

LA FISILOGIA DEL FRIJOL BAJO CONDICIONES DE SEQUIA

Abelardo Núñez Barrios¹

INTRODUCCION

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) tiene una pobre reputación como cultivo, tanto por su bajo potencial de rendimiento como por su escasa tolerancia al estrés causado por sequía, excesos de agua o salinidad.

Las limitaciones ambientales, como la escasez de humedad, restringen severamente la producción de este cultivo en zonas de baja precipitación. Tal es el caso del Altiplano del Centro-Norte de México, región donde se cultivan anualmente más de un millón de hectáreas de frijol con rendimiento promedio de 300 kg/ha, lo que representa más del 60% del total de la superficie sembrada en el país con este cultivo y poco menos del 50% del volumen total de producción.

Algunas de las opciones que se han propuesto para aumentar la productividad del frijol bajo condiciones de sequía, han sido la selección y mejoramiento de variedades adaptadas a esas condiciones de baja precipitación, y la generación de prácticas de manejo orientadas a incrementar la captación y retención de agua en el suelo. No obstante, los mecanismos fisiológicos de la planta relacionados con su adaptación a condiciones de sequía, que además varían entre zonas agroclimáticas, no son bien conocidos.

Por ejemplo, los programas de mejoramiento genético han basado la selección de materiales en aquellos genotipos que alcanzan un mayor rendimiento en un ambiente y tiempo dados; sin embargo, en la zona semiárida tanto la distribución de lluvias como la humedad disponible en el suelo varían considerablemente de un año a otro y de una región a otra. Esta variabilidad, cuando se seleccionan genotipos únicamente en base a rendimiento de grano, promueve la elección de material genético con un comportamiento medio, lo que implica una menor capacidad de manifestar un alto potencial de rendimiento en ambientes específicos.

Para identificar, dentro de la amplia variabilidad genética para frijol que se tiene disponible en México, los genotipos con alto potencial de rendimiento bajo condiciones limitantes de humedad, se requiere de un entendimiento claro de la interacción de las condiciones de clima y suelo con los procesos fisiológicos que determinan y regulan la expresión del rendimiento bajo esas condiciones.

El enfoque que se pretende dar en los estudios de Fisiotecnia relacionados con sequía en frijol, es a nivel de cultivo donde se integren los caracteres fenológicos, morfológicos, fisiológicos y bioquímicos que, bajo diferentes condiciones agroclimáticas, indiquen los mecanismos de adaptación que permiten a la planta obtener una óptima acumulación de materia seca y un máximo potencial de rendimiento.

¹ Investigador en Fisiología de Cultivos. INIFAP. CIFAP-Dgo. Apartado Postal 186. C.P. 34000, Durango, Dgo.

FENOLOGIA

Entre los primeros factores a considerar para mejorar el rendimiento del frijol bajo sequía, están los estadíos fenológicos en relación a la longitud de la estación de crecimiento y a la distribución de lluvias durante el ciclo del cultivo. Por ejemplo, variedades de ciclo intermedio tienden a rendir más que las tardías cuando la estación de crecimiento es menor de 110 días y la sequía se presenta en forma terminal como se muestra en la Figura 1.

Por otro lado, los genotipos tardíos pueden rendir mejor cuando la estación de crecimiento es mayor de 120 días y la sequía se presenta al inicio del ciclo de cultivo. Además, si las temperaturas lo permiten, estas variedades tardías tienden a rendir más en suelos profundos con mayor capacidad de almacenamiento de agua.

Desafortunadamente, los suelos en la zona semiárida donde se cultiva frijol, son en general someros con profundidades que van de 20 a 100 cm. La distribución de la precipitación, aunque unimodal, presenta períodos de sequía que van de 5 a 20 días, lo que dificulta hacer coincidir las etapas fenológicas de la planta más sensibles a la sequía con períodos donde la disponibilidad de agua sea mayor. En este tipo de sequía intermitente, resulta importante el desarrollo de plasticidad fenológica en las plantas. Algunos genotipos, como los llamados Ojo de Cabra, aceleran la madurez en años secos; otros, como algunos Bayos, tienden a reanudar la floración y producir nuevas vainas y hojas cuando, al final de un período de sequía, vuelven a tener humedad disponible en el sistema.

MORFOLOGIA

Dentro de los aspectos morfológicos que se manifiestan más evidentes bajo condiciones de sequía, se tiene el tamaño y forma de hojas y tallos, y los patrones de crecimiento de la raíz.

Los déficits hídricos durante la etapa vegetativa reducen significativamente la expansión de hojas, como se muestra en la Figura 2.

La reducción del área foliar, y su acelerada senescencia, son respuestas frecuentes del frijol sometido a condiciones deficitarias de humedad, que tienden a aumentar la sobrevivencia de la planta; ello es porque al decrecer el área transpiratoria, se conserva por más tiempo el agua en el suelo. No obstante, la pérdida en área foliar puede afectar la productividad del frijol, sobre todo cuando el índice de área foliar no llega a 3, ya que también disminuye la intercepción de radiación y en consecuencia, se reduce la producción de materia seca. En frijol, Laing *et al.* (1983) encontraron que la duración del área foliar estuvo altamente correlacionada con un mejor rendimiento, cuando la sequía fue moderada.

Otra característica morfológica relacionada con la intercepción de la energía radiante, es aquella que permite los movimientos paraheliotrópicos de la hoja cuando la planta sufre déficits hídricos. Estos movimientos ayudan a evitar la incidencia directa de radiación y bajan la temperatura del follaje en frijol (O' Toole *et al.*, 1977). Al comparar dos variedades contrastantes en este cultivo, Núñez (1991a) observó que la susceptible a sequía fue la primera en activar el mecanismo paraheliotrópico, en comparación con la tolerante que

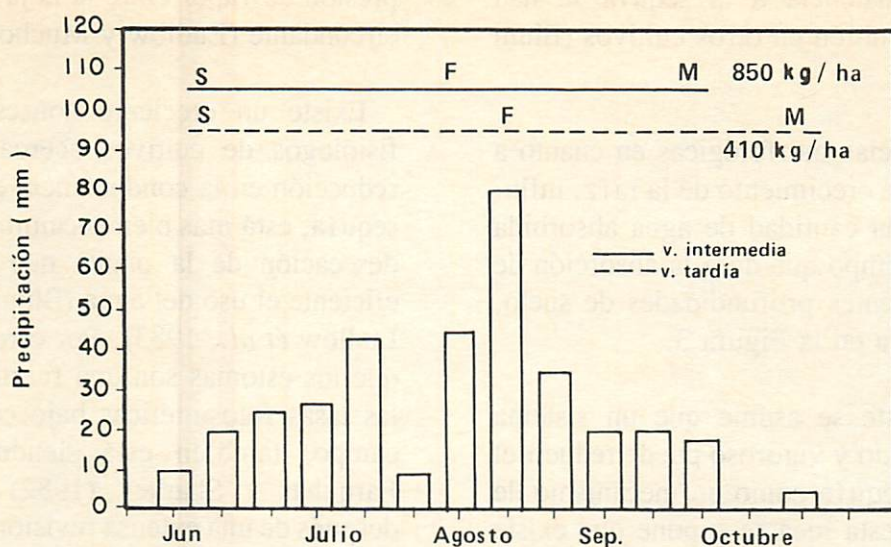


Figura 1. Precipitación decenal y rendimiento de dos variedades de frijol con diferente ciclo vegetativo. Pabellón, Ags.

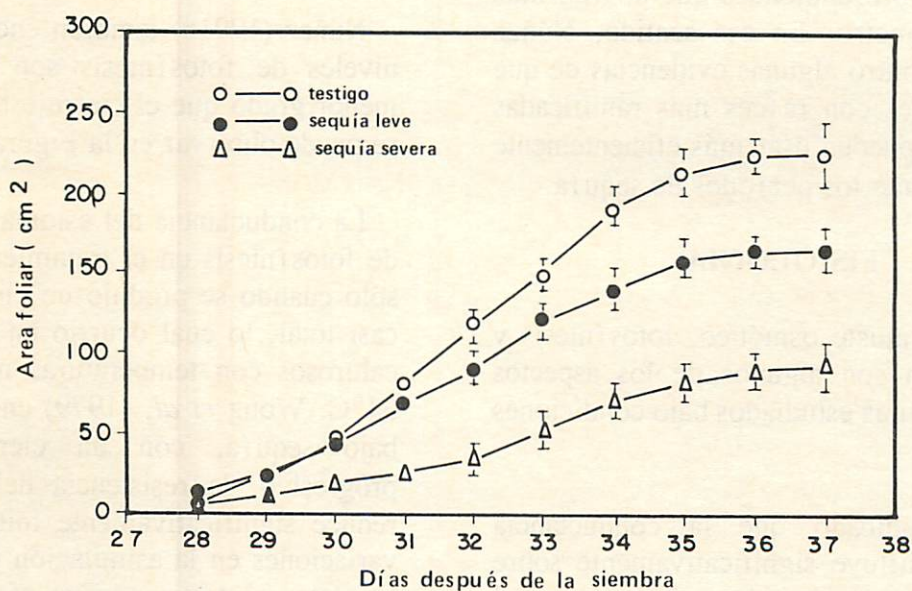


Figura 2. Expansión foliar de la séptima hoja trifoliada de frijol bajo diferentes condiciones de sequía.

continuó interceptando radiación con una orientación normal de sus hojas. Correlaciones negativas entre los movimientos de la hoja y la resistencia a la sequía se han encontrado también en otros cultivos (Blum *et al.*, 1981).

Las diferencias morfológicas en cuanto a los patrones de crecimiento de la raíz, influyen tanto en la cantidad de agua absorbida como en el tiempo que dura la absorción de agua en diferentes profundidades de suelo, como se ilustra en la Figura 3.

Generalmente se asume que un sistema radical profundo y vigoroso puede reducir el efecto de la sequía como un mecanismo de evasión; con esta idea se supone que existe más agua disponible a mayores profundidades del suelo y que ésta es restituida año tras año. Sin embargo, en muchas zonas semi-áridas éste no es el caso, y la mayor parte del agua disponible para el cultivo se encuentra a profundidades que no van más allá de un metro. En ese sentido, Núñez (1991a) encontró algunas evidencias de que las variedades con raíces más ramificadas son las que pueden usar más eficientemente el agua durante los períodos de sequía.

FISIOLOGIA

Estomas, ajuste osmótico, fotosíntesis y transpiración son algunos de los aspectos fisiológicos más estudiados bajo condiciones de sequía.

Se ha indicado que la conductancia estomatal, influye significativamente sobre las tasas de transpiración y fotosíntesis al someter las plantas a estrés hídrico (O'Toole *et al.*, 1977). Al respecto, algunos investigadores sugieren que un incremento en la eficiencia de transpiración a nivel de campo raramente ocurre con un aumento en la resis-

tencia estomatal, debido a que este cierre promueve el incremento de la temperatura foliar, aumentando así el gradiente de presión de vapor entre la hoja y el ambiente circundante (Ludlow y Muchow, 1989).

Existe un creciente consenso entre los fisiólogos de cultivos acerca de que una reducción en la conductancia estomatal bajo sequía, está más bien encaminada a evitar la desecación de la planta que a hacer más eficiente el uso del agua (Blum *et al.*, 1981; Ludlow *et al.*, 1983). Por otro lado, la idea que los estomas son una fuerte limitante de las tasas fotosintéticas bajo condiciones de campo, también está siendo impugnada. Farquhar y Sharkey (1982) concluyeron, después de una extensa revisión de literatura, que aparte de algún efecto hormonal que promueve el rápido cierre de los estomas, la conductancia estomatal es rara vez la principal causa de que las tasas de asimilación decrezcan bajo sequía.

Núñez (1991b) también encontró que los niveles de fotosíntesis son afectados en menor grado que el cierre estomatal, como se puede observar en la Figura 4.

La conductancia del estoma afectó la tasa de fotosíntesis en el tratamiento de sequía sólo cuando se produjo un cierre estomatal casi total, lo cual ocurrió en los días más calurosos con temperaturas mayores a los 34°C. Wong *et al.* (1979) encontraron que bajo sequía, con un cierre estomatal progresivo, la resistencia del mesófilo se reduce significativamente minimizando las variaciones en la asimilación de CO₂ y, por lo tanto, minimizando su efecto sobre las tasas de fotosíntesis.

El ajuste osmótico, que resulta de la acumulación de solutos dentro de la célula, ayuda a mantener la turgencia tanto de raíces

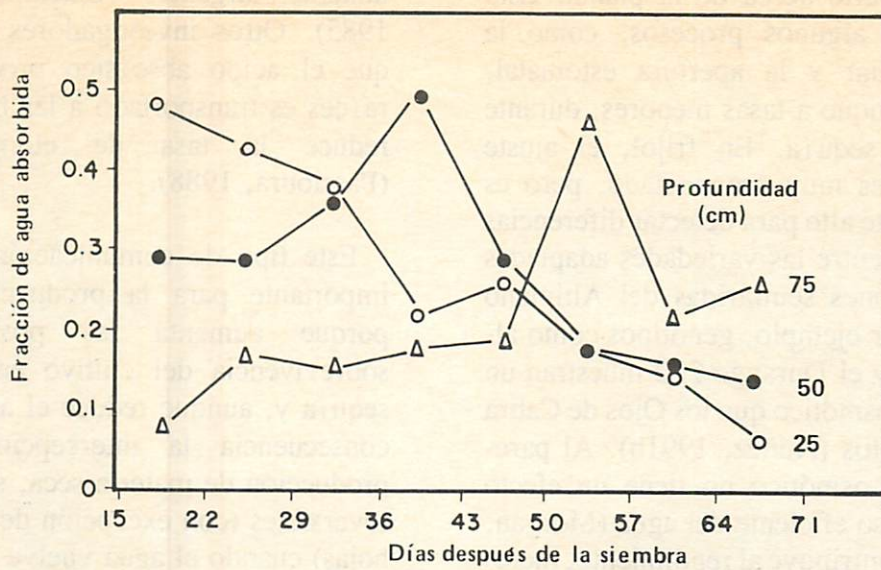


Figura 3. Fracción de agua absorbida a diferentes profundidades de suelo, en frijol sometido a sequía terminal iniciada 15 días después de la siembra.

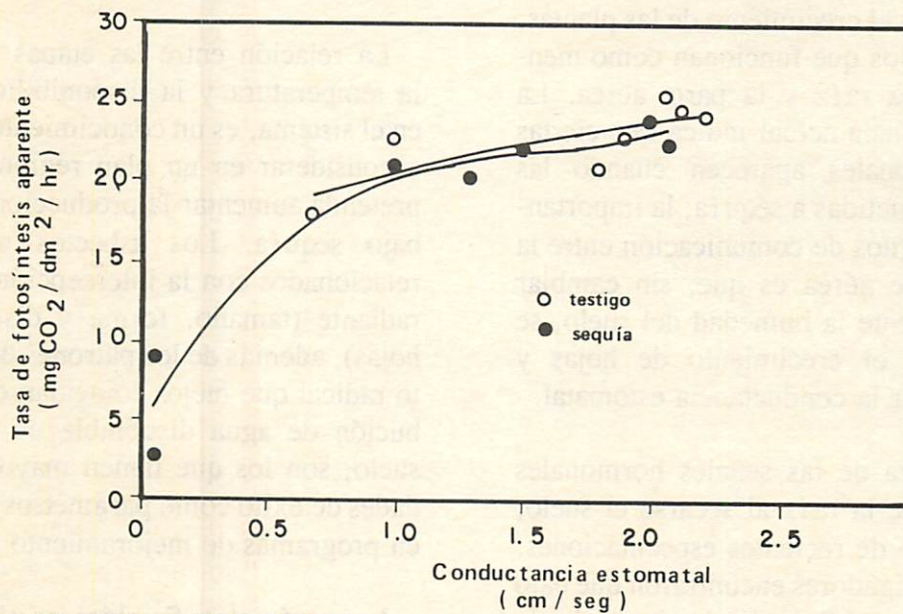


Figura 4. Relación entre la tasa de fotosíntesis aparente y la conductancia estomatal en la variedad Seafarer de frijol.

como de la parte aérea de la planta. Esto significa que algunos procesos, como la expansión foliar y la apertura estomatal, continúan, aunque a tasas menores, durante períodos de sequía. En frijol, el ajuste osmótico no es muy pronunciado, pero es suficientemente alto para detectar diferencias significativas entre las variedades adaptadas a las condiciones semiáridas del Altiplano Mexicano; por ejemplo, genotipos como algunos Bayos y el Durango 222 muestran un mayor ajuste osmótico que los Ojos de Cabra y algunos Pintos (Núñez, 1991b). Al parecer, el ajuste osmótico no tiene un efecto mayor en el uso eficiente del agua (Morgan, 1984), pero contribuye al rendimiento, incrementando el agua transpirada como resultado de su influencia sobre la apertura estomatal, el mantenimiento del área foliar y el mayor crecimiento de raíces, lo que determina asimismo una mayor absorción de agua del suelo.

BIOQUIMICA

En el contexto de los aspectos bioquímicos que afectan el crecimiento de las plantas, destacan aquellos que funcionan como mensajeros entre la raíz y la parte aérea. La mayor importancia actual indica que ciertas señales hormonales aparecen cuando las plantas son sometidas a sequía; la importancia de estos signos de comunicación entre la raíz y la parte aérea es que, sin cambiar significativamente la humedad del suelo, se puede reducir el crecimiento de hojas y tallos, y afectar la conductancia estomatal.

La naturaleza de las señales hormonales provenientes de la raíz al secarse el suelo, ha sido motivo de recientes especulaciones. Algunos investigadores encontraron que bajo sequía se reduce el flujo de citocininas hacia la parte aérea provocando el cierre estomatal, aun cuando las hojas estaban comple-

tamente turgentes (Blackman y Davies, 1985). Otros investigadores han mostrado que el ácido abscísico producido en las raíces es transportado a las hojas en donde reduce la tasa de elongación foliar (Passioura, 1988).

Este tipo de comunicación hormonal es importante para la producción de frijol, porque aumenta las posibilidades de sobrevivencia del cultivo en períodos de sequía y, aunque reduce el área foliar y en consecuencia la intercepción de luz y producción de materia seca, sus efectos son reversibles (con excepción de la abscisión de hojas) cuando el agua vuelve al sistema.

CONCLUSIONES

Para entender la adaptación de un cultivo como el frijol a condiciones de sequía, se requiere de un conocimiento preciso de la cantidad, frecuencia y probabilidad de lluvia, así como de las condiciones que influyen sobre la capacidad de almacenamiento y retención de humedad en los suelos.

La relación entre las etapas fenológicas, la temperatura y la disponibilidad de agua en el sistema, es un conocimiento importante a considerar en un plan regional donde se pretenda aumentar la producción de cultivos bajo sequía. Los aspectos morfológicos relacionados con la intercepción de energía radiante (tamaño, forma y distribución de hojas), además de los patrones de crecimiento radical que mejor coincidan con la distribución de agua disponible en el perfil de suelo, son los que tienen mayores posibilidades de éxito como parámetros de selección en programas de mejoramiento genético.

Los parámetros fisiológicos y bioquímicos relacionados con un mayor grado de adaptación y tolerancia a la sequía, serán aquellos

que proporcionen una mejor estructura de la planta que se manifieste, a través de los diferentes componentes de rendimiento, en una mayor y más estable producción de grano en zonas semiáridas como el Altiplano de México.

Los mecanismos de adaptación en el frijol y en cualquier otro cultivo no son necesariamente extrapolables a todos los ambientes (aún menos cuando se estudian bajo condiciones de invernadero o laboratorio), por lo que se requiere de una validación *in situ* de dichos parámetros, junto con estudios de heredabilidad y variabilidad genética, antes de incluirse en programas de mejoramiento y producción de nuevas variedades.

Finalmente, se puede decir que la experimentación fisiotécnica relacionada con el mejor entendimiento de la respuesta de las plantas a diferentes ambientes, debe ser la base de un nuevo enfoque en la investigación que permita hacer más eficientes los trabajos, muchas veces ya estancados, del mejoramiento genético convencional. Además, ese conocimiento debe incorporarse a los nuevos programas de ingeniería genética, para la creación de plantas que puedan ser una opción de solución para los problemas de baja productividad en ambientes con fuertes limitantes agroclimáticas, como son las zonas semiáridas.

Las posibilidades de éxito para lograr estos objetivos en el futuro se incrementan exponencialmente cuando, como se ha dicho en otras ocasiones, se trabaje en estrecha colaboración entre fisiólogos, genetistas, climatólogos y agrónomos.

BIBLIOGRAFIA

Blackman, P. G. and W. J. Davies. 1985. Root to shoot communication in maize plants of the effect of soil drying. *J. Exp. Bot.* 36:39-48.

Blum, A., G. Gozlan, and J. Mayer. 1981. The manifestation of dehydration avoidance in wheat breeding germoplasm. *Crop Sci.* 21: 495-499.

Farquhar, G. D. and T. D. Sharkey. 1982. Stomatal conductance and photosynthesis. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 33:317-345.

Laing, D.R., P.J. Kretchmer, S. Zuloaga, and P.G. Jones. 1983. Field bean. In: Proc. Symp. Potential Productivity of Field Crops under Different Environments. Smith, W.H. and C.J. Banta (eds.). IRRI. Los Baños, Philippines. pp. 227-248.

Ludlow, M. M., and R. C. Muchow. 1989. A critical evaluation of traits for improving crop yields in water limited environments. *Adv. Agron.* 43: 107-153.

_____, A. C. Chu, R. J. Clements, and R. G. Kerslake. 1983. Adaptation of species to water stress. *Aust. J. Plant Physiol.* 10: 119-130.

Morgan, J. M. 1984. Osmoregulation and water stress in higher plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 35:299-319.

Nuñez, A. 1991a. Effect of soil water deficits on the growth and development of dry beans. Ph.D. Thesis. Michigan State University.

_____. 1991b. La sequía y el ajuste osmótico en frijol. In: Reporte Anual de Investigación del Proyecto Colaborativo en Frijol entre INIFAP-MSU. (en prensa).

O'Toole, J. C., J. L. Ozbun, and D. H. Wallace. 1977. Photosynthetic response to water stress in *Phaseolus vulgaris*. *Physiol. Plant.* 40: 111-114.

Passioura, J.B. 1988. Root signals control leaf expansion in wheat seedlings growing in drying soil. *Aust. J. Plant Physiol.* 15:687-693.

Wong, S. C., I. R. Cowan, and G. D. Farquhar. 1979. Stomatal conductance correlates with photosynthetic capacity. *Nature* 282:424-426.