



Curso de Frijol
(1)

Febrero 1983

Conceptos Básicos de Genética de Frijol

Jeremy H. C. Davis

INTRODUCCION

El frijol Phaseolus vulgaris, es un diploide con 22 cromosomas.. Normalmente se autopoliniza, con solo 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, 1965) 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 cruza entre dos plantas de frijol diferentes, se dice que la planta es heterocigota. Cuando una planta heterocigota se distingue de una homocigota, uno de los genes del par alélico es dominante.

1. Dominancia - algunos ejemplos:

- 1) 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 solo 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 (F_1) es indeterminado. Cuando 100 semillas de este híbrido (F_2) 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) o cuando son heterocigotas (Fin fin). Las plantas son determinadas solo cuando son homocigotas por el alelo recesivo (fin fin).

- ii) 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 (Moh y Alan, 1974).
- iii) 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 F_1 entre A y B (Fin fin Sh sh Ii) será idéntico a la variedad B; pero en F_2 , 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 F_3 . Estas progenies segregantes pueden ser eliminadas en F_3 , dejándonos con una nueva línea mejorada que combina los mejores caracteres de ambos padres.

Los conocimientos de genética, por lo tanto, nos han permitido predecir que necesitamos por lo menos 64 plantas en la generación F_2 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 F_2 .

Ahora imaginemos un programa de mejoramiento en el cual más de tres caracteres (genes) tienen que considerarse. El número de plantas necesarias en F_2 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.

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 | | ∅ | | X | | X | | X |
| FinShi | | | | | | | | |
| Finshi | | X | | | | X | | |
| finShI | | | | | | | | |
| finshI | | X | | X | | | | |
| finShi | | | | | | | | |
| finshi | | X | | | | | | |

X = combinación deseable de caracteres.

∅ = objetivo de mejoramiento

Fin = hábito de crecimiento indeterminado

Genes = Sh = testa brillante

I = resistente a BCMV (hipersensitivo)

2. Ligamiento - algunos ejemplos

Desafortunadamente el ligamiento 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.

- i) 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 sustancia 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 ligamiento 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).
- ii) 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).

Cuadro 2. El híbrido F_2 entre Michelite y Michigan Dark Red Kidney (Cárdenas, Andersen, Adamas, 1964).

| Clase de reacción | | Relación teórica | No. 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 |

Si quisiéramos mejorar una variedad con un tipo de planta y tipo de grano de Dark Red Kidney, pero con resistencia a antracnosis de Michelite, el ligamiento 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 F_2 , ya que los ligamientos reducen el número de plantas recombinantes.

3. Efecto de la 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 cruce 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 |
| F ₁ | 0 | 100 | 0 |
| F ₂ | 25 | 50 | 25 |
| F ₃ | 37.5 | 25 | 37.5 |
| F ₄ | 43.75 | 12.5 | 43.75 |
| F ₅ | 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 F₅, 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:

$$\underline{h^2} = \frac{VA}{Vp}$$

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 solo 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 (h^2) y se calcula la diferencia entre el rendimiento promedio de las plantas seleccionadas y el rendimiento promedio de cada población (S). Por definición $R = h^2 \times S$. Utilizando esta fórmula, se puede predecir el rendimiento promedio de las selecciones en F_4 , 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 solo en un gen en cada cromosoma (esto es para 11 genes en total), necesitamos llegar mínimo a la población F_2 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 menos (como mínimo una población de 24 plantas en $F_2 = 1 / (.25 + 0.5)^{11}$; 176 plantas en $F_3 = 1 / (.375 + .25)^{11}$; 561 plantas en $F_4 = 1 / (.4375 + .125)^{11}$; 2048 plantas en $F_\infty = 1/5^{11}$. (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.

Referencias

- CARDENAS, F.; ADAMAS, M. W.; and ANDERSEN, A. (1964). The genetic systems for reaction of field beans (Phaseolus vulgaris) to infection by three physiologic races of Colletotrichum lindemuthianum. Euphytica 13, 178-186.
- 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.
- 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.
- DRIJFHOUT, E. (1978). Genetic interaction between Phaseolus vulgaris and bean common mosaic virus. Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen, Holland.
- LAMPRECHT, H. (1934). Zur Genetik von Phaseolus vulgaris, S. Über Infloreszenztypen und ihre Vererbung. Hereditas 20, 71-93.

- 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.
- PRAKKE, R. (1970). Inheritance of colour in Phaseolus vulgaris L. II. A critical review. *Medelingen Landbouwhogeschool Wageningen*. 70, 1-40.
- YARNELL, S. H. (1965). Cytogenetics of the vegetable crops. IV. Legumes. *Bot. Rev.* 31, 247-331.

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

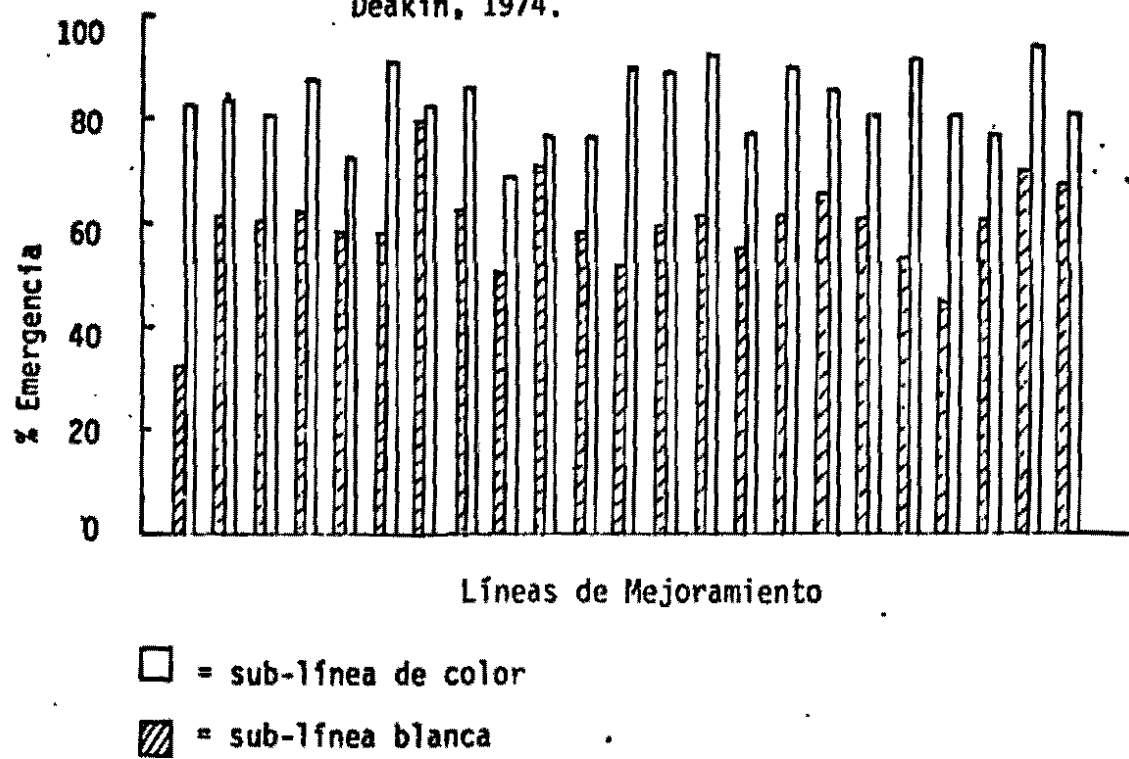
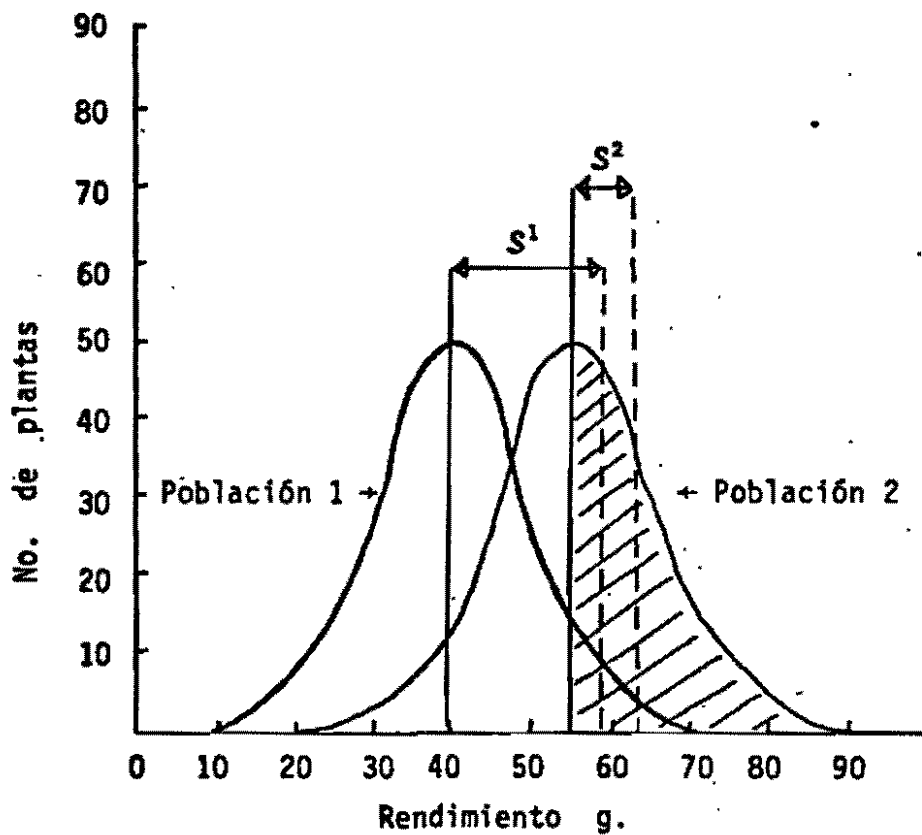


Figura 2. Curvas de distribución normal de 2 líneas seleccionadas en F_3 . S = diferencia entre promedio de plantas seleccionadas y el promedio de la población. R = Respuesta a selección. Heredabilidad (h^2) = 0.3



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