tamaño óptimo de la parcela. El trabajo con datos de rendimiento de 1080 parcelas de 1x0.5 pie. El estimado del tamaño óptimo de la parcela se hizo con base en una relación empírica que involucraba calcular la regresión del logaritmo de la varianza de la parcela en el logaritmo del tamaño de parcela. El coeficiente de regresión resultante, b, fue usado como una medida de la heterogeneidad del suelo. El valor b se esperaba que variara entre 0 y -1 donde cero denotaba una correlación perfecta entre parcelas adyacentes (completa uniformidad) y -1 denotaba falta de correlación. Un valor de b= -1 podía por lo tanto interpretarse como una indicación de un patrón de variabilidad del suelo al azar o una fuerte gradiente de productividad. Usando el coeficiente de regresión, b, y considerando un estimado de los costos, Smith desarrolló una fórmula para estimar el tamaño óptimo de parcela expresado en términos de unidad básica. Es necesario destacar que Fairfield Smith en su trabajo recomendó que para los efectos de la estimación del coeficiente de regresión, b, las varianzas de los diferentes tamaños de parcela debían ser ponderados por sus grados de libertad respectivos; Koch y Rigney demostraron que el coeficiente de regresión del logaritmo de la varianza en el logaritmo del tamaño de parcela podía ser estimado de datos experimentales en los cuales los efectos de tratamientos estuvieran presentes, de la misma manera como podía ser estimado a

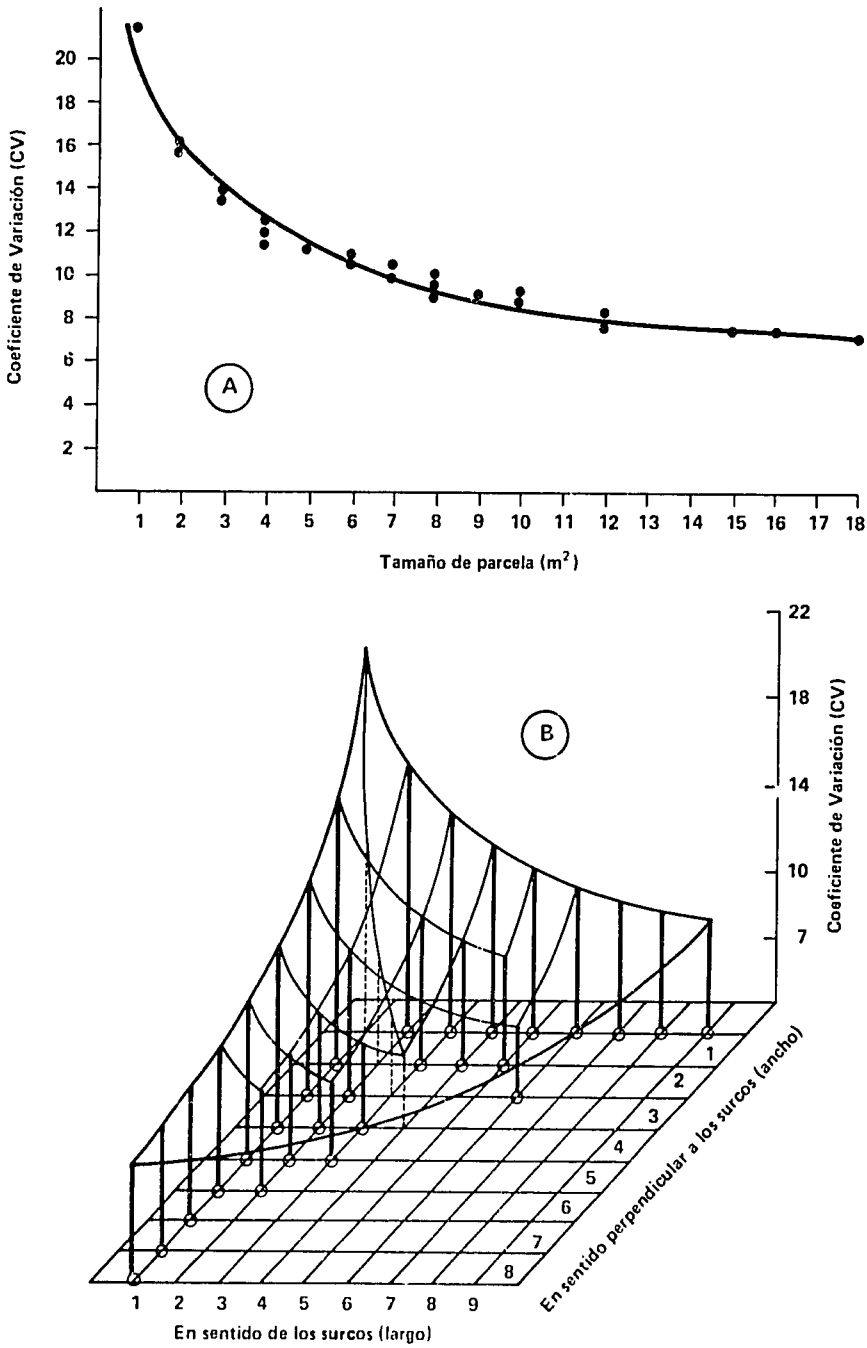


Figura 1. Relación entre el coeficiente de variación del rendimiento
A) Tamaño de la parcela en metros cuadrados
B) Largo y ancho de la parcela (2).

partir de ensayos de uniformidad; además hicieron notar que tanto en ensayos de uniformidad como con los datos experimentales, los estimados de la varianza de las parcelas de diferentes tamaños, son calculados a partir de componentes comunes y por lo tanto frecuentemente están altamente correlacionados de tal suerte que una simple ponderación de los grados de libertad no es lo mas exacto.

3. Método de Koch y Rigney.

Koch y Rigney propusieron que estimados del tamaño óptimo de parcela podían hacerse a partir de datos experimentales obtenidos de ensayos de campo y no necesariamente sólo de experimentos "en blanco". El procedimiento que sugirieron utiliza el mismo esquema de Smith en el sentido que un índice de heterogeneidad del suelo, b, también tiene que ser calculado. El método involucra la simulación de los datos de un ensayo de uniformidad a partir de un análisis de experimentos en bloques al azar o parcelas divididas o en bloques incompletos (látices). La mayor diferencia en emplear datos de bloques al azar, parcelas divididas y datos de ensayos uniformes esta en la presencia de los efectos de tratamiento en el primer caso. De los analisis de bloques azar, parcelas divididas o látices se calculan los componentes de la varianza los cuales se considerarían como comparables a los componentes de varianza calculados de los análisis con los datos de ensayos uniformes. Estos componentes de la varianza fueron utilizados para estimar la regresión del logaritmo de la varianza de la parcela en el logaritmo del tamaño de parcela.

4. Método de Hatheway

Así como Smith postuló que el tamaño de la parcela estaba relacionado con la variabilidad del suelo, Cochran y Cox pusieron énfasis en el número de repeticiones que se requerían para detectar una diferencia específica. Hatheway, como hemos mencionado dio a conocer una metodología estadística que combinaba tanto los criterios de Smith como Cochran y Cox para determinar el tamaño óptimo de parcela. En la expresión matemática que derivó Hatheway aparece el coeficiente de heterogeneidad, b, que puede ser calculado partiendo de ensayos de uniformidad o también con ciertos datos experimentales utilizando el método de Kock y Rigney y también aparece la base de fórmula de Cochran y Cox para calcular el número de repeticiones requeridas para detectar una diferencia específica. Ya anteriormente analizamos las implicaciones de la función derivada por Hatheway.

5. Método de máxima curvatura utilizando el modelo de regresión lineal múltiple

Este es un método generado con el objeto de dar información no solamente sobre el tamaño sino también sobre la forma de parcela. A partir de ensayos de uniformidad se utiliza el coeficiente de variación, el número de surcos y el número de hileras para construir gráficas en 3 dimensiones (modelos de superficie de respuesta) para considerar la forma y tamaño de la parcela en relación con la variabilidad.

Consideraciones prácticas sobre el tamaño de parcela en los ensayos de frijol arbustivo y voluble

Son muchas las consideraciones que hay que tener en cuenta antes de decidir el tamaño de la unidad experimental en un experimento de frijol y en este capítulo trataremos de analizar algunas de ellas.

En la mayoría de los países se emplea en los ensayos de frijol arbustivo una parcela que varía entre los 4 y 8m de largo. El número de hileras que generalmente se usa es de 4 a 6 por parcela. El número de repeticiones usado varía entre 3 y 5 cuando se trata de ensayos llamados de observación, generalmente se usan parcelas de una o dos hileras de 3 a 6m de largo; en algunos casos se emplean 2 repeticiones.

La Figura 2 muestra la relación entre tamaño de parcela y número de repeticiones y diferencia a detectar como porcentaje de la media con base en estudios realizados en CIAT con frijol arbustivo donde puede verse que el tamaño de parcela no es independiente del número de repeticiones. Cuando se requiera emplear tamaños de parcela mas pequeños, se debe aumentar el número de repeticiones. En los ensayos de rendimiento avanzados el propósito generalmente es el de identificar materiales que por lo menos sean capaces de superar a los testigos por 300 a 500 kg, lo cual equivale a detectar una diferencia de 20% de la media bajo condiciones normales, para lo cual se requeriría que el ensayo tuviera entre 5 y 9 m2 de área dependiendo si se usan 6 o 4 repeticiones.

La experiencia en CIAT con los ensayos internacionales de rendimiento de frijol arbustivo (IBYAN), ha mostrado una capacidad de detección cercana al 28%, por lo cual se ha mantenido como estándar la parcela de 4.8 m2 en ensayos con 3 repeticiones. Este tamaño, sin embargo se fijó mas con un criterio práctico que estadístico; creeemos que una parcela de 7 m2 y 4 repeticiones sería la mínima que podría utilizarse con frijol arbustivo para los ensayos de rendimiento avanzado si no existe limitación de recursos. En lo que respecta a los ensayos llamados de observación, recomendaríamos que el investigador procurara utilizar mas de una hilera, aunque esto signifique reducir el largo de la parcela; por otro lado, si no es posible hacer uso de repeticiones, es aconsejable sembrar una variedad testigo cada cierto número de líneas para permitir que la comparación entre ellas se haga con base a su comportamiento relativo al testigo minimizando el efecto debido a la heterogeneidad del suelo.

En el caso del frijol voluble asociado con maíz, estudios realizados en CIAT han mostrado que se requiere una parcela útil de aproximadamente 11 m2 para detectar diferencias significativas del 24% sobre el promedio, utilizando 3 repeticiones.

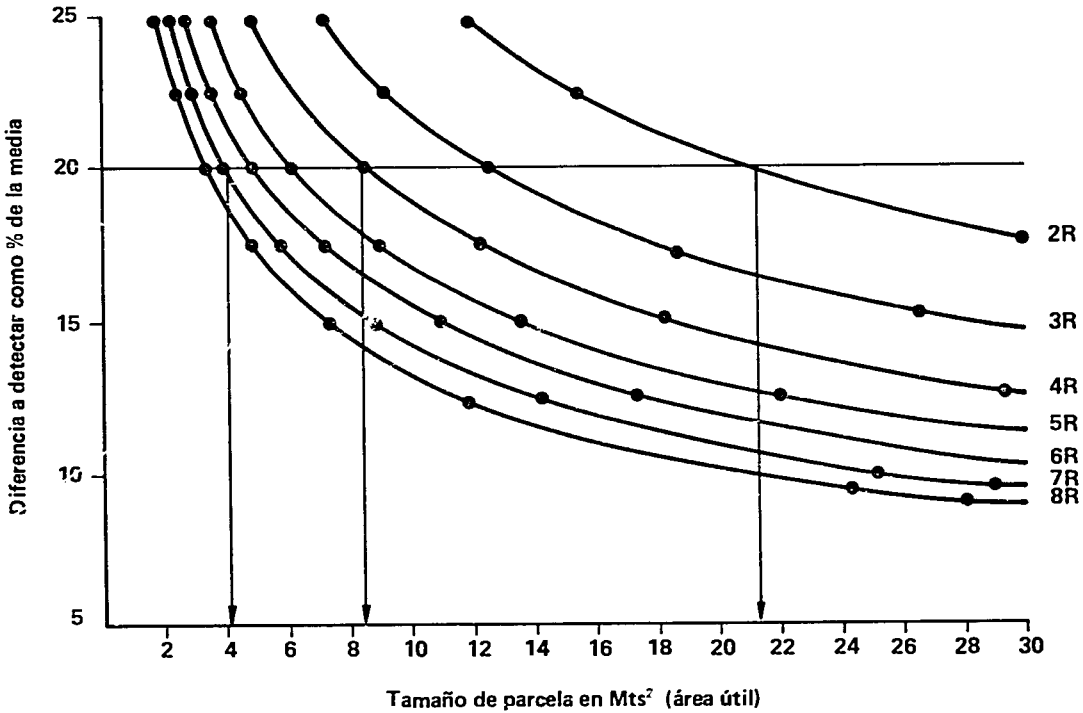


Figura 2. Relación entre tamaño de parcela, número de repeticiones (R) y diferencia a detectar como porcentaje de la media. (Método de Hatheway).

BIBLIOGRAFIA

1. Amezquita, M.C.; J.E. Muñoz y O. Voysest. Eficiencia y precisión del diseño en látices bajo distinto número de repeticiones y tamaño de parcela en ensayos de rendimiento en frijol (Phaseolus vulgaris L.). Memorias de la XXIII Reunión del PCCMCA, Panamá, 21-24 de marzo de 1977.

2. Baena, D.; M.C. Amezquita; J.E. Muñoz; O. Voysest, et al. Estudio de la heterogeneidad del suelo, del tamaño y formas de parcela y del número de repeticiones óptimas en ensayos de uniformidad en frijol (Phaseolus vulgaris L.). Memorias de la XXIII Reunión del PCCMCA, Panamá, 21-24 de marzo de 1977.

3. Cochran, W.G. y G.M. Cox. Diseños Experimentales. México, Trillas, 1965.

4. Davis, J.H.C.; M.C. Amezquita y J.E. Muñoz. Border effects and optimum plot sizes for climbing beans (Phaseolus vulgaris) and maize in association and monoculture Expl. Agric. 17:127-135. 1981.

5. Escobar, J.A.; M.C. Amezquita; J.E. Muñoz y J. García. Manual de adiestramiento para la experimentación en frijol (Phaseolus vulgaris L.)

6. Federer, W.T. Experimental Design. The Macmillan Co., N.Y., 1955.

7. Hatheway, W.H. Convenient plot size. Agronomy Journal 53:279-280. 1961.

8. Koch, E.J. and H.T. Rigney. A method of estimating optimum plot size from experimental data. Agronomy Journal 43Ñ17-21. 1951.

9. Muñoz, J.E.; M.C. Amezquita y O. Voysest. Efecto de bordes en ensayos de rendimiento en frijol (Phaseolus vulgaris L.). Memorias de la XXIII Reunión del PCCMCA, Panamá, 21-24 de marzo de 1977.

10. Smith, H.F. An empirical law describing heterogeneity in yields of Agricultural Science, Cambridge, 28:1-23. 1938.

INDICE DE AUTORES

Página

Cardona, César 241, 257, 263

Davis, Jeremy 81
Debouck, Daniel 7

Erazo, Oscar 313
Escobar, Jorge 401

Fernández de C., Fernando 61
Flor, Carlos Arturo 287

García, Susana 363
Gepts, Paul 61

Hallman, Guy 247
Hidalgo, Rigoberto 7

López, Marceliano 61

Morales, Francisco 217

Ortega, Jorge 313, 347

Pachico, Douglas 371
Pastor-Corrales, Marcial 145, 157, 169, 197, 207

Schoonhoven, Aart van 3, 257, 263, 275, 279
Singh, Shree 109

Thung, Michael 313

Voysest, Oswaldo 89, 409

White, Jeffrey 43

Zúñiga, Tomás 231