

# Módulo II

## Manejo, Conservación y Desarrollo de la Agrobiodiversidad en Frijol

Programa Colaborativo de Fitomejoramiento  
Participativo en Mesoamérica



Dr. Juan Carlos Rosas



# INTRODUCCIÓN

La agro-biodiversidad incluye la diversidad biológica domesticada y silvestre relevante para la alimentación y la agricultura. Está conformada por los recursos genéticos de las plantas, animales y microorganismos; los organismos involucrados en funciones vitales del agro-ecosistema, tales como la regulación de plagas y enfermedades, el ciclo de polinización y el ciclo de nutrientes; y las interacciones entre los factores abióticos, como los paisajes físicos donde se desarrolla la agricultura, y las relaciones socioeconómicas, culturales, incluyendo al conocimiento local y tradicional.

La diversidad biológica o biodiversidad se refiere a las variaciones de los seres vivos sobre la tierra y los patrones naturales que la conforman, resultado de millones de años de evolución según procesos naturales y la influencia creciente de las actividades del ser humano. Comprende también la variedad de ecosistemas y las diferencias genéticas de cada especie que permiten la combinación de múltiples formas de vida, cuyas interacciones mutuas y con el entorno fundamentan el sustento de la vida en el planeta. La Cumbre de la Tierra de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) llevada a cabo en Río de Janeiro en 1992, reconoció la necesidad mundial de conciliar la preservación futura de la biodiversidad con el progreso humano, según los criterios de sostenibilidad (sustentabilidad) promulgados en el Convenio Internacional sobre la Diversidad Biológica aprobado el 22 de mayo de 1992, en Nairobi.

El presente Módulo sobre Manejo, Conservación y Desarrollo (MCD) de la Agro-biodiversidad se enfoca en el fortalecimiento de las capacidades del personal técnico y agricultores que participan en actividades relacionadas con el MCD de los recursos genéticos (biodiversidad) del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), en los países miembros del Programa Colaborativo de Fitomejoramiento Participativo para la Región de Mesoamérica (FP-MA). El cultivo del frijol común involucra a miles de pequeños productores en América Latina y África, regiones en las cuales éste grano es un componente esencial en la dieta diaria, y una fuente importante de proteínas y calorías, para millones de personas en las zonas rurales y urbanas.

En el primer capítulo del módulo de MCD de la Agro-biodiversidad del Frijol se enfatiza en los aspectos relacionados con la diversidad biológica del cultivo, es decir los recursos genéticos domesticados y silvestres, y su manejo y conservación **in situ** y **ex situ**. Incluye también la utilización por los agricultores de las variedades nativas derivadas del proceso de domesticación del cultivo, así como su empleo como progenitores en programas de mejoramiento genético. En el segundo capítulo se revisarán los aspectos de crecimiento y desarrollo enfatizando en las etapas de desarrollo del cultivo y los hábitos de crecimiento, y la caracterización botánica y agronómica de accesiones de germoplasma y variedades de frijol. En el tercer capítulo, el módulo enfatiza en la aplicación de métodos de selección para el mejoramiento participativo de cultivos autógenos como el frijol, con el fin de mejorar la resistencia a enfermedades y plagas, la adaptación a condiciones adversas de clima y suelo, las características de mercado y de mayor valor nutricional, y la productividad de las variedades tradicionales. El cuarto capítulo incluye el uso de marcadores moleculares para la selección asistida y la clasificación de la diversidad genética disponible. El contenido del módulo se debe desarrollar en períodos de conferencias sobre los temas mencionados, complementadas con actividades prácticas en invernadero, campo y laboratorio.

Dr. Juan Carlos Rosas  
Programa de Fitomejoramiento Participativo. EPA/ZAMORANO  
Correo: [jcrozas@zamorano.edu](mailto:jcrozas@zamorano.edu)  
Honduras, C. A.

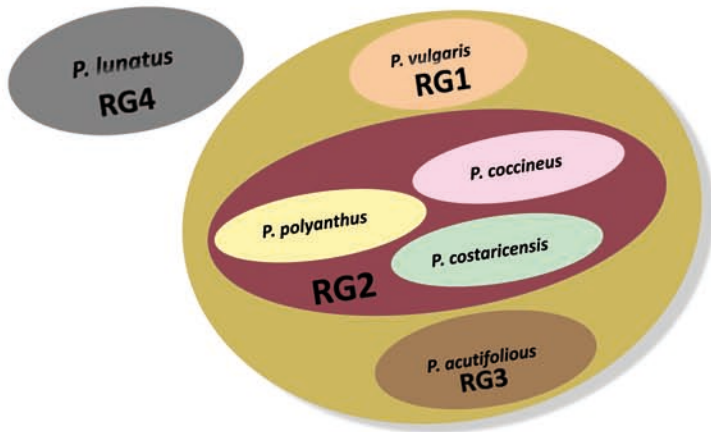
# Objetivos del Módulo:

° **General:** Fortalecer las capacidades de las OP para el Manejo, Conservación y Desarrollo (MCD) participativo de la Agrobiodiversidad.

° **Específico:** Mejorar las capacidades de los participantes y sus OP en los aspectos de los recursos genéticos, la fenología de las plantas y la caracterización de germoplasma, los métodos de mejoramiento y selección, y la aplicación de la agro-biotecnología del frijol común.

## I. RECURSOS GENÉTICOS DEL FRIJOL COMÚN

° **Objetivo del Capítulo:** Fortalecer las capacidades de los participantes del módulo en aspectos del manejo y conservación de los recursos genéticos del frijol común.



Reservorios genéticos del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) y sus parientes del género *Phaseolus*.

## II. FENOLOGÍA Y CARACTERIZACIÓN DEL FRIJOL COMÚN

° **Objetivo del Capítulo:** Fortalecer las capacidades de los participantes en aspectos de la fenología del desarrollo, los hábitos de crecimiento y la caracterización botánica y agronómica del frijol común para facilitar el MCD de la Agro-biodiversidad y el manejo agronómico del cultivo en las regiones metas.

### Fenología del cultivo del frijol

Frecuentemente se tiende a usar de manera intercambiable los términos para describir el crecimiento y desarrollo de las plantas. Para el caso de frijol, se entiende por crecimiento al cambio en volumen o peso de una planta u órgano; el crecimiento es un fenómeno cuantitativo que puede ser medido con base en variables tales como longitud, peso, acumulación de materia seca, número de nudos, índice de área foliar, etc. El desarrollo es un fenómeno cualitativo; se refiere a procesos de diferenciación o cambios estructurales y fisiológicos conformados por una serie de fenómenos o eventos sucesivos; p.ej. la aparición de botones florales o racimos, marca el cambio de la fase vegetativa a la reproductiva.

# 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.

## Fase vegetativa:

Se inicia cuando se le brindan a las semillas 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. 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 sujetos a un desarrollo posterior.

## Fase reproductiva:

Esta fase se encuentra comprendida entre el momento de la aparición de los botones florales o 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, tallos, 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. El conjunto de estas 10 etapas forma la escala de desarrollo 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 realiza 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 particular; 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. 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 (a 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.



## a. Hábito de crecimiento:

Las plantas de frijol pueden ser de hábito de crecimiento determinado o indeterminado, lo cual está definido 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 meristemo vegetativo, la planta es de hábito indeterminado. 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.

## b. 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; observándose diferencias en el número de días a la iniciación de la floración.

## c. 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. Los efectos se observan en el número de días hasta la iniciación de la floración (Etapa R6).

# 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, se han definido y delimitado las etapas de desarrollo de la planta con base en sus características morfológicas.

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.

**a. Etapa V0: Germinación.** Al hacer la siembra, la semilla se coloca en un ambiente favorable para el inicio del proceso de 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 nutrientes de los cotiledones. Posteriormente emerge la radícula (generalmente por el lado del hilum). Luego ésta se convierte en raíz primaria al aparecer de ella las raíces secundarias y las raíces terciarias. El hipocotileo también crece quedando los cotiledones al nivel del suelo. Termina en ese momento la etapa de germinación.



V0: Germinación

**b. Etapa V1: Emergencia.** La etapa V1 se inicia cuando los cotiledones de la planta aparecen al nivel del suelo; se considera que un cultivo de frijol inicia la etapa V1 cuando el 50% de la población esperada, presenta los cotiledones al nivel del suelo. Después de la emergencia, el hipocotileo se endereza y sigue creciendo hasta alcanzar su tamaño máximo. Cuando éste se encuentra completamente erecto, los cotiledones comienzan a separarse y se nota que el epicotileo ha empezado a desarrollarse.



V1: Emergencia

**c. Etapa V2: Hojas primarias.** La etapa V2 comienza cuando las hojas primarias de la planta están desplegadas. 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; cuando están completamente desplegadas se encuentran generalmente en posición horizontal, aunque no han alcanzado su tamaño máximo. En esta etapa comienza el desarrollo vegetativo rápido de la planta durante el cual se formarán el tallo, las ramas y las hojas trifoliadas. Las hojas trifoliadas son alternas. Al inicio de esta etapa se puede observar la primera hoja trifoliada que comienza su crecimiento. Los cotiledones pierden en este momento su forma, arqueándose y arrugándose. 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.



V2: Hojas Primarias

**d. Etapa V3: Primera hoja trifoliada.** La etapa V3 se inicia cuando la planta presenta la primera hoja trifoliada completamente abierta y plana. 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 tanto el entrenudo entre las hojas primarias y la primera hoja trifoliada son cortos, 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 crece y la primera hoja trifoliada sobrepasa a las hojas primarias; la segunda hoja trifoliada ya ha apareado y los cotiledones se han secado completamente y, por lo general, se han caído. El tallo sigue creciendo, la segunda hoja trifoliada se abre y la tercera hoja trifoliada se despliega.



V3: 1ª Hoja Trifoliada

**e. 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 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 hoja trifoliada. Es a partir de esta etapa que se diferencian claramente algunas estructuras vegetativas tales como el tallo, las ramas, y otras hojas trifoliadas que se desarrollan a partir de los 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 habrá formado ya el primer nudo que presenta una hoja trifoliada. De esta forma, continúa el desarrollo de otras ramas en el tallo y otras hojas trifoliadas.



V4: 3ª Hoja Trifoliada

# 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 las plantas de hábito de crecimiento determinado, al empezar la fase reproductiva, cesan el desarrollo de nuevas estructuras vegetativas.



R5: Prefloración

**a. Etapa R5: Prefloración.** La etapa R5 se inicia cuando aparecen el primer botón o el primer racimo floral. El cultivo, se considera que ha entrado en esta etapa cuando el 50% de las plantas presenta esta característica. En una variedad determinada, el desarrollo de botones florales se inicia 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. 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 desarrollo formando una inflorescencia. 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, el tallo y las ramas continúan creciendo debido a que presentan en su parte apical un meristemo vegetativo en vez de una inflorescencia. La inflorescencia 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.

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 bractéolas de forma ovalada a redonda. La forma de conjunto de la inflorescencia tiende a ser cilíndrica o esférica. En una rama incipiente, los órganos más notorios son las estipulas de forma triangular y plana correspondientes a la primera hoja trifoliada de la rama. 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 posición 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.

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 transforma en un racimo terminal. 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 (la apertura de la flor), el botón presenta algunos abultamientos característicos. Al final de este proceso se abre la flor.

**b. 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. 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 continúa 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 los tipos indeterminados. 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.



R6: Floración

## c. Etapa R7: Formación de las vainas.

La etapa R7 se inicia cuando una 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. 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 y peso máximo, se inicia el llenado de las vainas.



R7: Formación de vainas



### d. 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. 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 máximos; 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. La pigmentación de la semilla aparece primero alrededor del hilum y luego se extiende a toda la testa.

En algunos genotipos, las valvas de las vainas también empiezan a pigmentarse. La distribución de la pigmentación, ya sea uniforme, en rayas u otro, 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.

e. Etapa R9: Madurez fisiológica. La etapa R9 se considera como la última de la escala de desarrollo, ya que en ella ocurre la maduración. Esta etapa se caracteriza por la decoloración y secado de las vainas. 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 son indicativos del inicio de la maduración de la planta, 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 ésta puede cambiar durante el almacenamiento, según la variedad. Termina el ciclo biológico y el cultivo se encuentra entonces listo para la cosecha.



## HÁBITOS DE CRECIMIENTO DEL FRIJOL

Los principales caracteres morfológicos y agronómicos que ayudan a definir el hábito de crecimiento de las plantas de frijol son:

1. El 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, el cual es 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 lo que involucra al grado de ramificación.

La planta de frijol común es por naturaleza muy ramificada. Las ramas principales pueden tener a su vez ramas laterales, lo que 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 foliar de forma triangular denominada prófilo. El tercer nudo 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.

Se considera que los hábitos de crecimiento podrían ser agrupados en cuatro tipos principales; esta clasificación está sujeta a modificaciones, las cuales seguramente tendrán en cuenta las situaciones particulares e intermedias.



## Tipo I: Hábito de crecimiento determinado arbustivo.

Las plantas de 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 (5-10) comúnmente cortos.
3. La altura puede variar entre 30 y 50 cm; sin embargo, hay casos de plantas enanas (1.5-25 cm).
4. La etapa de floración es corta y la madurez de todas las vainas ocurre casi al mismo tiempo.
5. Existe 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.



## Tipo II. Hábito de crecimiento indeterminado arbustivo.

Pertencen a este Tipo II, 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, y generalmente más de 12.
4. Como todas las plantas de hábito de crecimiento indeterminado, éstas continúan creciendo durante la etapa de floración, aunque a menor ritmo.

## Tipo III. Hábito de crecimiento indeterminado postrado.

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

1. Son plantas postradas o semi-postradas con ramificación bien desarrollada.
2. La altura de las plantas es superior a la de los Tipos 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 semi-trepadoras.







## Tipo IV: Hábito de crecimiento indeterminado trepador.

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 y 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 repadora.
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 2 m 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 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 sub-clasificaciones de gran utilidad en el proceso de mejoramiento. 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. 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.

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

Por ejemplo, algunas variaciones de hábito de crecimiento Tipo III bajo condiciones particulares de una zona pueden tener hábitos semejantes al tipo IV según el 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 lo contrario.



# CARACTERIZACIÓN BOTÁNICA Y AGRONÓMICA DEL FRIJOL COMÚN

La caracterización de accesiones de germoplasma y variedades de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), incluyendo las variedades criollas y las variedades mejoradas desarrolladas convencionalmente o utilizando enfoques de mejoramiento participativo, es necesario para la identificación, estandarización y comunicación entre personas e instituciones públicas y privadas involucradas en investigación, transferencia de tecnología y desarrollo socioeconómico del sector campesino en colaboración con grupos de agricultores. La caracterización permite identificar el valor agronómico y genético de las variedades y su potencial de uso; también facilita el acceso y el derecho de uso de la biodiversidad como patrimonio de la humanidad. Por otro lado, las características de las variedades (descriptores) son usadas en los procesos de producción de semilla para garantizar la pureza varietal.

En la caracterización del frijol común, se utilizan los siguientes descriptores:

## Descripción Botánica

1. En el estado de plántula: color del hipocófito y de los cotiledones.

2. A la floración

2.1 Inflorescencia: Antesís (días a floración), duración de la floración (días), tamaño de las brácteas, color de las alas, color del estandarte, color de la flor, color predominante del cáliz.

2.2 Tallo: Hábito de crecimiento, longitud del tallo principal, color del tallo principal, número de nudos, pubescencia, tipo de ramificación, resistencia al acame.

2.3 Hojas: color, ancho, longitud y forma.

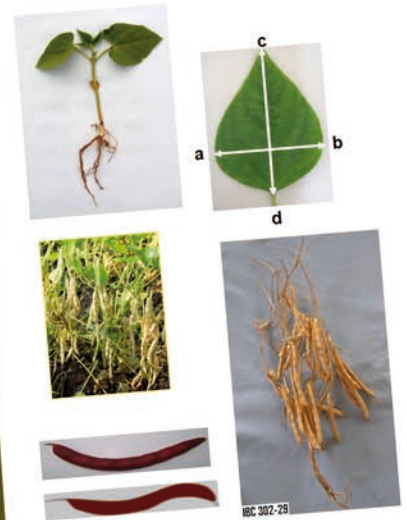
3. En el estado de madurez fisiológica

3.1 Vainas: Color de vainas inmaduras, color en madurez fisiológica, distribución en la planta, forma del ápice, perfil predominante.

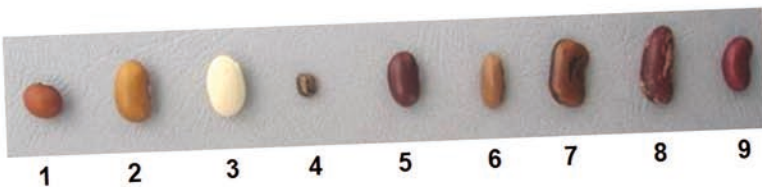
4. A la cosecha

4.1 Vainas: Longitud, ancho, color, número por planta, forma.

4.2 Semillas: Color, número por vaina, color primario, color secundario, forma, pesos de 100 semillas (g), longitud, ancho, brillo, color alrededor del hilo.



1= opaco, 2= intermedio, 3= brillante



## Características agronómicas

1. Días a madurez fisiológica
2. Duración de la maduración
3. Días a cosecha
4. Rendimiento (kg/ha)
5. Densidad poblacional
6. Rango de adaptación
7. Genealogía
8. Resistencia a plagas y enfermedades
9. Otras características



# MÉTODOS DE SELECCIÓN PARA EL MEJORAMIENTO DE III. CULTIVOS AUTÓGAMOS

**Objetivo del capítulo:** Fortalecer las capacidades de los participantes en los métodos de mejoramiento y selección aplicados al cultivo del frijol con enfoques participativos.

El frijol común es una planta hermafrodita que posee los dos órganos reproductores en la misma flor, masculino (androceo) y femenino (gineceo); adicionalmente, la flor permanece cerrada y la producción de polen y la receptividad del estigma ocurren simultáneamente (cleistogamia), facilitando así la autofecundación. Para poder entender los resultados de la selección en una población mixta, es necesario que el fitomejorador conozca la naturaleza genética de las plantas que está tratando de mejorar. Las plantas que normalmente se reproducen por autofecundación difieren en su composición genética de aquellas que se reproducen por polinización cruzada.

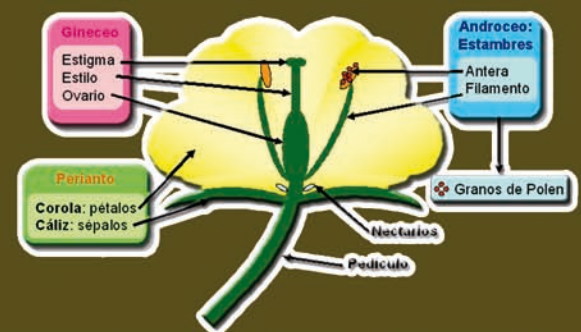
En un cultivo autógamo, como frijol o soya, la regla es que las plantas sean, o casi sean, homocigotas. Esta suposición se hace debido a que los pares de genes homocigotas (AA o aa) se mantendrán homocigotas mediante la autofecundación; por otro lado, los pares de genes heterocigotas (Aa) segregarán produciendo progenies homocigotas y heterocigotas en proporciones iguales.

Con la autofertilización, la heterocigocidad es reducida a la mitad en cada generación. Después de varias generaciones sucesivas de autofecundación, la proporción de plantas heterocigotas que permanecen en la población es muy pequeña. Aunque la homocigocidad completa es teóricamente inalcanzable, en la práctica el estado de uniformidad es alcanzado en las líneas seleccionadas después de 5-6 generaciones de autofecundación. Para caracteres cualitativos, en los cuales la forma dominante puede distinguirse visiblemente de la recesiva, la similitud en las plantas es deseada para producir una variedad uniforme. Para características cuantitativas, pueden existir pequeñas diferencias genéticas entre plantas y aún así pasar desapercibidas.

Una población mixta de un cultivo autógamo es realmente una mezcla de genotipos homocigotas o líneas puras. Si cada genotipo individual es aislado e incrementado, producirá una población (línea) pura. Plantas heterocigotas pueden aparecer en una población homocigota de un cultivo de autofecundación, debido a polinización cruzada natural o por mutaciones; sin embargo, las progenies de estas plantas heterocigotas rápidamente generan genotipos homocigotas.

En cultivos alógamos (ej. Maíz), las plantas individuales son extremadamente heterocigotas como resultado de la mezcla de genotipos después de la polinización cruzada en cada generación. En estas especies alógamas, la autofecundación ocurre únicamente a través de la polinización controlada o artificial para fines de mejoramiento. En plantas normalmente de polinización cruzada, la autopolinización continua por algunas generaciones, o endogamia, es generalmente acompañada de pérdida de vigor y productividad (fenómeno conocido como depresión endogámica). En algunos cultivos como sorgo y algodón existen diversos grados de autopolinización y polinización cruzada.

## ESQUEMA DE UNA FLOR



# MÉTODOS DE MEJORAMIENTO

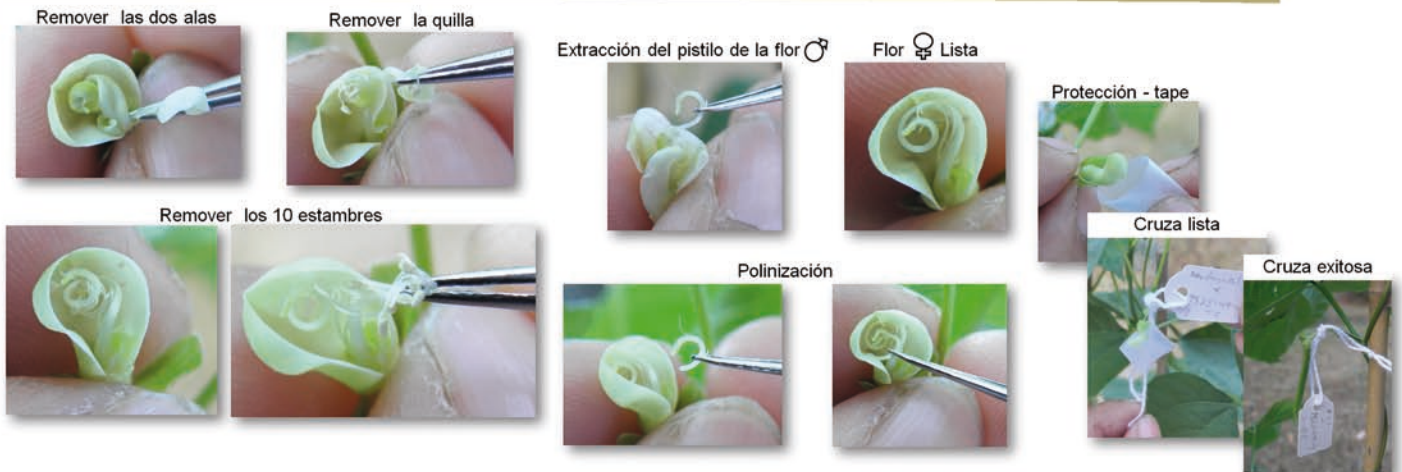
Los métodos básicos a través de los cuales se originan nuevas variedades de cultivos de autopolinización como el frijol común incluyen la introducción, selección e hibridación.

## Introducción

Es la vía más rápida para disponer de accesiones de germoplasma que pueden servir como progenitores en programas de mejoramiento o para seleccionar una nueva variedad. Estos materiales pueden ser variedades criollas, variedades mejoradas o líneas avanzadas de programas de mejoramiento. El proceso de selección requiere de evaluaciones en diferentes localidades y épocas de siembra para identificar los genotipos con mejor adaptación a las zonas productoras metas y su aceptación comercial y culinaria, o determinar las accesiones con mayor expresión de los caracteres que se desean mejorar (p.ej. alta resistencia a una enfermedad).

## Hibridación o Cruzamiento

La hibridación o cruzamiento artificial tiene por objetivo la transferencia de genes deseables responsables de una característica determinada, de una variedad con alta expresión de esta característica (donante) a otra variedad con baja expresión de esa característica, la cual se desea mejorar. Normalmente, una de las variedades es la mejor variedad comercial o línea elite, con la mayoría de caracteres deseables y la otra es la que se usa como padre donante de genes para la característica deficiente en la variedad comercial. La hibridación permite la recombinación de los genotipos de ambos padres, resultando en una descendencia con recombinaciones de los genes aportados por los padres a través de sus gametos. La recombinación genética a través de la hibridación permite desarrollar una población de individuos que segregan por las combinaciones genéticas de ambos padres, en la cual se identificarán y mantendrán individuos y familias superiores a través del método de selección aplicado, hasta lograr alcanzar la fijación de estos genotipos superiores, a través de varias generaciones de autofecundación.



## Tipos de hibridación (cruzamiento)

Tipo	Generaciones de cruza	Generación 1	Generación 2	Generación 3	Uso
Simple	1	P1 x P2			Combinar las características de 2 genotipos
Doble	2	P1 x P2 P3 x P4	(P1 x P2) x (P3 x P4)		Combinar varias fuentes de genes de características poligénicas
Triple	2	P1 x P2	P3 x (P1 x P2)		Combinar 3 fuentes de genes con el 50% de un padre (P3)
Retro-cruzamiento	Variable	P1 x P2	P1 x (P1 x P2)	P1 x [P1 x (P1 x P2)]	Transferencia de un gen de P2 a P1 manteniendo el fondo genético de P1

P1 =Padre 1 y así....



# SELECCIÓN

La selección incluye la identificación y multiplicación de genotipos individuales, o grupos de genotipos, de poblaciones mezclas o de poblaciones segregantes. Para que la selección sea efectiva, debe haber variabilidad genética que pueda ser identificada y distinguida de las variaciones ambientales. Los métodos o procedimientos de selección que pueden ser usados en el mejoramiento de cultivos de autopolinización son: selección masal, selección de plantas individuales o de líneas puras, selección por pedigrí, selección de poblaciones compuestas, y descendencia de semilla individual.

## 1. Selección Masal

La selección de plantas con apariencia (fenotipo) similares, y la cosecha de sus semillas en forma de un compuesto da como resultado una mezcla conocida como selección masal. Este procedimiento de selección también es referido como selección masal. Una variedad desarrollada por selección masal, generalmente será uniforme para características físicas como color de grano o fruto, altura de planta, madurez, etc. Los genotipos que comprenden la variedad pueden variar en rendimiento, tamaño, calidad, u otro carácter de herencia cuantitativa, debido a que las pequeñas variaciones en la expresión de estos caracteres no pueden ser distinguidas visualmente. En la selección masal, las plantas son escogidas con base a su fenotipo y la semilla es cosechada sin efectuarse pruebas de progenie. El objetivo es mejorar el comportamiento general de la población, seleccionando y multiplicando sólo los genotipos superiores presentes, o purificar una población mezcla seleccionando y propagando sólo las plantas con similitudes visibles.

La selección masal es similar a la selección de líneas puras, pero difiere en el número de líneas que se conservan. Con la selección masal, la mayoría de líneas seleccionadas tienen la probabilidad de ser conservadas en la variedad mejorada. Sólo la proporción de individuos más pobres son descartados (10-25 %). Esto permite al fitomejorador, mejorar la variedad manteniendo sus características esenciales. La variedad resulta ser la mezcla de varias líneas puras, y puede ser re-seleccionada cada 2-3 años. Este enfoque resulta importante en el mejoramiento de variedades criollas y es muy útil en la producción de semilla pura. La variación genética dentro de la selección masal puede proveer alguna estabilidad en condiciones ambientales variables.

Cuando se utiliza selección masal para mejorar cultivos de autopolinización, se observan dos debilidades: 1) debido a que no es posible conocer si las plantas que se agrupan masalmente son homocigotas o heterocigotas, la selección fenotípica tiene que repetirse ya que las plantas heterocigotas segregarán en la siguiente generación; y 2) como el ambiente en que la planta crece afecta su desarrollo y apariencia, no es posible saber si el fenotipo seleccionado es superior en apariencia debido a caracteres hereditarios o al ambiente.

## 2. Selección de líneas puras

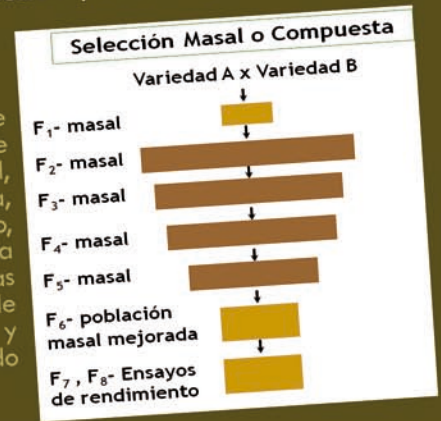
La base genética de la selección de líneas puras proviene de la teoría de Johansen (1903), quien realizó estudios en el tamaño de la semilla de frijol. En una especie de autopolinización natural, la población consistirá de un gran número de individuos homocigotas (o casi homocigotas), siempre que no ocurra polinización cruzada. En esta población, posiblemente cada individuo será fenotípica y genotípicamente diferente, si se consideran varios caracteres o si el carácter es controlado por muchos genes; en esta población, cada individuo puede ser caracterizado por su progenie. La variabilidad entre individuos dentro de cada progenie es menor que la variabilidad entre individuos de la población original, y es casi enteramente debida a causas no-genéticas.

En la selección de líneas puras, en general se practica muy poca o ninguna selección en poblaciones que son heterocigotas. La selección es atrasada hasta que los individuos sean homocigotas en casi todos sus loci. El primer paso consiste en seleccionar por caracteres altamente heredables; un gran número de individuos es seleccionado resultando en una baja intensidad de selección, o simplemente se efectúa la selección contra aquellos individuos que muestran defectos que son obvios. En el segundo paso, las progenies (familias) que resultan de cada individuo en la población inicial son sembradas para su comparación y selección. La intensidad de selección, número de repeticiones, y número de localidades puede ser bajas si un número grande de progenies deben ser manejadas. El tercer paso consiste en la selección intensiva basada en ensayos repetidos. Si estas líneas son consideradas para su liberación como variedades comerciales, las pruebas deben ser conducidas por 2-3 años. El segundo y tercer paso se consideran principalmente para caracteres cuantitativos y/o caracteres que poseen baja heredabilidad en plantas individuales.

Los principales usos del método de selección de líneas puras son:

- 1) Hacer un uso rápido de las diferencias genéticas valiosas en las variedades existentes compuestas de una mezcla de individuos homocigotas;
- 2) Permitir que los genes que controlan caracteres de baja heredabilidad sean fijados, antes de proceder a aplicar selección en una población variable; y
- 3) Crear una estructura de familia en la que haya suficiente semilla que permita las repeticiones en el tiempo y espacio, como herramienta en el proceso de selección.

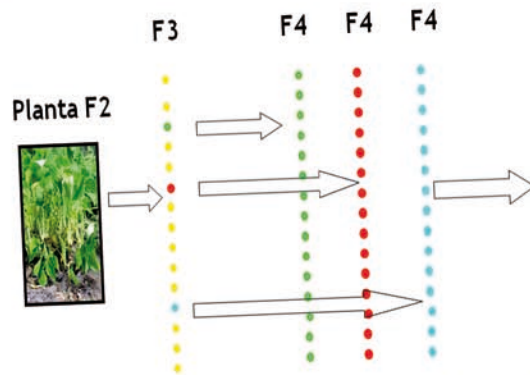
El producto final de la selección de líneas puras, es una variedad comercial liberada en forma de una sola línea pura (la progenie resultante de una sola planta homocigota) o de la combinación de individuos homocigotas derivados de varias plantas. En este sentido, se puede manipular la base genética en la variedad liberada.



### 3. SELECCIÓN POR PEDIGRÍ O GENEALÓGICA

Es usada principalmente en cultivos de autopolinización; sin embargo, muchos de los principios se aplican a especies de polinización cruzada. El objetivo primario, es usualmente combinar genes deseables de dos o más genotipos en una sola variedad sobresaliente. El procedimiento se inicia con la selección de los padres, lo cual determina el potencial del programa de mejoramiento. Algunos padres producen mejor descendencia que otros que aparentemente son igualmente buenos. Como la variedad a ser desarrollada generalmente reemplaza a una variedad comercial establecida, esto implica que debe ser mejor en algunos aspectos que la variedad que se pretende reemplazar.

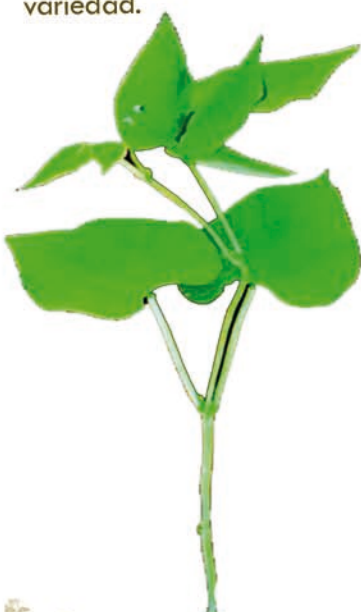
Generalmente, un padre (o progenitor) es uno que ha probado ser bien adaptado y aceptado. El otro (u otros) padre usualmente debe complementar uno o más defectos del primero, y debe expresar con intensidad este carácter. Ocasionalmente, la mejor recombinación conduce a una progenie mejor que ambos padres (segregación transgresiva); sin embargo, la mejor oportunidad de éxito recae en la selección de padres que contengan las características de valor deseadas en la nueva variedad. Se puede aumentar el número de padres si se desean incluir otros caracteres. Se puede tratar de incorporar todos los caracteres simultáneamente (caracteres múltiples), o agregar uno, perfeccionarlo y entonces agregar un segundo carácter.



El cruzamiento de los padres seleccionados dependerá del cultivo particular con el que se esté trabajando. El tamaño de la población F1 debe ser suficiente para dar una población F2 razonablemente grande. Los genotipos superiores son seleccionados en generaciones sucesivas de segregación y debe mantenerse un registro de todas las relaciones padres-progenies. El registro es simplemente una serie de notas que indican las relaciones entre las familias sembradas. En este registro se incluyen las características distintivas de cada familia; esto puede ser muy útil en decidir cuál continuar o eliminar.

Esta toma de notas puede consumir tiempo y esfuerzo, por lo que es probable que no haya razón de guardar registros de un número grande de caracteres; y no guardar registros de aquellas familias destinadas a ser descartadas debido a defectos obvios. En algunos casos, todo lo que pueda necesitarse es una designación de qué familias serán conservadas. El pedigrí provee un registro de la relación precisa entre todas las plantas; esto puede ser muy útil en evitar la selección de plantas estrechamente relacionadas cuyo valor es similar. La destreza con la que la selección es practicada en generaciones segregantes determina si el potencial del híbrido será obtenido. La determinación del valor de los genotipos requiere que el fitomejorador conozca el cultivo a fondo.

La selección se empieza en la F2, donde se seleccionan los individuos que a juicio del mejorador producirán las mejores progenies. En la F2 se espera la máxima segregación; el tamaño de esta población es influenciado por el número de familias F3 que pueden ser manejadas, debiendo considerarse por lo menos 50 F3. La relación de individuos F3:F4 varía de 10:1 a 100:1; de acuerdo a que tan lejanamente relacionados sean los padres, probablemente se desee la relación más alta. La F2 es la primera oportunidad de selección; se debe eliminar las plantas con genes mayores indeseables, y seleccionar las plantas con una alta intensidad de los caracteres deseados en la nueva variedad.



En la generación F3, las diferencias entre familias empiezan a aparecer conforme varios loci llegan a ser homocigotas. Se presentan diferencias dentro de las familias ya que aún existe cierta heterocigocidad. La selección se hace por las mejores plantas en las mejores familias. El tamaño de la F3 debe ser tal que se pueda obtener una indicación general de los caracteres de la familia, y aún obtener una muestra de la heterocigocidad remanente. Un buen estimado sería >30 plantas. Rara vez el número de plantas seleccionadas debe exceder el número de familias F3.

Empezando con la F4, la mayoría de los loci llegan a ser homocigotas, por lo que la selección es hecha entre familias. Aquí se eliminan todos menos uno de los miembros de una familia provenientes de un mismo ancestro, 1-2 generaciones atrás. Se puede unir (compuesto) ciertas selecciones dentro de familias, principalmente para obtener suficiente semilla para pruebas de rendimiento. En la F6-F7, se hace una eliminación drástica de familias mediocres. Después de la reducción de líneas se efectúan las determinaciones de calidad.

La liberación de nuevas variedades se realiza después de que las líneas han sido observadas por defectos, calidad y pruebas de rendimiento. Normalmente, la liberación es hecha después de haberse observado superioridad por varios años (épocas) y localidades. La principal desventaja de este método es que la cantidad de material que el fitomejorador puede manejar es relativamente limitada.

## 4. SELECCIÓN POR DESCENDENCIA DE SEMILLA INDIVIDUAL

La base genética de este método fue primero sugerida por Goulden (1939), y posteriormente modificada por Brim (1966) para su uso en soya. El procedimiento consiste en el cruce de dos padres homocigotos para producir la F1. La F2 se produce por autofecundación o cruce fraternal de la F1. Una estructura de familia es creada desde la F3 y generaciones posteriores. Una o dos semillas son conservadas en cada familia empezando con la F2; a esto se debe el término de descendencia de semilla individual (DSI). Se guardan dos semillas F3 de cada planta F2, para crecer dos plantas F3; luego se guardan dos semillas F4 de una de las dos plantas F3 sembradas. La DSI se continúa usando hasta alcanzar un nivel deseado de homocigoidad.

Durante el proceso de endogamia (autofecundación) no se aplica selección. Esto permite hacer los avances de la población donde sea conveniente y tan rápido como sea posible (fuera de época, en invernadero, etc.). La población final estará constituida de líneas de homocigoidad cercana que pueden ser probadas en el campo, laboratorio, invernadero, etc. La selección de la mejor línea (genotipo) avanzada se basa en el comportamiento repetido de familias. Las selecciones superiores pueden ser liberadas como nuevas variedades mejoradas o usados para futuro cruzamiento y selección.

Las expectativas teóricas de la DSI son que con sólo varianza aditiva presente, el promedio de la población F2 y la población de las familias Fa serán iguales. En esta generación Fa, la varianza genética será entre familias, y la magnitud de la varianza aditiva entre familias será dos veces la de la varianza aditiva entre los individuos F2. La eficiencia de este método será más grande (comparado con la selección por pedigrí), para caracteres que poseen baja heredabilidad en plantas individuales.

En la práctica, se puede seleccionar por caracteres de alta heredabilidad en la F2 y F3, y entonces imponer la DSI hasta la F6, momento en el cual se emplean las pruebas con repeticiones. Si se desea, este procedimiento se puede incorporar dentro de un programa de selección recurrente.

## 5. MÉTODO DE LA RETROCRUZA

Los primeros en señalar el uso potencial del método de retrocruza fueron Harlan y Pope (1922). En los años 1930s, Briggs (1935) empezó a desarrollar trigos resistentes a enfermedades y fue el principal difusor de este sistema. A pesar de los éxitos bien documentados, el método de retrocruza no ha sido usado extensamente en la forma originalmente propuesta.

La expectativa para cada locus a partir de la F1, es que después de la autofecundación así como en cada generación de retrocruza, 50% de la progenie F2 serán homocigotas. Mientras la F2 de autofecundación contiene dos clases de homocigotas, deseables e indeseables, en la retrocruza 50% de la progenie serán homocigotas deseables, ya que la población converge en un solo genotipo en vez de separarse en dos. Cuando se retrocruza a un padre recurrente homocigota, la homocigoidad es alcanzada a la misma tasa que con la autofecundación; en ambos casos la proporción de plantas homocigotas puede ser estimada por la fórmula:  $[(2m-1)/2m]^n$ , donde m = número de generaciones de retrocruzamiento o autofecundación, y n = número de loci segregantes.

Según lo explicado, el número teórico de individuos necesarios para obtener un homocigota dominante por autofecundación o retrocruza (en relación al número de loci segregantes) sería:

Método	Número de loci							
	1	2	3	4	5	6	7	8
F2 (autof. F1)	4	16	64	256	1024	4096	16384	65336
R1 (retrocruza)	2	4	8	16	32	64	128	256

### Principales características del mejoramiento por retrocruza

El padre recurrente es el genotipo al cual se hace las retrocruzas repetidas. Es la variedad mejor adaptada a las condiciones de producción y exigencias del mercado, a la cual se pretende agregar el carácter deseado. El padre no-recurrente (donante) es el genotipo que sólo interviene en el cruce original y es el que provee el carácter deseado. El propósito principal de este método es recobrar el genotipo del padre recurrente, con la adición o incorporación del gen (genes) deseado, aportado por el padre no-recurrente.

El método de retrocruza provee al mejorador de un alto grado de control, ya que los caracteres de la variedad mejorada pueden ser descritos por anticipación (se parecerá al padre recurrente con la adición del nuevo carácter). La variedad desarrollada por retrocruza puede ser reconstruida por segunda vez siguiendo los mismos pasos. Durante el proceso, no se requiere de pruebas extensivas de rendimiento ni la toma intensiva de datos. Por otro lado, este método permite reducir los problemas de selección debido a interacciones genotipo x ambiente.

El padre recurrente debe ser la variedad mejor adaptada, que posea la mayoría de los caracteres deseados. Dependiendo del número de características faltantes en el padre recurrente, se puede hacer uso de múltiples padres recurrentes. El padre no-recurrente debe proveer un alto nivel de expresión del carácter que se desea transferir. La intensidad del carácter debe de ser mantenida durante el retrocruzamiento mediante selección.

Las desventajas de la retrocruza, incluyen que la ganancia que pueda ser obtenida en la variedad mejorada es limitada por las características del padre recurrente. El método no provee recombinación extensa de genes, y puede ser no muy efectivo para caracteres de herencia cuantitativa de baja heredabilidad. El método de retrocruza presenta dificultades en su uso para el mejoramiento de cultivos de polinización cruzada debido al proceso de endogamia. Por otra parte, la presencia de ligamientos estrechos del carácter deseado con genes deletéreos puede ocasionar problemas.



## Algunas consideraciones en el uso de este método son:

- 1) Debe disponerse de un padre recurrente adecuado.
- 2) El número de retrocruzas recomendado son seis, pudiendo aplicarse selección hacia el padre recurrente a la cuarta retrocruza, o hacer dos retrocruzas más si no se hace selección.
- 3) Para recuperar la variabilidad de las características del padre recurrente se debe usar suficientes plantas durante las últimas retrocruzas.
- 4) Para incorporar genes adicionales se debe hacer retrocruzas separadas e integrar los productos finales mediante hibridación.
- 5) Para continuar el mejoramiento se debe usar las plantas derivadas de la retrocruza como nuevos padres recurrentes.
- 6) Es necesario conducir pruebas de evaluación antes de la liberación de variedades, las que pueden ser menos exigentes debido al conocimiento del comportamiento del padre recurrente.

## Usos de la retrocruza en estudios genéticos

Mediante la retrocruza es posible desarrollar líneas isogénicas-cercanas, como el desarrollo de pares de líneas con esterilidad y fertilidad masculina; así como genotipos que difieran en un solo gen para estudiar los efectos de genes específicos. La retrocruza, también se utiliza en pruebas de cruzamiento para la detección de ligamientos de genes. Así mismo, la retrocruza es usada en el desarrollo de esterilidad citoplásmica-génica masculina, a través de cruza inter-específicas y transferencia de genes nucleares dentro de citoplasma foráneo. La retrocruza es empleada en el desarrollo de variedades multilineas, en las que los componentes difieren en unos pocos genes, como la resistencia a diferentes razas de un patógeno.

## EL MÉTODO DE RETROCRUZA-AUTOFECUNDACIÓN



Este método es derivado de la retrocruza estándar, y permite identificar genes mayores que contribuyen a la variabilidad genética de un carácter cuantitativo. La retrocruza-autofecundación facilita la transferencia de variabilidad genética de un carácter cuantitativo procedente de germoplasma inadaptado a cultivares adaptados. Se aplica para mejorar cultivares de líneas puras y variedades criollas de autopolinización, y líneas puras de cultivos de polinización cruzada.

El procedimiento permite producir una población de líneas homocigotas de retrocruza-autofecundación (RaAa). Se inicia con la escogencia de un padre recurrente adecuado (el mejor adaptado, probablemente la variedad más comercial), y un padre donante que posea un nivel superior de expresión del carácter cuantitativo a ser mejorado. Estos padres se cruzan para producir el híbrido F1. Las plantas F1 (progenitor masculino) se retrocruzan con el padre recurrente (progenitor femenino), para producir un número específico de semillas de la primera generación de retrocruza (R1). Una segunda generación de retrocruza (R2) es producida al retrocruzar las plantas R1 con el padre recurrente. Después de la R1 o R2, se inicia la autofecundación de las plantas de retrocruza por el método de descendencia de semilla individual (DSI). La autofecundación por DSI se efectúa durante 3-4 generaciones hasta llegar a producir plantas homocigotas de retrocruza-autofecundación R1A4 o R2A3 (equivalentes a plantas de generaciones F6 de autofecundación). El número de retrocruzas depende de las dificultades en la transferencia del carácter y en la diversidad del padre donante. Las pruebas de las líneas Ra Aa se efectúa mediante observaciones con repeticiones, ya sea para identificar líneas que sean desviaciones de un solo gen (cualitativo) o líneas que sean superiores al padre recurrente por el carácter cuantitativo mejorado.

## SELECCIÓN POR RESISTENCIA A ENFERMEDADES

La resistencia genética es una estrategia de control biológico de las enfermedades. Esta resistencia es el resultado de la interacción de la variabilidad genética del patógeno y del hospedero (cultivo), y por ello se encuentra en función del tiempo. Los tipos de resistencia genética a las enfermedades son: cualitativa y cuantitativa.

La resistencia cualitativa, también es conocida como vertical o específica, es debido a uno o pocos genes mayores que controlan razas específicas, y donde la identificación y transferencia de genes es relativamente fácil, debido a que la segregación esperada es predecible, y la presencia de los alelos de resistencia o susceptibilidad se determina por la exposición de las plantas al patógeno (natural en una localidad con alta incidencia o artificialmente mediante inoculación). La desventaja de esta resistencia radica en la vulnerabilidad a la aparición de nuevas razas, a las cuales los genes presentes en las variedades no sean resistentes.

La resistencia cuantitativa, también conocida como resistencia horizontal, no-específica, general o de campo, se debe a la expresión de alelos de resistencia en varios loci, cada uno con cierto efecto que se expresan describiendo una curva de variación continua. Esta permite el control de una amplia gama de razas del patógeno, por lo que nuevas razas difícilmente vencen la resistencia; sin embargo, esta presenta dificultades en la transferencia de los numerosos alelos en una sola variedad, los cuales son de difícil identificación en los padres lo cual implica que las progenies sean impredecibles, lo que se traduce en una baja probabilidad de transferir todos los alelos de resistencia deseables.





# Interacción Genética Planta Hospedera-Patógeno

Las reacciones de resistencia y de susceptibilidad en las plantas está determinada por la interacción hospedero-patógeno, y se basan en la hipótesis de gen por gen (Flor, 1956), que se expresa de la siguiente manera: "...por cada gen de resistencia en la planta, existe un gen específico de virulencia en el patógeno, y la relación entre genes del hospedero y del patógeno determina la expresión de la enfermedad...". En el ejemplo del cuadro siguiente, se expresa de manera hipotética estas relaciones según la mencionada hipótesis.

Interacción de los alelos dominantes de resistencia (R) de la planta y los alelos recesivos de virulencia (v) del patógeno y la respuesta de la planta a la enfermedad

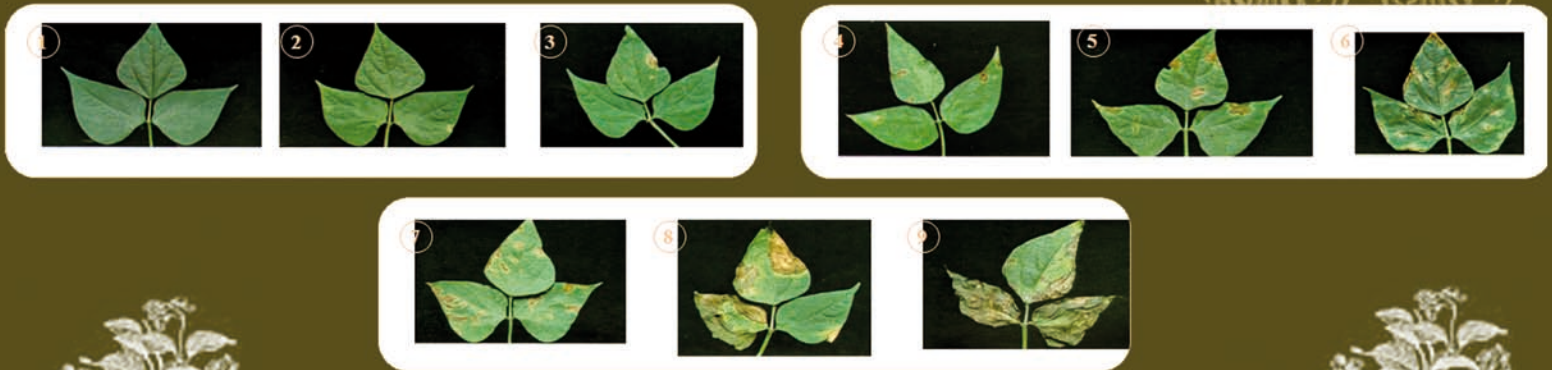
Línea	Genes R (planta)	Genes v (patógeno)	Respuesta (planta)
1	Ninguno	Cualquiera	Susceptible
2	A -	Ninguno	Resistente
3	A -	aa	Susceptible
4	A- B-	aa	Resistente
5	A- B-	bb	Resistente
6	A- B-	aa bb	Susceptible
7	A- B- C-	aa bb	Resistente
8	A- B- C-	aa bb cc	Susceptible

## Mecanismos de resistencia a las enfermedades

Las plantas presentan los siguientes mecanismos de resistencia a las enfermedades:

1. Resistencia al establecimiento del patógeno: incluye los mecanismos conocidos como hipersensibilidad, resistencia a razas específicas, resistencia no-uniforme, resistencia de genes mayores, y resistencia vertical, los cuales impiden que el patógeno se establezca en la planta.
2. Resistencia al patógeno ya establecido: incluye los mecanismos conocidos como resistencia de campo, resistencia general, resistencia uniforme, resistencia no-específica, resistencia de genes menores y resistencia horizontal, los cuales impiden el desarrollo del patógeno y reducen la expresión de síntomas.
3. Tolerancia: las plantas presentan desarrollo normal pero con presencia de síntomas de la enfermedad; en cuanto al crecimiento y productividad se comportan como si no tuvieran síntomas. Las plantas no poseen ninguno de los mecanismos de resistencia anteriormente citados.

### Severidad – Bacteriosis común (escala CIAT 1-9)



## Mejoramiento De Las Plantas Cultivadas Usando Resistencia Vertical

Existen tres estrategias de mejoramiento de la resistencia a enfermedades de las plantas usando resistencia vertical o cualitativa, estas son: Variedades con genes mayores individuales, multilineas y estrategia piramidal. En el desarrollo de variedades con genes mayores individuales, se desarrollan variedades resistentes a las razas prevalentes usando genes individuales y mayores. La selección por resistencia se practica en poblaciones segregantes que contienen el gen de resistencia que ha sido transferido por hibridación y usando los métodos de pedigrí o retrocruza autofecundación. La ventaja es la fácil manipulación del gen. La desventaja es la vulnerabilidad a razas menores que pueden llegar a predominar en la población del patógeno, a las cuales la variedad resistente no se comportaría como tal.

Las variedades multilineas se desarrollan a partir de isolíneas con características similares para la mayoría de sus genes pero que difieren en los genes mayores de resistencia a diferentes razas. La variedad se compone de semilla de varias líneas isogénicas, por lo que da protección contra un amplio espectro de razas del patógeno y a otras razas que aparezcan en la población patógena. Las plantas resistentes de la multilinea reducen la dispersión de nuevas razas hacia las plantas susceptibles.



La desventaja es el mayor esfuerzo en la transferencia de varios genes mayores a genotipos (variedades) deseables; y el uso de la retrocruza en el desarrollo de las isolíneas está limitado por el padre recurrente y la aparición de nuevas variedades podrían reducir su aceptación.

La estrategia piramidal implica la incorporación de varios genes mayores en una sola variedad. La presencia de varios genes (diversidad) en la planta debe dar protección contra nuevas razas de la población patógena. Las desventajas, son la incorporación de genes en un solo genotipo, lo cual requiere pruebas con varias razas para asegurar la presencia de estos genes en las plantas seleccionadas, la necesidad del uso del método de retrocruza, y la posibilidad de inducir nuevas razas si los mismos genes son utilizados en otras variedades.

El mejoramiento por resistencia horizontal o cuantitativa es la estrategia más efectiva y deseable, ya que confiere resistencia a la mayoría de las razas, lo que hace que la variedad resistente sea menos vulnerable a los cambios genéticos del patógeno. El mejoramiento por resistencia horizontal es más difícil y a largo plazo. Es cuantitativamente similar al mejoramiento para mejorar el rendimiento de los cultivos y otras características agronómicas. El uso de métodos de selección recurrente resulta en avances significativos en este tipo de resistencia.



## IV. AGROBIOTECNOLOGÍA DEL FRIJOL

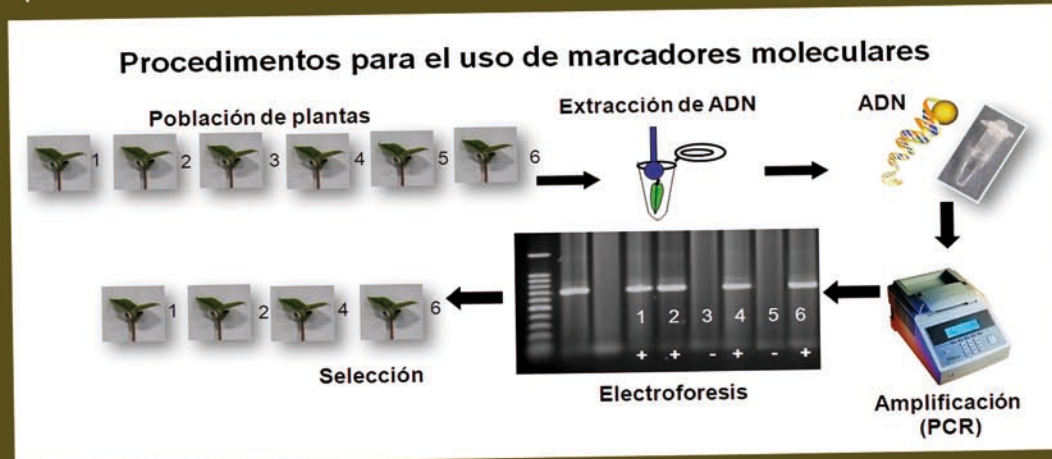


° **Objetivo del Capítulo:** Fortalecer los conocimientos de los participantes en el uso de técnicas de marcadores moleculares en el mejoramiento y la caracterización de la diversidad genética del frijol común, y las capacidades para la utilización de inoculantes de *Rhizobium* en el cultivo.

Como parte de la temática de la agrobiotecnología del frijol, en el módulo se revisarán las técnicas de selección asistida con marcadores y la inoculación con *Rhizobium*. Se revisará el uso de los marcadores SCAR (Regiones Amplificadas de Secuencia Caracterizadas de ADN) para la selección asistida de plantas resistentes a las principales enfermedades del frijol, lo cual complementa las actividades de selección fenotípica en invernadero y campo en presencia de inoculo natural o inoculación artificial con los patógenos causantes de las enfermedades. También se revisará la técnica de RAPD (Polimorfismos de ADN Amplificados al Azar) utilizada en la caracterización de la diversidad genética de accesiones de germoplasma de frijol, lo cual permite usar de manera más eficiente la diversidad del germoplasma disponible para la conformación de una colección núcleo representativa de la diversidad genética de la especie, y la identificación de progenitores potenciales para los programas de mejoramiento genético.



Las plantas leguminosas en simbiosis con bacterias del género *Rhizobium* utilizan nitrógeno atmosférico (N<sub>2</sub>) el cual es fijado por las bacterias y transferido a las plantas a través de la fijación simbiótica de nitrógeno. Las bacterias *Rhizobium* viven en la mayoría de los suelos, sin embargo es necesario que sean aisladas, caracterizadas y seleccionadas para ser usadas en un inoculo que contengan bacterias altamente eficientes para que las plantas se vean beneficiadas de una mayor capacidad de fijación de N<sub>2</sub> aumentando su crecimiento y productividad, sobretodo en condiciones de suelos de bajo contenido de N y baja fertilización con este elemento. Las especies más importantes en la simbiosis frijol- *Rhizobium* son *R. etli*, *R. tropici* y *R. leguminosarum*; y se pueden incrementar la eficiencia simbiótica mediante la selección de cepas de *Rhizobium* y variedades de frijol más eficientes. Adicionalmente, la preparación, la conservación y el uso adecuado del inoculante, son aspectos importantes que determinan la efectividad de la tecnología a nivel de campo y los beneficios potenciales al agricultor.



# REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Guachambala M.S. y J.C. Rosas. 2010. Caracterización molecular de accesiones cultivadas y silvestres de frijol común de Honduras. *Agronomía Mesoamericana* 21(1):1-10.
- Hocdé, H.; J.C. Rosas y R. Araya. 2010. Co-Desarrollo de Variedades entre Agricultores, Científicos y Profesionales, Biodiversidad y otras cosas: Enseñanzas de un Programa Centroamericano de Gestión Local de la Biodiversidad y de Fitomejoramiento Participativo. ISDA 2010, Montpellier, Francia, 13p.
- Rosas, J.C. 2005. Principios de Genética y Mejoramiento de Plantas. Notas para el Curso de Genética y Fitomejoramiento. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Imprenta Litocom, Segunda impresión de la 2da. Edición, Tegucigalpa, Honduras, 92p.
- Rosas, J.C. 2003. El Cultivo del Frijol Común en América Tropical. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Imprenta Litocom, Tegucigalpa, Honduras, 57p.
- Rosas, J.C. 2003. Recomendaciones para el Manejo Agronómico del Cultivo del Frijol. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Imprenta Litocom, Tegucigalpa, Honduras, 33p.
- Rosas, J.C.; M. Guachambala y R. Ramos. 2009. Guía ilustrada para la Descripción de las Características de Variedades del Frijol Común. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, 22p.
- Rosas, J.C.; O. Gallardo y J. Jiménez. 2003. Mejoramiento genético del frijol común mediante enfoques participativos en Honduras. *Agronomía Mesoamericana* 14 (1):1-9.
- Rosas, J.C. 2001. Aplicación de metodologías participativas para el mejoramiento genético del frijol común en Honduras. *Agron. Mesoamericana* 12 (2): 219-228.
- Somasegaran P. y H.J. Hoben (1985). *Methods in Legume-Rhizobium Technology*. University of Hawaii, EE-UU., 450 p.

## **Créditos**


Revisión de texto: Sergio Romeo Alonzo

Viviana López López

Fotografías: Juan Carlos Rosas

Diseño, ilustración y diagramación: Giovany Sosa

**Guatemala, Marzo 2012**



Este documento fue elaborado con el apoyo del Programa Colaborativo de Fitomejoramiento Participativo en Mesoamérica y con el financiamiento del Fondo de Desarrollo Noruego



**UTVIKLINGSFONDET**  
THE DEVELOPMENT FUND • EL FONDO DE DESARROLLO



[www.programafpma.com](http://www.programafpma.com)

9a. Av. 7-82 zona 1 Chiantla, Huehuetenango, Guatemala

Tel/Fax (502) 77645332 - 77645333

