

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 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 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

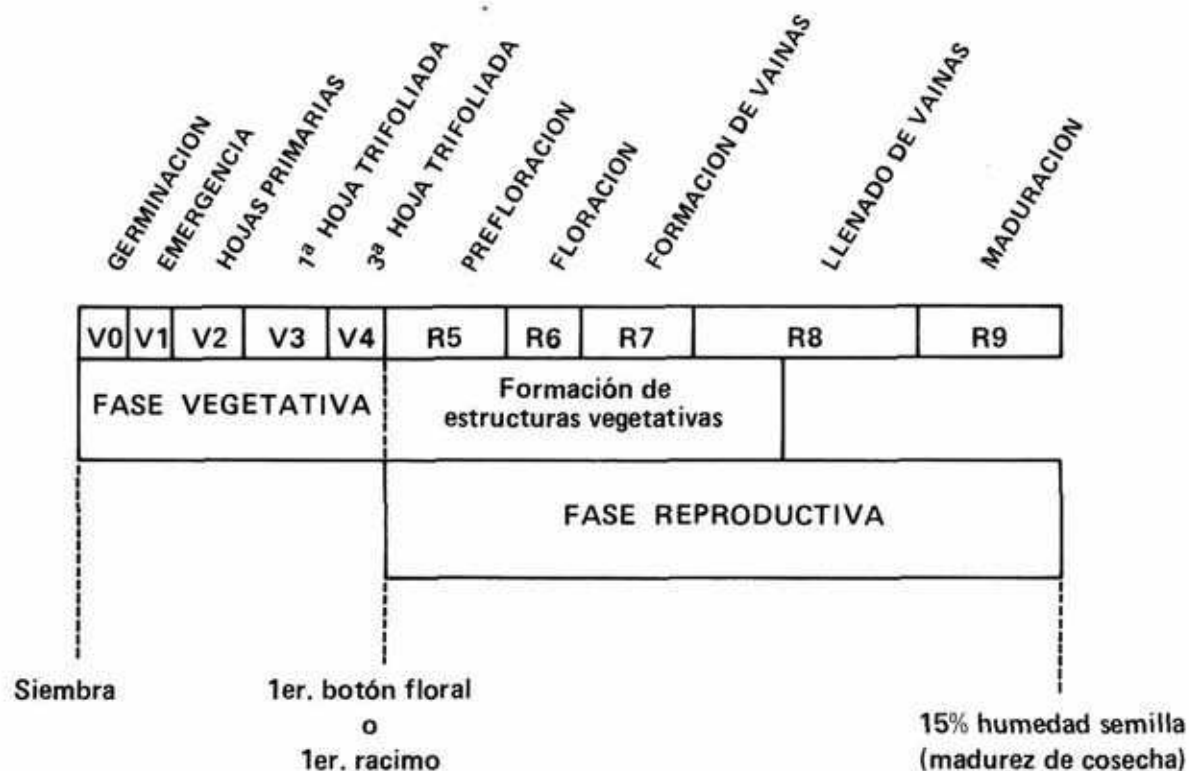


Figura 1. Etapas de desarrollo de una planta de frijol (variedad Porrillo Sintético, hábito II, en condiciones de Palmira, Colombia).

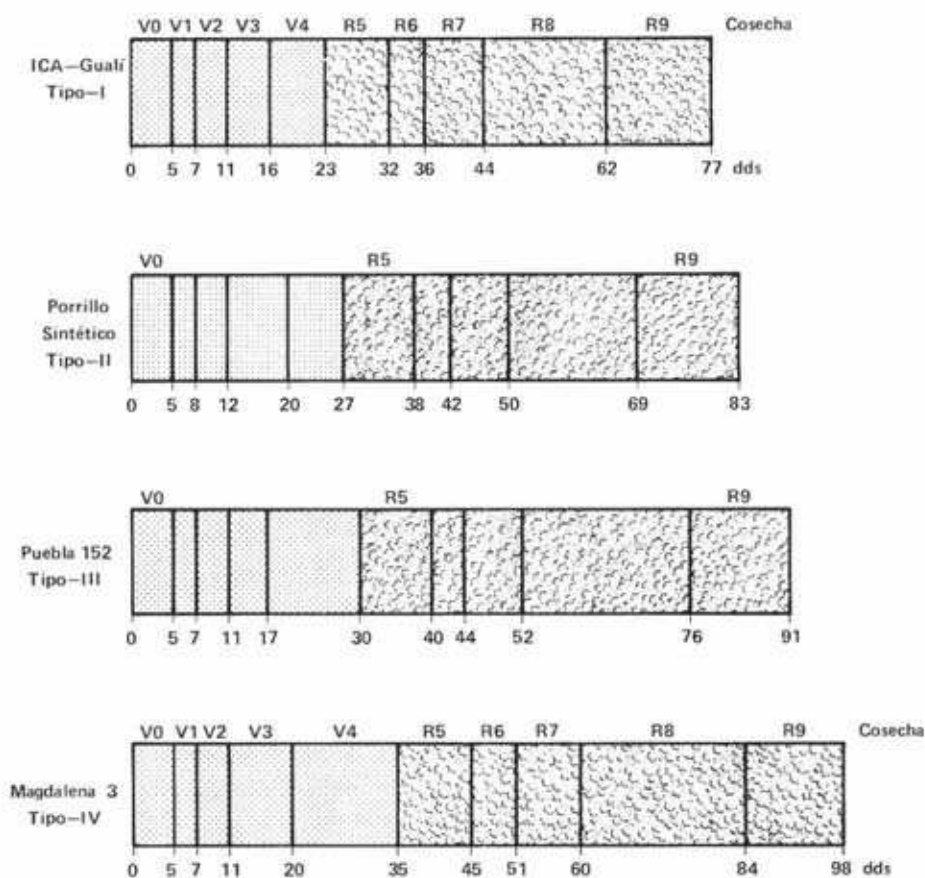


Figura 2. Días después de la siembra para las etapas de desarrollo en cuatro variedades de frijol de los distintos tipos de hábito de crecimiento bajo las condiciones del CIAT-Palmira (24° C).

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 - Gualf	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.

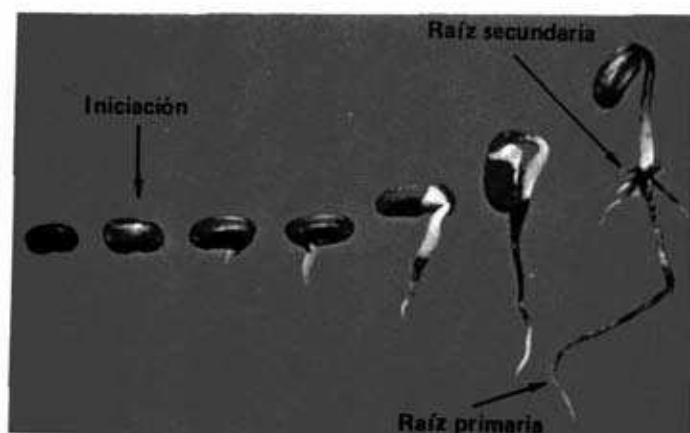


Figura 3.
Etapa V0; germinación.

Figura 4.
Cotiledones de la planta
al nivel del suelo; inicia-
ción de la Etapa V1.

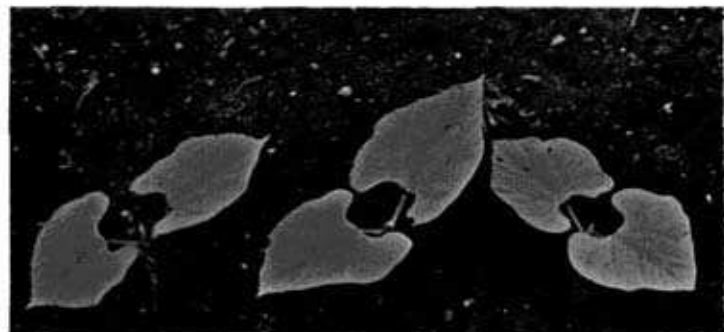


Figura 5.
Iniciación de la
Etapa V2; las ho-
jas primarias es-
tán desplegadas.

En esta etapa los cotiledones pierden su forma arqueándose y arrugándose. 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 más 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).

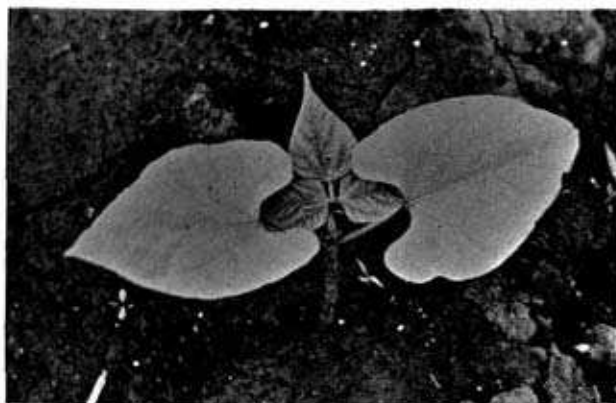


Figura 7.
Iniciación de la Etapa V3; la primera hoja trifoliada está desplegada.

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

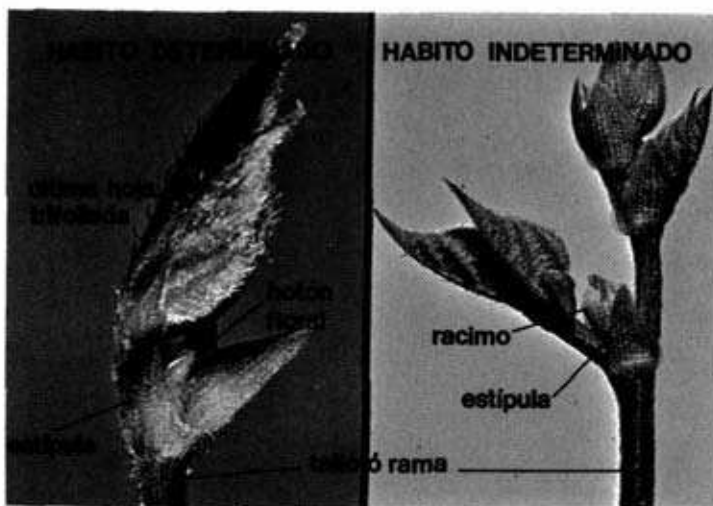
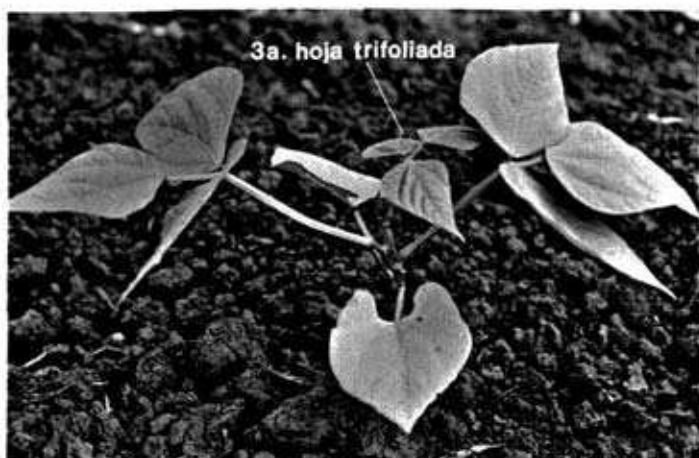


Figura 9.
Iniciación de la Etapa R5 al aparecer los primeros botones florales en una variedad determinada y los primeros racimos en una variedad de hábito de crecimiento indeterminado.

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.

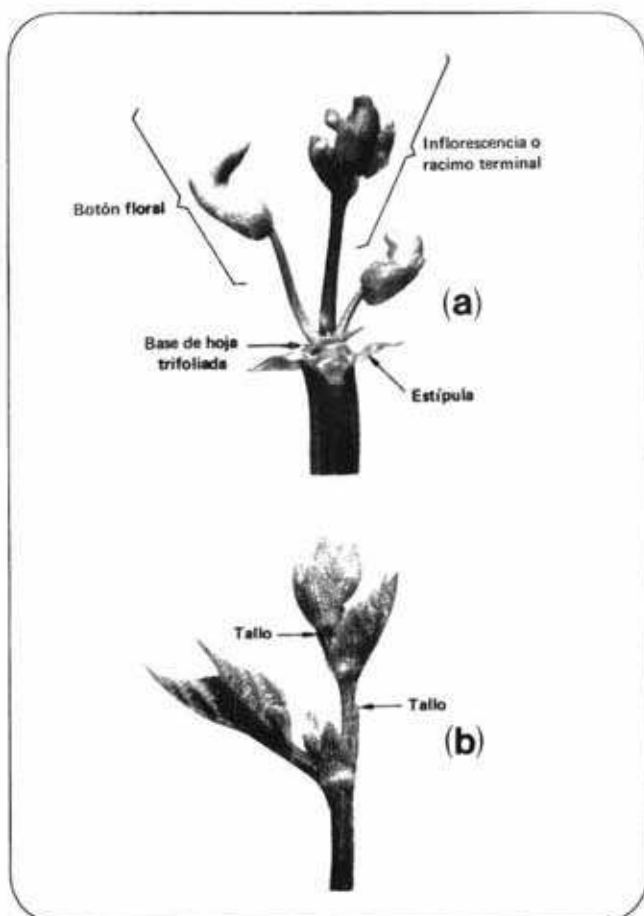


Figura 10. Desarrollo de la parte terminal del tallo o de una rama; (a) en una variedad de hábito de crecimiento determinado; y (b) en una variedad de hábito de crecimiento indeterminado.

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).

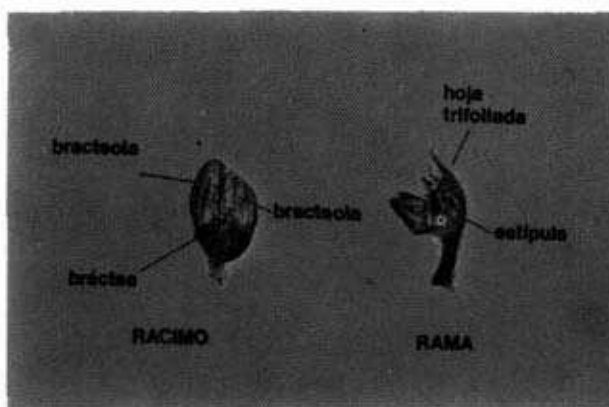


Figura 11. Diferencias entre un racimo y una rama incipiente.

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 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 (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.

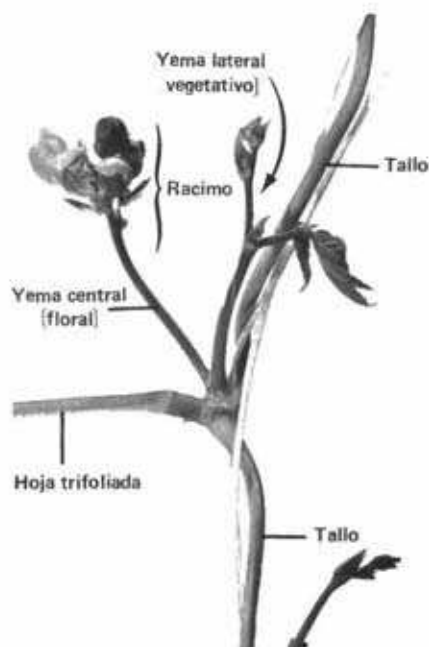


Figura 12. Desarrollo del complejo axilar de una planta de hábito de crecimiento indeterminado.

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 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 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.

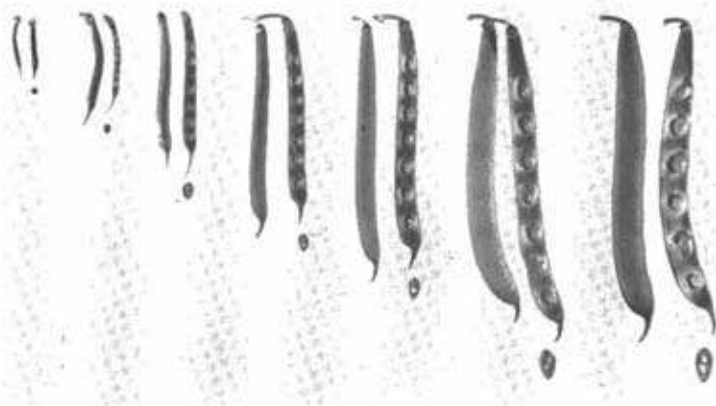


Figura 15. Desarrollo de las valvas.

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.

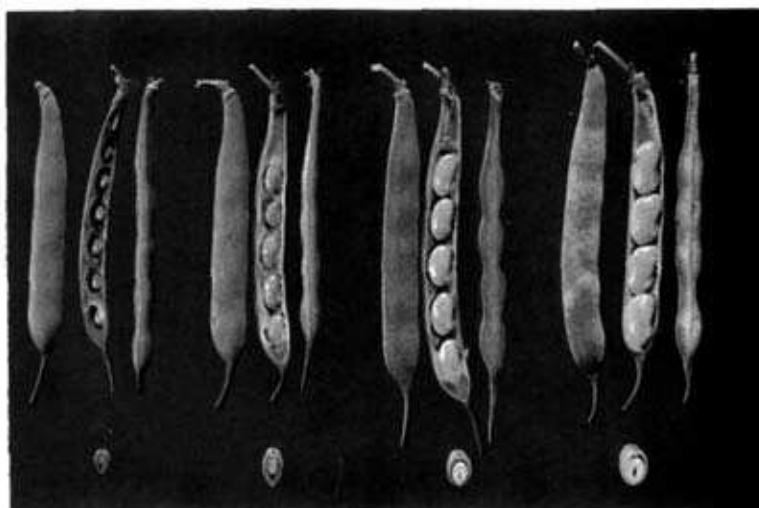


Figura 16. Etapa R8: ocurre el proceso de llenado de la vaina.

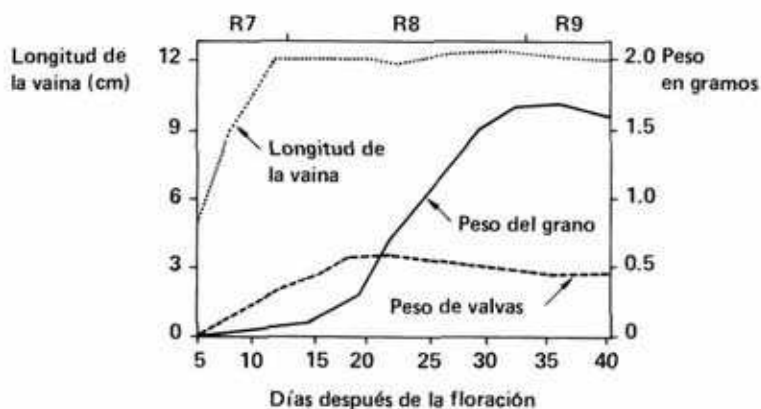


Figura 17. Tamaño, peso de las valvas y peso del grano en la variedad Porrillo Sintético.

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.

