

26203

CONCEPTOS BASICOS DE FISILOGIA DEL FRIJOL

Jeffrey W. White

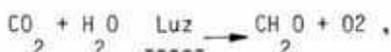
Introducción

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

A- PROCESOS ELEMENTALES

Fotosíntesis

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



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

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

$$2 \text{ g/h/m}^2 \times 12 \text{ horas/día} = 24 \text{ g/día/m}^2 \text{ de hojas}$$

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

$$24 \text{ g/día/m}^2 \text{ de hojas} \times 3 \text{ m}^2 \text{ de hojas/m}^2 \text{ de plantas} = 72 \text{ g/día/m}^2 \text{ de plantas.}$$

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

$$72 \text{ g de CO}_2 \times 0.68 \text{ g de CH}_2\text{O/g de CO}_2 = 49 \text{ g de CH}_2\text{O/día/m}^2 \text{ de plantas.}$$

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

$$49 \text{ g CH}_2\text{O/día} \times 80 \text{ días} = 4000 \text{ g/ciclo/m}^2 \text{ de plantas} = 40.000 \text{ kg/ha/ciclo.}$$

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

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

Respiración

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

El componente de mantenimiento corresponde a todas las actividades necesarias para mantener la planta, sin considerar ni crecimiento ni degradación de tejidos. Se supone que esto representa la respiración resultante de los procesos necesarios para mantener membranas y renovar enzimas, y es comparable al metabolismo basal de fisiología animal. La tasa de respiración para mantenimiento varía según el tipo de tejido y es muy sensible a temperatura. Datos para el frijol son escasos, pero los de Austin y MacLean (1972) presentados en la Figura 1, sugieren que tasas de 2 a 10 mg CO₂/hora/g tejido son típicas de este cultivo.

Es fácil ver la necesidad de considerar un componente de respiración para crecimiento cuando uno recuerda que para cualquier proceso de síntesis en base a carbohidratos, hay una pérdida de energía normalmente asociada con la liberación de CO₂. La cantidad de respiración dependerá del compuesto que está siendo sintetizado por la planta. Los valores estimados por ecuaciones de biosíntesis para varias clases de compuestos son:

Celulosa y almidones	0.86 g producido/g CH ₂ O utilizado
Aceites	.36
Lignina	.46
Proteína	.47

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

Hoja	0.67 g/g CH ₂ O
Tallo	.76
Raíz	.78
Vaina	.66

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

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

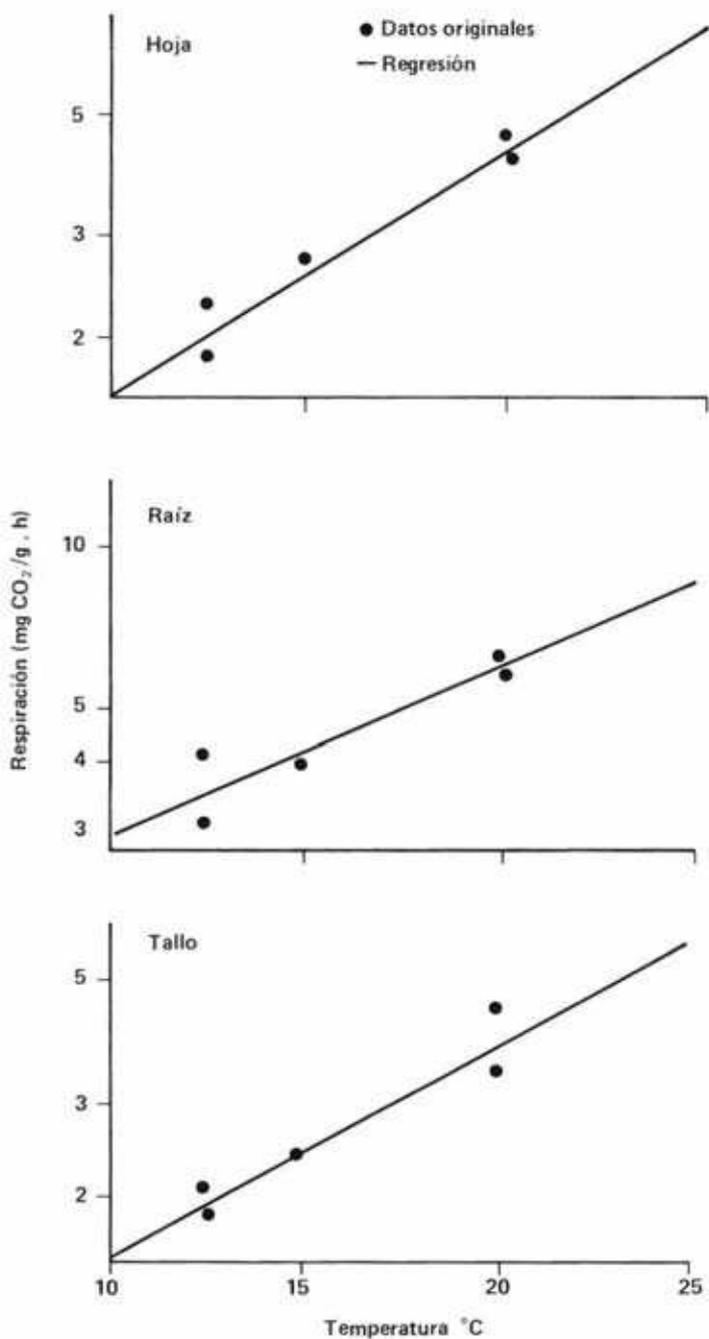


Figura 1. Tasa de respiración de tres clases de tejidos, en relación de temperatura.

Distribución de materia seca

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

1. Las diferentes partes de la planta compiten por recursos que casi siempre están en cantidades limitantes.
2. Diferentes órganos tienden a competir por estos recursos según ciertas prioridades. Los tejidos reproductivos (flores y vainas) tienen prioridad máxima; les siguen las hojas y raíces, y finalmente, los tallos. El proceso de fijación de nitrógeno que se da en determinadas circunstancias, requiere bastante energía y tiene la misma prioridad que las raíces.
3. Las prioridades también dependen de los pesos relativos de los tejidos. Si un cultivo tiene un desarrollo foliar demasiado abundante, éste puede provocar una demanda suficientemente alta como para inhibir el crecimiento reproductivo.
4. Bajo condiciones de demanda muy alta, puede ocurrir remoción de nutrientes de un órgano hacia otro. Un ejemplo común es la remoción de carbohidratos de tallos hacia vainas.

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

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

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

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

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

$$\begin{array}{l} \text{Peso de una semilla} \times \\ \text{Semillas/vaina} \quad \times \\ \text{Vainas/nudo} \quad \times \\ \text{Nudos/m}^2 \end{array} = \text{Rendimiento}$$

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

Efectos del ambiente

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

Temperatura

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

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

Luz

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

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

$$I = I_0 \times e^{-K \times L \times 0.86}$$

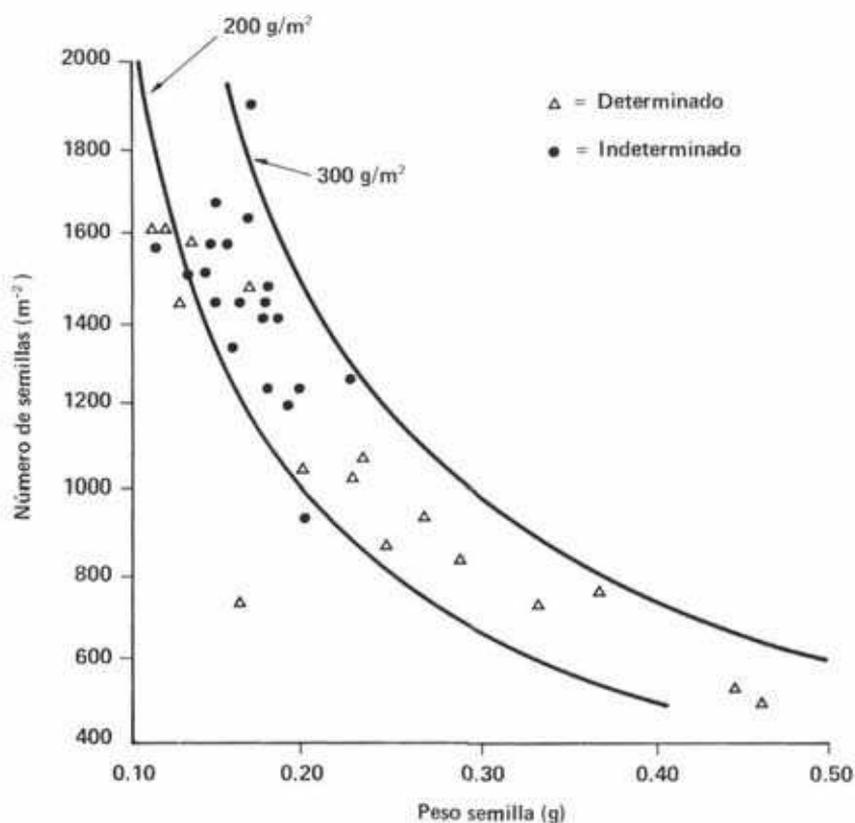


Figura 2. Compensación entre componentes de rendimiento, 38 líneas. Las curvas representan niveles de rendimiento constante.

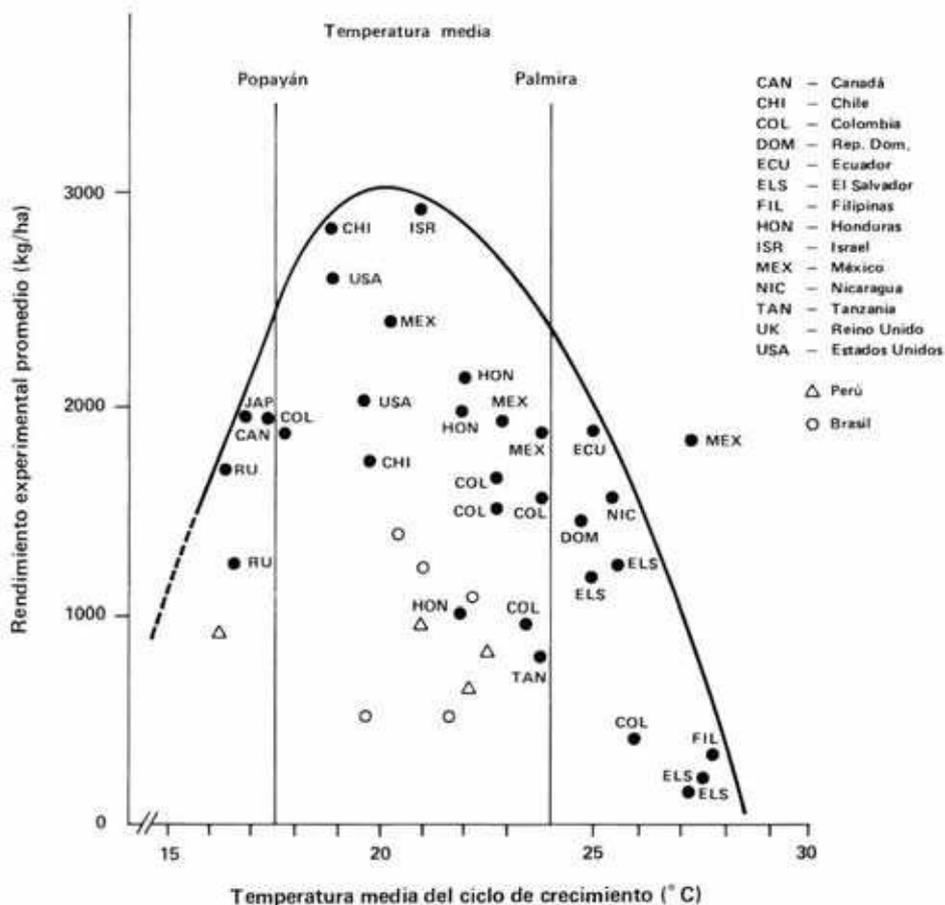


Figura 3. Rendimiento promedio de 20 accesiones comunes, en el IBYAN de 1976, versus la temperatura media del ciclo de crecimiento para cada una de las 41 localidades de las cuales se dispone de datos sobre temperatura. Los datos para Brasil y Perú se identifican separadamente. Chile e Israel presentan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

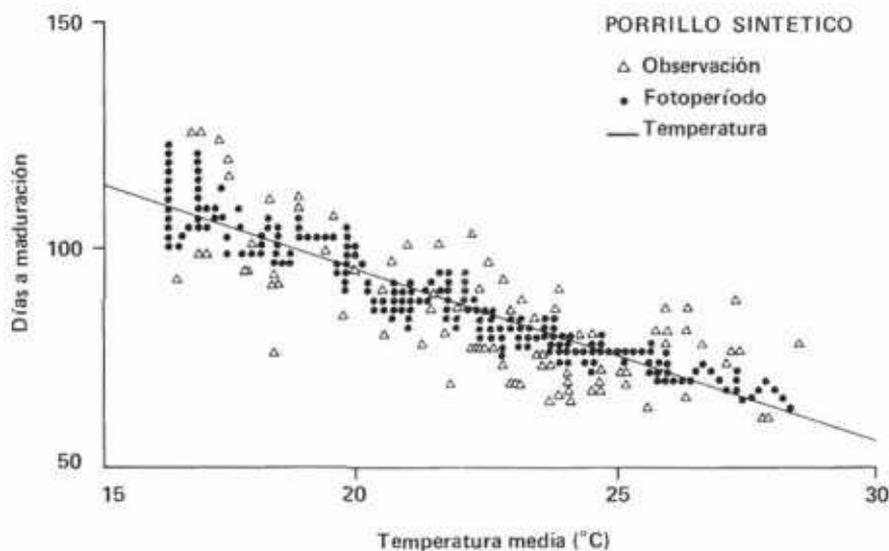
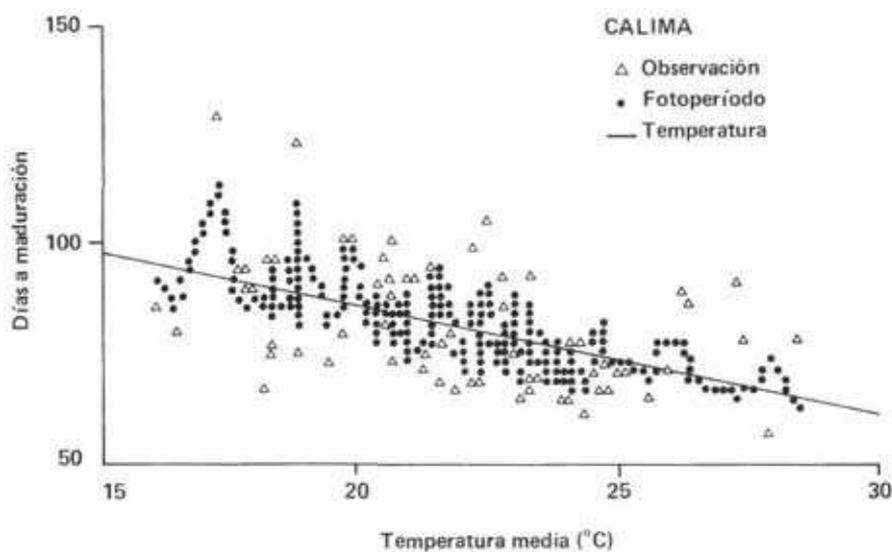


Figura 4. Relación entre temperatura media y días a maduración. El modelo de temperatura indica el efecto predominante de temperatura en determinar tiempo a madurez. El modelo de fotoperíodo indica efectos combinados de fotoperíodo y temperatura.

donde I es la intensidad después de que la luz ha penetrado en un área L de hojas, I₀ es la intensidad de luz por encima de la copa, y K es una constante característica de la estructura de la copa. En el caso del frijol, esta relación tiende a ser teórica porque la orientación de las hojas es regulada por la movilidad de los folíolos, y porque la estructura de la copa puede ser no-randomizada debido a factores como cultivos asociados, baja densidad de plantas y volcamiento.

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

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

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

Agua

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

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

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

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

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

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

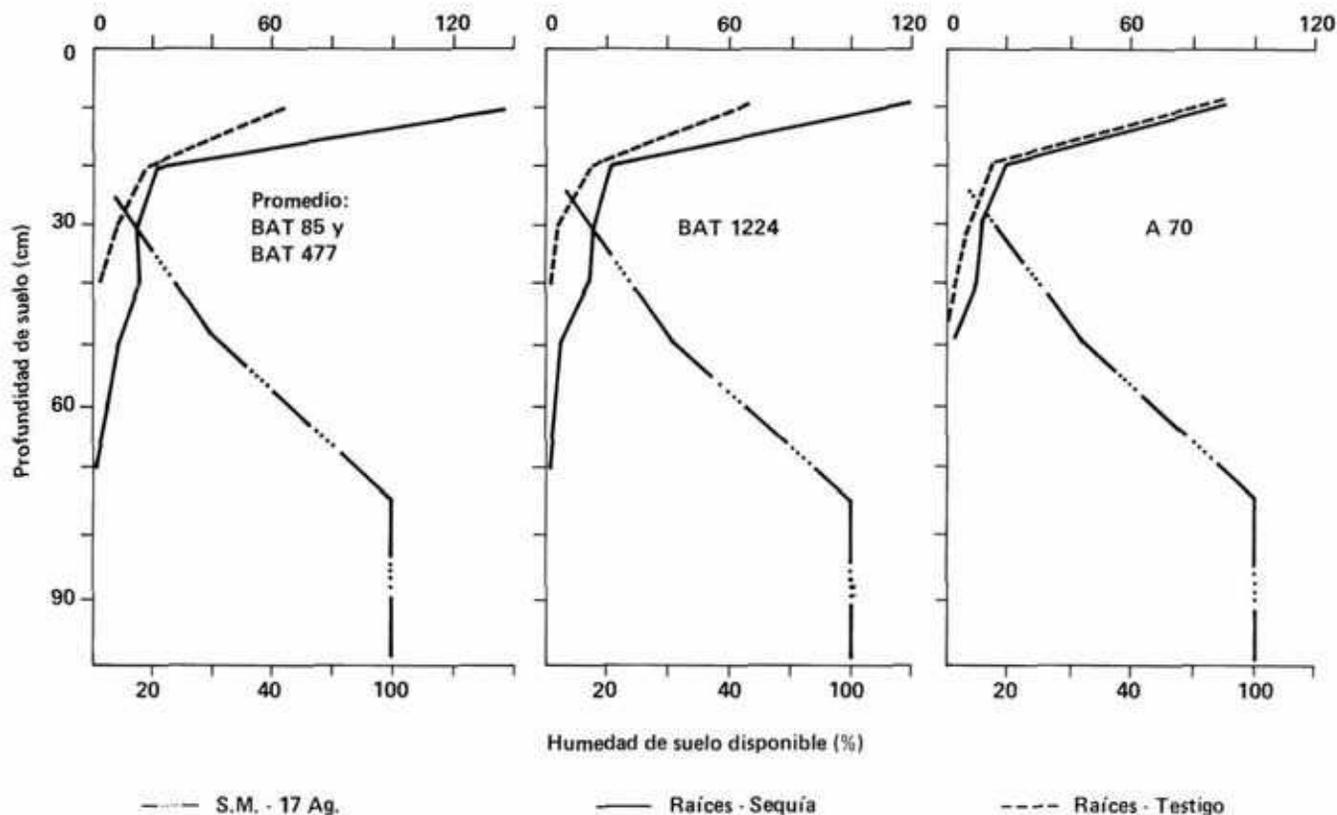


Figura 5a. Relación entre crecimiento radicular y disponibilidad de agua para dos líneas tolerantes a sequía (BAT 85 y BAT 477) y dos susceptibles (BAT 1224 y A 70). Palmira.

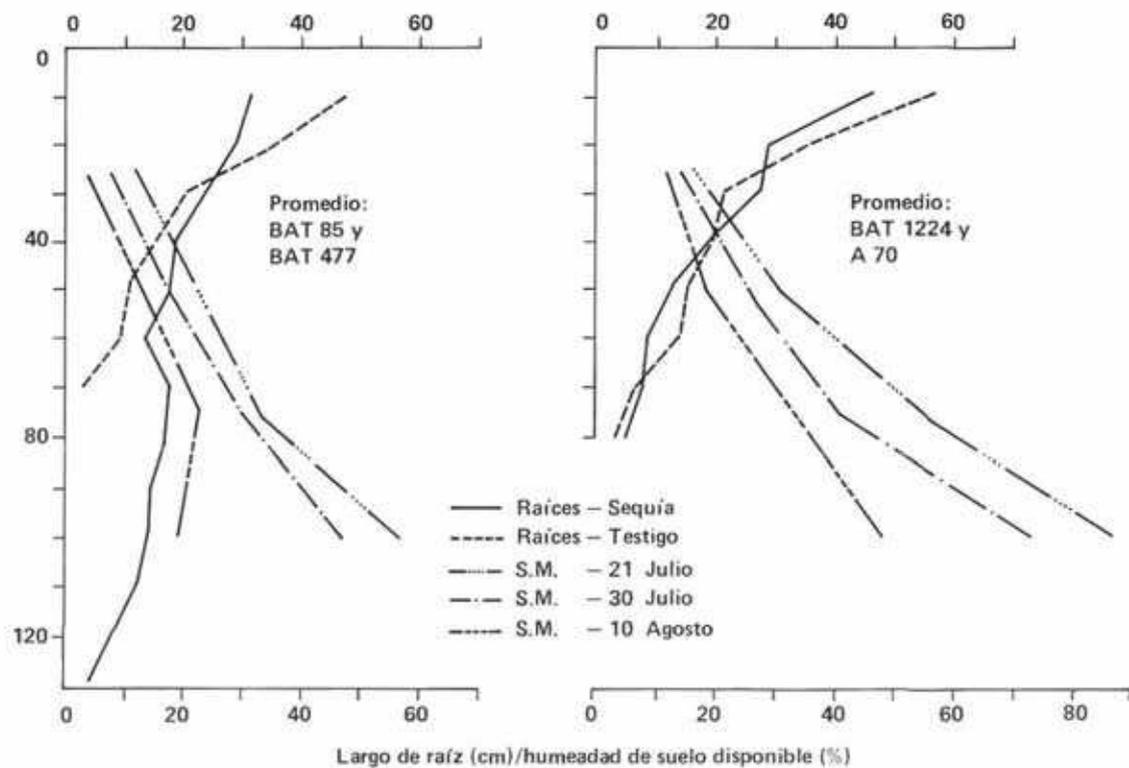


Figura 5b. Relación entre crecimiento radicular y disponibilidad de agua para dos líneas tolerantes a sequía (BAT 85 y BAT 477) y dos susceptibles (BAT 1224 y A 70). Quilichao.

Síntesis final

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

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

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

B- DATOS FISIOLÓGICOS

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

Análisis de crecimiento

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

El muestreo

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

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

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

** Altamente significativo

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

Análisis de la muestra

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

Determinación del área foliar

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

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

Análisis de los datos

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

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

1. Índice de Área Foliar (IAF) = Área Foliar / Área de muestra
Normalmente no tiene unidades porque las unidades de área se cancelan.
2. Duración de Área Foliar (DAF) = Suma de IAF durante todo el ciclo del cultivo. Se puede estimar usando el área bajo la curva de una gráfica de IAF vs tiempo.
3. Tasa de Crecimiento del Cultivo (TCC) = Tasa de cambio en peso seco del cultivo, normalmente expresada como g/dfa/m². Una aproximación para TCC es:

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

donde los índices suscritos indican dos fechas de muestreo.

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

Datos auxiliares

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

1. Altura de copa: Medida desde el nivel del suelo hasta la altura promedio de la copa (o sea, la altura máxima ignorando variaciones debido a guías y otras irregularidades).
2. Cobertura de copa: El porcentaje del terreno cubierto por el cultivo.
3. Número de nudos en el tallo principal y en las ramas, número de ramas.
4. Número de flores abiertas, número de vainas (normalmente se cuentan las vainas mayores de 2.5 cm de largo).
5. Largo del tallo principal, largo de entrenudos individuales ó conjuntos de entrenudos (p.e. del primero hasta el quinto).

Rendimiento

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

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

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

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

Componentes de rendimiento

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

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

Datos ambientales

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

Temperaturas máxima y mínima diarias

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

Precipitación

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