

## EFFECTO DEL ESTRÉS HÍDRICO EN EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE FRIJOL

Edwin Javier Barrios-Gómez<sup>1\*</sup>, Cándido López-Castañeda<sup>2</sup>,  
Jorge A. Acosta-Gallegos<sup>3</sup>, Jaime Canul-Ku<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Campo Experimental Zacatepec, INIFAP. Km. 0.5 Carretera Zacatepec-Galeana, Zacatepec, Mor. México. CP 62780. Tel 734 34 30230. Fax. 734 34 33820. Correo-e: barrios.edwin@inifap.gob.mx. y canul.jaime@inifap.gob.mx.

<sup>2</sup> Colegio de Postgraduados, Km. 38.5 Carretera México-Texcoco. Montecillo, Texcoco, México. CP 56230. Tel. 595 95 2 02 58 y Fax. 595 95 20262. Correo-e: clc@colpos.mx.

<sup>3</sup> Campo Experimental Bajío, INIFAP, Celaya, Guanajuato, México. Apdo. Postal 112, CP 38000. Tel 461 61 15323. Correo-e: acosta.jorge@inifap.gob.mx.

\*Autor para correspondencia

---

### RESUMEN

Con el objetivo de determinar la respuesta del crecimiento bajo condiciones de riego y temporal en condiciones de campo en un grupo de variedades comerciales de frijol liberadas entre los años 80's y 2000, se realizaron dos experimentos en campo; uno en riego y otro en temporal, en Montecillo, Estado de México. Se incluyeron seis variedades de frijol tipo Flor de Mayo, una variedad de tipo Flor de Junio, y una variedad criolla Michoacán 128, todas de hábito indeterminado tipo III. En temporal la sequía se tradujo en una menor acumulación de biomasa, tasa de crecimiento de cultivo, índice de área foliar, tasa de asimilación neta, cociente de área foliar, y grados día a la iniciación floral, madurez fisiológica y rendimiento de semilla, por el contrario en el experimento

de riego que mostraron mayores valores. Las variedades de las décadas 90 y 20s tuvieron mayor biomasa, tasa de crecimiento de cultivo, índice de área foliar, tasa de asimilación neta, cociente de área foliar, que las variedades de los 80s. El mayor rendimiento de los genotipos modernos estuvo determinado sustancialmente por un aumento significativo en la biomasa aérea final.

**Palabras clave:** *Phaseolus vulgaris L. riego, sequía, habito de crecimiento tipo III.*

### ABSTRACT

With the goal of determining the answer of the growth in irrigation and weather under conditions of field in a group of commercial varieties of bean released between the years 80's and 2000, two experiments were realized in field; one in

irrigation and another one in rainfed, in Montecillo, Estado de México. Six cultivars of bean were included Flor de Mayo seeded type, plus a cultivar Flor de Junio seeded type, and landrace Michoacan 128, all cultivars type III. In rainfed the drought was translated in a smaller accumulation of biomass, growth culture rate, foliar area index, net assimilation rate, foliar area quotient, and degrees day to the floral initiation and physiological maturity, at difference that the treatment with irrigation that present major values. The varieties of decades the 90 and 20s had major biomass, growth culture rate, foliar area index, net assimilation rate, foliar area quotient that the cultivars of 80s. The greater yield of the modern genotypes was in favor certain substantially of a significant increase in the final above-ground biomass.

**Key words:** *Phaseolus vulgaris L. irrigation, drought, cultivars type III.*

## INTRODUCCIÓN

El crecimiento de las plantas es el incremento irreversible en tamaño, generalmente relacionado con un aumento en peso y en la cantidad de protoplasma (Ortiz, 1978). El aumento en tamaño de las plantas es influenciado principalmente por temperatura y humedad; las deficiencias hídricas, por ejemplo, disminuyen la fijación de  $\text{CO}_2$  y con esto la disponibilidad de fotoasimilados para la formación de los diferentes órganos de la planta, reflejándose esto en un menor crecimiento. El crecimiento vegetal se puede analizar mediante los índices de eficiencia fisiológica en plantas individuales y en comunidades vegetales o poblaciones de plantas.

El análisis de crecimiento en comunidades de plantas generalmente se realiza utilizando la biomasa aérea final (BM), índice de área foliar (IAF), tasa de crecimiento del cultivo (TCC), tasa de asimilación neta (TAN), cociente de área foliar (CAF) (López-Castañeda *et al.*, 1994).

La biomasa aérea final (BM,  $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ) representa la cantidad total de materia seca producida por unidad de área y puede cuantificarse en las diferentes etapas de desarrollo del cultivo; el índice de área foliar (IAF) representa la cantidad de área foliar de las plantas que ocupan una determinada área, es decir, el área foliar por unidad de área ocupada por el cultivo (Watson, 1947; Hunt, 1982). La tasa de crecimiento de cultivo (TCC,  $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ ) es una estimación de la cantidad de materia seca producida por unidad de área por unidad de tiempo y se considera un índice muy importante desde el punto de vista agrícola (Hunt 1982).

La tasa de asimilación neta (TAN,  $\text{g}$  de MS  $\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ ) representa el incremento en peso seco por unidad de área foliar presente en el cultivo por unidad de tiempo; la TAN es una estimación indirecta de la fotosíntesis y es el índice de eficiencia más influenciado por los factores ambientales y en particular por la temperatura (Watson, 1952; Radford, 1967; Hunt, 1982). A nivel de plantas individuales, el análisis de crecimiento se realiza, utilizando el concepto de la tasa relativa de crecimiento (TRC,  $\text{mg}\cdot\text{mg}^{-1}$ ) que representa el incremento en peso seco por unidad de peso presente en la planta por unidad de tiempo.

La tasa relativa de crecimiento, se puede separar en sus dos componentes; la componente fisiológica o tasa de asimilación neta (TAN,  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ ) que representa la capacidad de asimilación de la planta en presencia de luz y su componente morfológica o cociente de área foliar (CAF,  $\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-1}$ ), que representa la proporción del área foliar por unidad de peso total presente en la planta (López-Castañeda *et al.*, 1994).

La distribución de materia seca en la planta es el producto de procesos complejos del crecimiento y desarrollo, que dependen de la producción y disponibilidad de asimilados y de la distribución de hormonas activas del crecimiento, así como,

de las variaciones de los factores ambientales, tales como la radiación, temperatura y disponibilidad de nutrientes (Kvet *et al.*, 1971). Wallace y Munger (1965) indican que la distribución de biomasa está relacionada con el área foliar, tasa de asimilación neta e índice de área foliar, señalando que el área foliar es importante por su influencia en la intercepción de la energía radiante. La materia seca acumulada en los distintos órganos de la planta de maíz antes de la floración es poco movilizada al grano, la mayor parte de asimilados producidos después de la floración y acumulados en el tallo y otros órganos, son los más importantes para el desarrollo del grano (Tanaka y Yamaguchi, 1972).

El crecimiento de las plantas depende del intercambio gaseoso, que involucra a la transpiración (perdida de agua a través de las estomas) y fotosíntesis (entrada de CO<sub>2</sub> al interior de la hoja). Las deficiencias hídricas durante las etapas iniciales de crecimiento del cultivo reducen el establecimiento de las plántulas, el crecimiento de los tallos y el área foliar en maíz (Fisher *et al.*, 1984).

Las plantas responden al déficit hídrico en formas diferentes, dependiendo de la duración, la intensidad y la etapa de desarrollo de la planta en la que ocurren las deficiencias hídricas (Turner, 1979). La cantidad y calidad del crecimiento de la planta depende de la división, elongación y diferenciación celular y la presencia del estrés hídrico que puede afectar a estos procesos (Kramer, 1983).

Teniendo estas consideraciones se llevo a cabo el siguiente trabajo de investigación con el objetivo de determinar la respuesta del crecimiento en riego y temporal bajo condiciones de campo en un grupo de variedades comerciales de frijol liberadas entre los años 80's y 2000.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Material genético

En los experimentos de campo se incluyeron seis variedades de frijol tipo Flor de Mayo, una variedad de tipo Flor de Junio, y un criollo Michoacán 128, todas de hábito indeterminado tipo III (Rosales *et al.*, 2004), proporcionadas por el Programa de Frijol, Campo Experimental del Bajío, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Celaya, Guanajuato; y la variedad criolla Michoacán 128 proveniente del Estado de Michoacán (Cuadro 1).

### Detalle Experimental

Se realizaron dos experimentos en campo; uno en riego y otro en temporal, en el Campo Experimental del Colegio de Postgraduados en Montecillo, Estado de México (19° 21' N y 98° 55' O y 2250 msnm). Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones para ambos; la unidad experimental consistió de dos surcos de 4 m de longitud y 0.80 m de ancho. La siembra se efectuó el 21 de junio de 2004.

El experimento en riego consistió en aplicar riegos por gravedad cada dos semanas, desde la siembra hasta la madurez fisiológica y el experimento de temporal consistió en la aplicación de los riegos de siembra y emergencia de las plántulas, y la precipitación ocurrida durante el ciclo como fuente única de humedad hasta la madurez fisiológica. Se aplicó un primer riego por gravedad al día siguiente de la siembra y un segundo riego, una semana después, para favorecer la germinación y emergencia de las plántulas en los dos experimentos; la densidad de siembra fue de aproximadamente 156, 000 plantas ha<sup>-1</sup>.

## VARIABLES DETERMINADAS

Se midió el área foliar (AF, m<sup>2</sup>) cada semana, desde los 15 días después de la siembra (dds) hasta la madurez fisiológica de dos plantas completas (ambas con competencia completa) con un integrador de área foliar marca LI-COR modelo LI-3100 en cada unidad experimental, además en cada una de estas fechas se determinó la materia seca de la parte aérea o biomasa aérea (BM, g·m<sup>-2</sup>) con estas mismas plantas. Se calculó el promedio de las dos plantas.

Se calculó semanalmente el índice de área foliar (IAF) al dividir el promedio del área foliar (m<sup>2</sup>) determinada en las plantas muestreadas entre la superficie de suelo ocupada por las mismas (m<sup>2</sup>) de la siguiente forma:  $IAF = AF / 0.64$ , donde, AF (m<sup>2</sup>) representa el área foliar promedio determinada en las dos plantas muestreadas y 0.064 representa el área de suelo ocupada (m<sup>2</sup>) por las dos plantas en competencia completa en cada unidad experimental.

También se calculó la tasa de crecimiento del cultivo (TCC, g·d<sup>-1</sup>) o “fuerza de la demanda” que representa la cantidad de materia seca de la parte aérea producida por el cultivo por unidad de área (g·m<sup>-2</sup>) por unidad de tiempo (días) y se calculó de acuerdo con Hunt (1978) de la manera siguiente:

$$TCC(FD) = (W_2 - W_1) / (t_2 - t_1)$$

donde, W<sub>1</sub> y W<sub>2</sub> representan la materia seca de la parte aérea del cultivo (g·m<sup>-2</sup>) determinado en la primera y segunda cosecha, y t<sub>1</sub> y t<sub>2</sub>, y sucesivamente t<sub>3</sub> y t<sub>4</sub>, que representan las correspondientes fechas de cosecha realizadas (días).

La tasa de asimilación neta (TAN, g m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>) o “fuente” también fue calculada y se define como el aumento en peso seco (g·m<sup>-2</sup>) del cultivo por unidad de área foliar

(AF) y por unidad de tiempo (días) y ésta componente del crecimiento, representa el balance entre la ganancia de CO<sub>2</sub> a través de la fotosíntesis y las pérdidas de carbono debido a la respiración (raíz + parte aérea) (Hunt, 1978) y se calcula de la forma siguiente:

$$TAN = \left[ \frac{(W_2 - W_1) (\log_e AF_2 - \log_e AF_1)}{(t_2 - t_1) (AF_2 - AF_1)} \right]$$

donde, W<sub>1</sub>, W<sub>2</sub>, log<sub>e</sub> AF<sub>1</sub>, log<sub>e</sub> AF<sub>2</sub>, AF<sub>1</sub> y AF<sub>2</sub>, t<sub>1</sub> y t<sub>2</sub> y sucesivamente t<sub>3</sub> y t<sub>4</sub> representan la materia seca de la parte aérea del cultivo (g·m<sup>-2</sup>), el logaritmo de base 10 del área foliar del cultivo (m<sup>2</sup>) y el área foliar determinados en la primera y segunda fecha de cosecha (días), respectivamente.

El cociente de área foliar (CAF, m<sup>2</sup>·g<sup>-1</sup>) fue calculado como la proporción de área foliar (m<sup>2</sup>) producida por unidad de peso seco (g) presente en el cultivo (Hunt, 1978; López-Castañeda *et al.*, 1995) de la manera siguiente:

$$CAF = (AF / BM)$$

donde, AF (m<sup>2</sup>) es el área foliar promedio de las plantas muestreadas y BM (m<sup>2</sup>·g) es la materia seca de la parte aérea de las plantas en cada cosecha en cada unidad experimental.

Se calcularon los días y grados día (GD, °Cd) al inicio de floración, y a la madurez fisiológica (MF), de acuerdo con Masle *et al.* (1989) de la forma siguiente:

$$GD = \sum_{i=1}^n (\bar{X}_i - T_b)$$

donde GD representa el número de grados día (°Cd), X<sub>i</sub> es la media de la temperatura máxima y mínima diaria del aire y T<sub>b</sub> es la temperatura base con valor de 8.2 °C para frijol (Barrios-Gómez y López-Castañeda, 2009).

## Datos meteorológicos

Los datos de temperatura máxima y mínima (°C) diaria del aire y la precipitación (mm) semanal acumulada, se obtuvieron de la Estación Agrometeorológica del Colegio de Postgraduados, ubicada aproximadamente a 300 m del sitio experimental (Figura 1).

## Contenido hídrico edáfico

Se determinó el contenido de humedad aprovechable (ha) del suelo en riego (datos no presentados) y temporal (Figuras 2a, 2b, 2c y 2d) cada semana, desde la emergencia de las plántulas hasta la madurez fisiológica, en las profundidades de 0-20, 20-40, 40-60 y 60-90 cm, utilizando el método gravimétrico.

## Análisis estadístico

Para los experimentos individuales de riego y temporal fue usado el diseño experimental de bloques completos al azar:  $Y_{ij} = \mu + V_i + B_j + E_{ij}$ , donde  $Y_{ij}$  es el valor de la variable respuesta del tratamiento  $i$  en su repetición  $j$ ;  $\mu$  es la media general;  $V_i$  el

efecto de variedades;  $E_{ij}$  el error experimental.

Para las variables medidas en promedio de riego y temporal se realizó un análisis de varianza de bloques completos al azar en arreglo factorial:  $Y_{ijk} = \mu + H_i + V_j + HV_{ij} + E_{ijk}$ ; donde  $Y_{ijk}$  es el valor de la variable respuesta correspondiente al nivel  $i$ , del  $H$  (corresponde al nivel de humedad) al nivel  $j$  de  $V$  (corresponde al efecto de variedades) en la repetición  $k$ ;  $\mu$  es la media general;  $H_i$  y  $V_j$  son efectos de los niveles  $i$  y  $j$  de los factores  $H$  y  $V$ ;  $HV_{ij}$  es la interacción de los factores  $H$  y  $V$ ;  $E_{ijk}$  es el error experimental para detectar diferencias significativas entre variedades y experimentos.

El programa SAS (2004) fue usado para el análisis de varianza y la diferencia significativa de Tukey (DSH,  $p \leq 0.05$ ) para comparar medias. Las variedades se dividieron por décadas de acuerdo a su año de liberación para realizar un análisis por grupos de décadas [ochentas (80s), noventas (90s) y dos mil (20s)] por medio de comparación de medias de Sheffé.

Cuadro 1. Variedades de frijol utilizadas en los experimentos.

Variedad	Año de Liberación	Hábito de crecimiento	Días a floración
Flor de Mayo M38	1994	III	50-57
Flor de Mayo Sol	1996	III	45-51
Flor de Mayo Corregidora	2000	III	46-52
Flor de Mayo RMC	1981	III	44-55
Flor de Mayo Bajío	1989	III	45-47
Michoacán 128 <sup>§</sup>	1974	III	47-53
Flor de Junio Marcela	1997	III	55-61
Flor de Mayo Anita	2002	III	44 <sup>¶</sup> y 62 <sup>€</sup>

<sup>§</sup>= Material criollo proveniente de Michoacán, proporcionado por el Dr. Salvador Miranda Colín, Colegio de Posgraduados, Montecillo, México; <sup>¶</sup>Ciclo de primavera-verano; <sup>€</sup>Ciclo de otoño-invierno.

## Temperatura, precipitación y humedad edáfica

La temperatura máxima fue de 29.3 °C y la mínima de 7.6 °C promedio registrada durante la estación de crecimiento. La temperatura mínima fluctuó entre 3 y 10 °C; mientras que, la máxima osciló entre los 25 y 32 °C. Al final del ciclo del cultivo tanto la temperatura máxima y la mínima fueron reduciéndose. La precipitación se distribuyó irregularmente durante el ciclo del cultivo, presentando una disminución considerable al inicio de la floración (441-566 °Cd, 49-63 dds) y durante la formación de la semilla (688-861 °Cd, 77-98 dds) (Figura 1); esta reducción en la cantidad de lluvia se reflejó en una disminución en el contenido hídrico del suelo que alcanzó niveles inferiores al porcentaje de marchitez permanente (PMP) en las profundidades de 0-20 y 20-40 cm (Figura 2) durante la floración (441-566 °Cd, 49-63 dds) y la primera mitad del período de formación de la semilla (518-753 °Cd, 69-84 dds).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Desarrollo fenológico

En promedio de variedades para inicio de floración en riego y temporal tuvieron 493 °Cd (55 dds); mientras que, para madurez fisiológica fue de 985 °Cd (113 dds). En general por grupos de variedades (80s, 90s y 20s) no mostraron diferencias ( $p \leq 0.01$ ) para grados día a inicio de floración y madurez fisiológica. En cuanto al tratamiento de humedad mostraron diferencias ( $p \leq 0.01$ ), siendo en promedio de riego de 504 °Cd (59 dds) los de mayores valores a inicio de floración, y por el contrario menor tiempo a inicio a floración 482 °Cd (54 dds) para temporal. Para madurez fisiológica el tratamiento en riego presentó el mayor valor ( $p \leq 0.01$ ) con 1009 °Cd (116 dds); mientras que, en temporal se redujo a 962 °Cd (110 dds).

## Crecimiento

La acumulación de biomasa aérea (BM) e índice de área foliar (IAF), desde la emergencia de las plántulas hasta el inicio de floración 506 °Cd (56 dds), fue similar en riego y temporal. A partir de los 566 °Cd (63 dds) las diferencias entre riego y temporal fueron en aumento, al principio del ciclo mostró una diferencia de  $30 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  y al final del ciclo esta fue de  $150 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  (Figura 3b).

Las variedades FM Bajío y FJ Marcela acumularon significativamente mayor biomasa aérea final que las otras variedades en promedio de riego y temporal desde los 624 °Cd hasta madurez fisiológica, FM Corregidora fue la variedad que menor acumulación de biomasa aérea obtuvo; la variedad criolla Michoacán128 fue la que menor acumulación de biomasa aérea obtuvo dentro de las variedades antiguas, siendo que la variedad FM RMC es del mismo grupo de variedades tipo Flor de Mayo (Figura 3c), en promedio de riego y temporal.

Las plantas del tratamiento de riego tuvieron mayor ( $p \leq 0.01$ ) índice de área foliar que las plantas en temporal, desde inicio de la floración hasta la madurez fisiológica (441-921 °Cd, 49-105 dds) (Figura 3d), siendo la diferencia al inicio de un valor de tres. El mayor IAF en temporal (4.5) se observó una semana antes que el tratamiento de riego (Figura 3d).

En el inicio de floración el IAF para riego siempre fue mayor hasta alcanzar su máximo con un valor de seis. En temporal el IAF decayó drásticamente a partir de los 688 °Cd (77 dds) debido al déficit hídrico en el suelo en esas fechas. Las variedades de más reciente liberación tuvieron un comportamiento similar durante todo el ciclo de crecimiento de las plantas, esto debido a que son variedades similares, tuvieron su máximo valor de índice de área foliar a los 688 °Cd, FJ Marcela fue significativamente mayor que las otras variedades a los 624 y 815 °Cd, en cuanto a las variedades

antiguas FM RMC, fue significativamente mayor desde inicio de floración hasta los 861 °Cd.

Las variedades de los años 90s y 20s mostraron mayor ( $p \leq 0.01$ ) acumulación de BM que las variedades liberadas en los 80s y que la variedad criolla Michoacán 128, a partir de los 624 °Cd (70 dds) hasta la madurez fisiológica (Figura 3a), en riego comenzó con un valor de  $230 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$  y con  $700 \text{ gm}\cdot\text{m}^{-2}$  al termino del ciclo del cultivo.

Las variedades de los 80s, 90s y 20s tuvieron un comportamiento similar para BM a lo largo del ciclo de cultivo, mostrando valores mayores ( $p \leq 0.01$ ) que la variedad criolla Michoacán 128, una diferencia máxima en el ciclo de cultivo de  $200 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ . Por otro lado, todas las variedades utilizados mostraron el máximo IAF en la misma fecha (700 °Cd, 80 dds) (Figura 3a).

#### **Cociente de área foliar (CAF)**

El CAF para los grupos de variedades y por tratamiento de humedad presentaron el máximo valor antes del inicio de la floración (369 °Cd, 369 dds). Los valores de CAF en riego fueron mayores ( $p \leq 0.01$ ) que para temporal desde los 369 a 800 °Cd (42 a 90 dds) (Figura 3j), teniendo en riego un valor  $0.023 \text{ m}^2\cdot\text{g}^{-1}$  y terminando con  $0.003 \text{ m}^2\cdot\text{g}^{-1}$  al final del ciclo del cultivo.

Las variedades de la década de los 80s presentaron un valor mayor ( $p \leq 0.01$ ) a partir de los 369 (42 dds) hasta los 624 °Cd (70 dds) (Figura 3i) con un valor  $0.023 \text{ m}^2\cdot\text{g}^{-1}$  y el menor valor el grupo de los años 20s con un valor  $0.018 \text{ m}^2\cdot\text{g}^{-1}$ . Las variedades se comportaron de manera irregular a lo largo del ciclo del cultivo para este índice.

#### **Tasa de crecimiento del cultivo (TCC)**

La variedad FM Bajío presentó significativamente mayor tasa del crecimiento del cultivo que las otras

variedades en promedio de riego y temporal, desde los 412 a 662 °Cd. FM Bajío presentó su máximo valor a los 537 °Cd, antes que las otras variedades; FJ Marcela fue significativamente mayor que las demás variedades a los 662 a 788 °Cd; la variedad FM RMC mostró mayor ( $p \leq 0.01$ ) tasa de crecimiento del cultivo para las variedades antiguas desde los 412 hasta los 718 °Cd.

El análisis estadístico para TCC, por grupo de variedades presentaron diferencias ( $p \leq 0.01$ ) desde los 282 (28 dds) hasta los 788 °Cd (84 dds), y en promedio de riego y temporal se presentaron entre los 412 (42 dds) y 897 °Cd (98 dds) (Figura 3e). Todas las variedades mostraron mayores ( $p \leq 0.01$ ) valores que la variedad criolla Michoacán 128. El máximo valor ( $14 \text{ g}\cdot\text{d}^{-1}$ ) de TCC para los grupos de variedades lo mostraron a los 662 °Cd (70 dds), a excepción de las variedades de los 80s y Michoacán 128, que lo presentaron a los 537 °Cd (56 dds) con un valor de 12 y 6  $\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$ , respectivamente (Figura 3e).

Las variedades de los años 90s y 20s mostraron similares valores desde los 537 (56 dds) hasta los 788 °Cd (84 dds), aunque las variedades de los 80s tienen muy pocas diferencias en algunos muestreos. Por otro lado, en los tratamientos de humedad, las variedades en promedio de riego presentaron el máximo valor a los 662 °Cd (70 dds) con  $17 \text{ g}\cdot\text{d}^{-1}$  y en cambio las variedades en temporal a los 537 °Cd (56 dds) con un valor de  $9 \text{ g}\cdot\text{d}^{-1}$ , logrando tener estas solo la mitad TCC que las de riego (Figura 3f).

#### **Tasa de asimilación neta (TAN)**

La TAN en riego fue mayor ( $p \leq 0.01$ ) que las plantas crecidas en temporal desde los 412 °Cd (42 dds) hasta la madurez fisiológica, la cual mostró en riego valores al inicio de floración de 5 y en temporal  $3 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ , ambos tuvieron similar valor al final del ciclo de cultivo ( $1.5 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ ). Las variedades en riego presentaron mayores

valores ( $p \leq 0.01$ ) que las variedades en temporal desde los 282 (28 dds) hasta los 788 °Cd (84 dds) (Figura 3h).

La variedad FM Bajío presentó mayor ( $p \leq 0.01$ ) TAN que las otras variedades en promedio de riego y temporal desde los 412 a 662 °Cd; FJ Marcela fue mayor que las otras variedades a los 662 a 788 °Cd, FM RMC fue mayor ( $p \leq 0.01$ ) desde los 412 a 662 °Cd. El máximo valor de TAN se presentó al inicio del ciclo del cultivo a los 168 °Cd (14 dds) con un valor de  $9 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  para grupos de variedades, así como para los tratamientos de humedad, posteriormente este valor fue en orden descendente hasta la madurez fisiológica (Figura 6 a y b).

Las variedades de los años 80s presentaron mayor ( $p \leq 0.01$ ) TAN desde los 537 (56 dds) a 788 °Cd (84 dds), seguida por el grupo de los años 90s (Figura 3g). Rendimiento de semilla.

En promedio el experimento de riego produjo significativamente mayor rendimiento de semilla que el tratamiento de temporal,  $221.1$  vs  $262.3 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ , respectivamente. En cuanto a grupos, las variedades de los 80s y 90s tuvieron mayor ( $p \leq 0.01$ ) rendimiento de semilla que la de los 20s. En la comparación combinada de riego y temporal se observó que las variedades de frijol FM Bajío, FM M38 y FJ Marcela, presentaron el más alto rendimiento de semilla entre todos los materiales incluidos en el presente estudio (Cuadro 2).

La temperatura es el factor con mayor influencia en los procesos de crecimiento y desarrollo de las plantas, en ausencia de estrés causado por otros factores del medio físico; la sensibilidad de las reacciones bioquímicas a la temperatura tienen influencia en los procesos de crecimiento, y los daños causados por temperaturas extremas se deben a la disociación de las proteínas enzimáticas y las membranas celulares (CIAT, 1981).

La temperatura máxima ( $29.3 \text{ }^\circ\text{C}$ ) promedio registrada durante la estación de crecimiento fue mayor que la temperatura óptima ( $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ) (Masaya y White, 1991) y la mínima ( $7.6 \text{ }^\circ\text{C}$ ) fue menor que la temperatura base ( $8.2 \text{ }^\circ\text{C}$ ) del frijol (Barrios-Gómez y López-Castañeda, 2009). Se ha determinado que altas temperaturas en presencia de sequía acentúan el efecto del estrés hídrico en el crecimiento y desarrollo de diferentes variedades de frijol, causando la abscisión de hojas basales y estructuras reproductivas, así como reducciones significativas del rendimiento y las bajas temperaturas también afectan al crecimiento y desarrollo del frijol (White y Singh, 1991).

El experimento en temporal obtuvo los menores grados día a floración y a madurez fisiológica; debido principalmente a que la duración de las fases vegetativas y reproductivas se acortaron por la menor precipitación y consecuentemente el menor contenido de humedad del suelo (Rosales-Serna *et al.*, 2004b; Muñoz-Perea *et al.*, 2007), así como la temperatura (Singh, 2006). En contraparte el experimento más tardío fue en riego.

Los grados día a floración y madurez fisiológica tanto de las primeras variedades como las de reciente liberación se han mantenido en un intervalo de 50 a 57 y 105 a 110 días, esto ha sido reportado anteriormente por Acosta-Díaz *et al.* (2004) y Barrios-Gómez *et al.* (2010).

Las deficiencias hídricas edáficas encontradas en la profundidad de 0-20 y 20-40 cm, disminuyeron la disponibilidad de humedad en la actividad fisiológica de las plantas, al considerar que aproximadamente el 50 % de la densidad radical y acumulación de materia seca en las raíces del frijol se localiza en la profundidad de 0 a 30 cm (Halterlein, 1983; White y Izquierdo, 1991) y que sólo las raíces de variedades tolerantes a sequía de frijol pueden penetrar hasta una profundidad de 50 cm (White y Izquierdo, 1991).

La TAN en todas las variedades disminuyó con la edad del cultivo, donde los valores máximos se registraron al inicio del cultivo, y disminuyeron con el inicio de la floración, estos resultados son similares a los encontrados por Aguilar-León *et al.* (2006) y MacCollum (1978) en papa y Zavala-Olalde *et al.* (2000), en frijol.

Por otro lado, es notable además que en el tratamiento de temporal tiende a disminuir más drásticamente debido a que la sequía provoca mayor senescencia de hojas, las cuales no fotosintetizan, pero si respiran, lo cual provoca un gasto de la "fuente" (senescencia de hojas). Aunque exista una renovación de área foliar en el caso de riego, esta solamente compensa la demanda que se está iniciando con la producción de flores y vainas y posteriormente el llenado de las semillas, lo cual en sequía es más acentuado.

En cuanto a la TCC o la "demanda" de la planta completa esta por lo general aumenta exponencialmente desde el inicio del desarrollo, cuando esta produce gran cantidad de follaje (hojas, ramas, raíces, etc.) y disminuye con el inicio de la floración. La diferencias entre tratamientos de humedad, que es al doble en su máximo valor, y por grupos de variedades se debe principalmente a la mayor área foliar y a como se puede mantener fotosintéticamente activa.

Para la TCC se pueden observar valores negativos, como en papa al final del ciclo del cultivo (Aguilar-León *et al.*, 2006). En frijol Zavala-Olalde *et al.* (2000), en el final del ciclo del cultivo las hojas están por lo general amarillas y a punto de la senescencia, en esta etapa ya no existe renovación del área foliar.

En lo que se refiere al cociente de área foliar, esta disminuye por el decremento del crecimiento del área foliar, al inicio de la fase reproductiva (formación de flores y frutos); su disminución es producto de la pérdida de hojas por la

senescencia provocada por la sequía, en riego por el inicio del crecimiento de los órganos demandantes.

En general la sequía en temporal mostró mayor efecto en las características de crecimiento, expansión del área foliar y biomasa aérea final. Singh (2006) y Muñoz-Perea *et al.* (2007) señalan que la falta de humedad en el suelo o una aceptable precipitación durante las etapas vegetativas y reproductivas son las mayores limitantes en la producción bajo temporal y sequía terminal, pero esto depende de la intensidad, duración de las lluvias y la etapa fenológica en que se encuentre el cultivo.

Lo anterior puede traducirse en la reducción de la biomasa. Las diferencias significativas encontradas en cuanto al rendimiento de semilla se debieron principalmente a las deficiencias hídricas en el temporal, que provocaron una acentuada senescencia al final ciclo del cultivo.

Al analizar la tendencia del rendimiento de semilla en las variedades de frijol liberadas en el período de 80s a 20s, se observó que las variedades FM Bajío, FM M38 y FJ Marcela fueron las que tuvieron el más alto rendimiento de semilla y fueron liberadas en los años 1989, 1994 y 1997.

En maíz se determinó que el rendimiento de grano estuvo relacionados positiva y significativamente en condiciones de estrés hídrico y de nitrógeno, lo que significó que ésta característica tuviera una contribución importante al alto rendimiento en condiciones de sequía y deficiencias de nitrógeno (O'Neill *et al.*, 2004).

Las variedades 90s de alto rendimiento de semilla, FM M38 y FJ Marcela, también produjeron alta biomasa; la estrecha relación observada entre el rendimiento de semilla y la biomasa aérea final indica que ésta característica puede utilizarse en los criterios de selección para incrementar el rendimiento en ambientes

limitantes de humedad (Rosales-Serna *et al.*, 2004b); la excepción fue FM Bajío variedad de los 80s y de alto rendimiento de semilla.

En riego, la biomasa y la tasa de crecimiento del cultivo fueron mayores que en temporal, desde las etapas iniciales de floración hasta la madurez fisiológica; el estrés hídrico disminuye la acumulación de biomasa al reducirse la expansión de las hojas, y la elongación de las células de la planta en las etapas vegetativa y reproductiva, resultando en hojas de menor tamaño, menor acumulación de materia seca en tallos y raíces, y rendimiento de grano (Aguilar-León *et al.*, 2006).

En otras especies como la soya, el rendimiento de semilla está relacionado con una mayor acumulación de biomasa (Frederick *et al.*, 1991; Zavala-Olalde *et al.*, 2000).

Esto sugiere que las plantas aparentemente ajustan el tamaño de la demanda (número de vainas) a la fuente disponible y, entonces, se satisface la demanda tan rápido como sea posible; lo que influye en la rápida senescencia del dosel foliar (White y Singh, 1991; Aguilar-León *et al.*, 2006).

Frederick *et al.* (1991) estudiaron cultivares modernos y antiguos de soya en Urbana, Illinois mostraron que los cultivares modernos produjeron 32 y 8 % mayor rendimiento de semilla que los cultivares antiguos en riego y sequía, respectivamente; ésa ganancia en rendimiento se debió principalmente a un incremento en la acumulación de biomasa.

El índice de área foliar y la tasa de asimilación neta fueron mayores en riego que en temporal durante el ciclo del cultivo. Por otro lado, el rendimiento potencial de los diferentes cultivares de frijol rara vez se alcanza en regiones sujetas a deficiencias hídricas intermitentes durante el ciclo de las plantas; p.e., se ha observado que las reducciones en el rendimiento en estas condiciones, se deben principalmente a la disminución en el índice de área foliar que repercute directamente en el número de vainas por planta (Acosta-Gallegos y Kohashi-Shibata, 1989); Bennett *et al.* (1989) en maíz mostraron que la sequía redujo el índice de área foliar en 10 % con relación a riego.

Perry y D'Antuono (1989) en Australia, mostraron que el mejoramiento genético aumentó el rendimiento de grano en las variedades modernas de trigo harinero a razón de  $5.8 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ , al evaluar un grupo representativo de variedades liberadas entre 1860 y 1982; el mayor rendimiento de los genotipos modernos estuvo determinado sustancialmente por un aumento significativo en el índice de cosecha y el número de granos  $\text{m}^{-2}$ .

Esta ventaja de las variedades mejoradas sobre variedades criollas en la acumulación de biomasa, y desarrollo del área foliar ha sido observada en germoplasma de maíz (Duvick, 1984; Tollenaar, 1991).

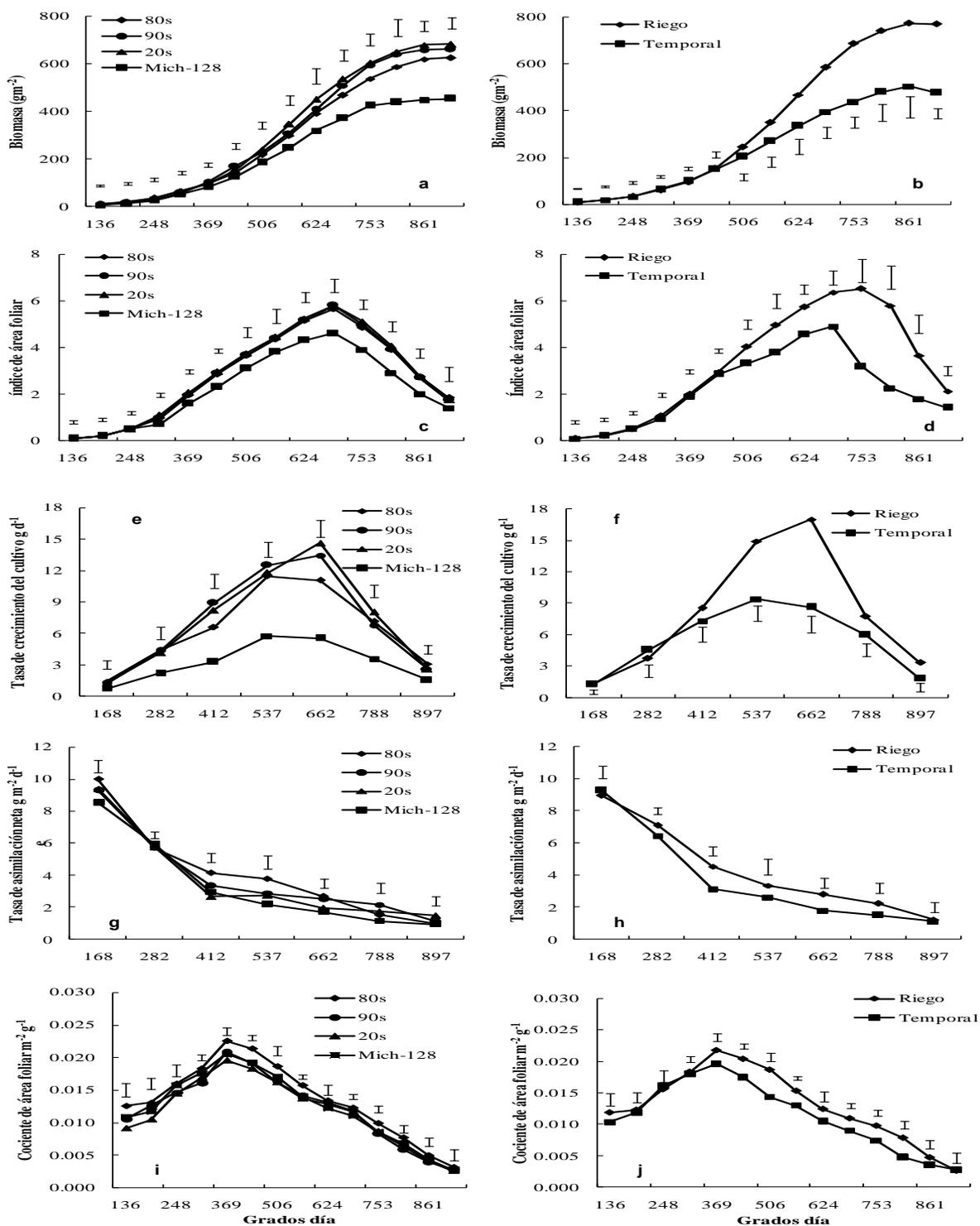


Figura 3. Grupos por década y en promedio de riego y temporal para biomasa (a y b), índice de área foliar (c y d), tasa de crecimiento del cultivo (e y f), tasa de asimilación neta (g y h) y cociente de área foliar (i y j). Montecillo, Edo. de México. 2004.

Cuadro 2. Rendimiento de semilla (RS, g m<sup>-2</sup>) de ocho variedades de frijol en promedio de riego y temporal, riego, temporal. Montecillo, Edo. de México. 2004.

Variedad	RS (g m <sup>-2</sup> ) en promedio	RS (g m <sup>-2</sup> ) en riego	RS (g m <sup>-2</sup> ) en temporal
FM Bajío	259.9	306.1	213.7
FM M38	259.6	297.5	221.6
FJ Marcela	243.8	292.3	195.3
FM RMC	227.9	240.0	205.9
FM Sol	221.5	274.2	168.9
FM Anita	208.7	292.7	154.6
FM Corregidora	203.6	243.6	163.6
Mich-128	143.3	171.5	115.2
DHS (P<0.05)	22.8	38.4	30.3
Grupos			
80s	243.9	273.1	209.8
90s	241.6	288.0	195.3
20s	206.2	268.2	159.1
DHS (P<0.05)	32.8	40.4	35.3
Media General	221.1	262.3	179.8

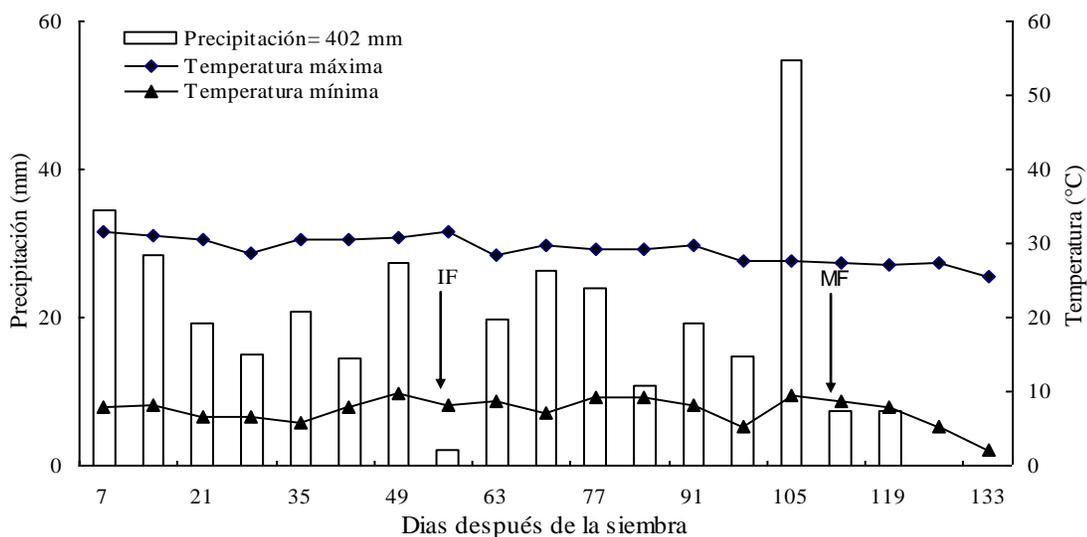


Figura 1. Temperatura máxima y mínima promedio semanal y precipitación semanal acumulada durante los experimentos de riego y temporal en Montecillo, México. 2004. IF= Inicio de la floración; MF=Madurez fisiológica.

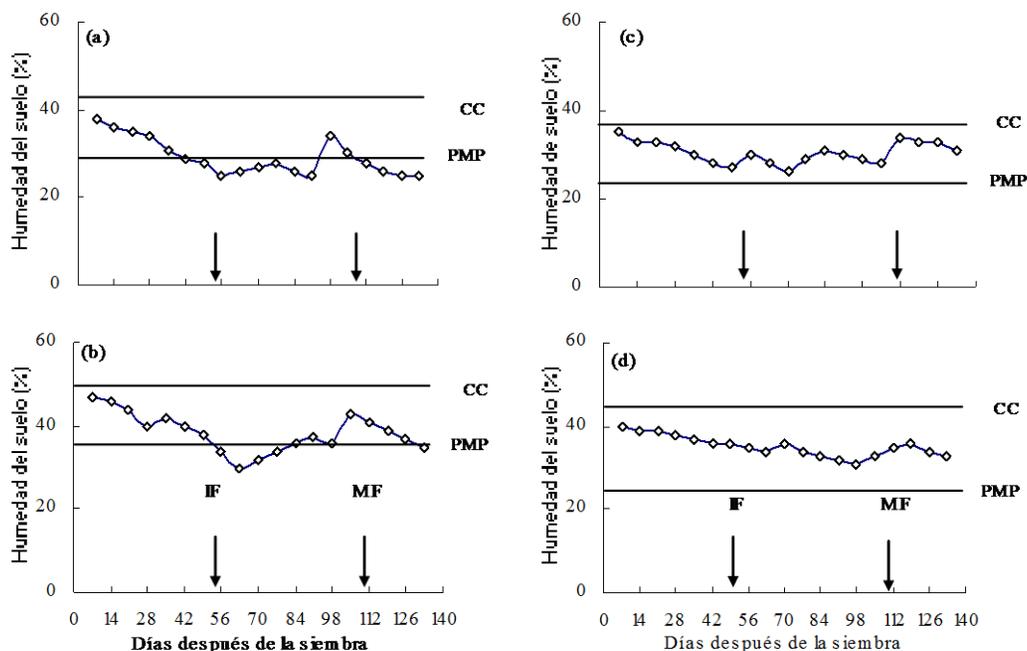


Figura 2. Contenido hídrico edáfico en las profundidades de 0-20 cm (a), 20-40 cm (b), 40-60 cm (c) y 60-90 cm (d) en condiciones de temporal. Montecillo Edo. de México. 2004. CC= Capacidad de campo; PMP=Porcentaje de marchitamiento permanente; IF= Fecha promedio de inicio floración; MF= Fecha promedio de madurez fisiológica.

## CONCLUSIONES

La sequía en temporal se tradujo en una menor acumulación de biomasa aérea final, tasa de crecimiento de cultivo, índice de área foliar, tasa de asimilación neta, cociente de área foliar y grados día a la iniciación floral y madurez fisiológica. En riego la TAN que representa la fuerza de la fuente para producir fotoasimilados mantuvo en mayor medida su área foliar y menor senescencia.

Esto se tradujo en mayor cantidad de fotoasimilados que se vieron reflejados en mayores valores de la TRC. Las variedades de las décadas 90 y 20s tuvieron mayor biomasa, tasa de crecimiento de cultivo, índice de área foliar, tasa de asimilación neta, cociente de área foliar, que las variedades de los 80s y la variedad criolla.

## LITERATURA CITADA

- Acosta-Díaz, E., C. Trejo-López, L. Ruiz-Posadas, S. Padilla-Ramírez, y J. A. Acosta-Gallegos. 2004. Adaptación del frijol a sequía en la etapa reproductiva. *Terra* 22: 49-58.
- Acosta-Gallegos, J. A. and J. Kohashi-Shibata. 1989. Effect of water stress on growth and yield on indeterminate dry-bean (*Phaseolus vulgaris*) cultivars. *Field Crops Research* 20: 81-93.
- Aguilar León, M. A., J. A. Carrillo Salazar, A. Rivera Peña y V. A. González Hernández. 2006. Análisis de crecimiento y de relaciones fuente-demanda en dos variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.). *Rev. Fitotec. Mex.* 29:145-156.

- Barrios-Gómez, E. J. y C. López-Castañeda. 2009. Temperatura base y tasa de extensión foliar en frijol. *Agrociencia* 43: 29-35.
- Barrios-Gómez, E. J., C. López-Castañeda, J. Kohashi-Shibata, J. A. Acosta-Gallegos, S. Miranda-Colín, N. Mayek-Pérez. 2010. Rendimiento de semilla, y sus componentes en frijol flor de mayo en el Centro de México. *Agrociencia* 44: 481-489.
- Blackman, V.H. 1919. The compound interest law and plant growth. *Annals of Botany* 33: 353-360.
- Bennet, J.M., L.S.M. Mutti, P.S.C. Rao and J.W. Jones. 1989. Interactive effects of nitrogen and water stress on biomass accumulation, nitrogen uptake and seed yield of maize. *Field Crops Research* 19: 297-311.
- Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 1981. Studies of yield-limiting factors. Bean Program Annual Report 1980. Cali, Colombia. 87 p.
- Dapaah, K. H., A. B. McKenzie and G. D. Hill. 1999. Effects of irrigation and sowing date phenology and yield of pinto beans (*Phaseolus vulgaris* L.) in Canterbury, New Zealand. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 27: 297-305.
- Duvick, D.N. 1984. Genetic contributions to yield gains of U.S. hybrid maize, 1930 to 1980. *Advances in Agronomy* 46: 15-47.
- Hunt, R. 1978. Plant Growth Analysis. The Instit. of Biol. Studies in Biology No. 96. Edgard Arnold. London. 67 p.
- Fischer, K.S., E.C. Johnson y G.O. Edmeades. 1984. Mejoramiento y selección de maíz tropical para incrementar su resistencia a la sequía. CIMMYT. El Batán, México. pp 1-8.
- Frederick, J. R., J. T Wooley, J. D. Hesketh, and D. B. Peters. 1991. Seed yield and agronomic traits of old and moder soybean cultivars under irrigation and soil water-deficit. *Field Crops Research* 27: 71-82.
- Kramer, P.J. 1983. Plant water relations. Academic Press. New York, 489 p.
- Kvet, J., J.P. Ondok, J. Necas and P.G. Jarvis. 1971. Methods of growth analysis. In: Plant photosynthesis production: Manual of methods. W. Junk. N.V. Publishers. The Hague, The Netherlands. pp 343-391.
- López-Castañeda, C. and R.A. Richards. 1994. Variation in temperate cereals in rainfed environments II. Phasic development and growth. *Field Crops Research* 37: 63 - 75.
- López-Castañeda, C., R. A. Richards, and G. D Farquhar. 1995. Variation in early vigor between wheat and barley. *Crop Sci.* 35: 472-479.
- MacCollum, R. E. 1978. Analysis of potato growth under different P regimes. II. Time by P-status interaction for growth and leaf efficiency. *Agron. J.* 70:58-67.
- Masaya, P. and J. W. White. 1991. Adaptation to photoperiod and temperature. In: van Shoonhonen, A. and Voysest O. (eds.). Common beans: Research for crop improvement. C. A. B. Intl. U. K. and CIAT, Cali, Colombia. pp. 445-500.
- Masle, J., G. Doussinault, G. D. Farquhar and B. Sun. 1989. Foliar stage in wheat correlates better to photothermal time than to thermal time. *Plant, Cell and Environment* 12: 235-247.
- McCullough, D.E., Ph.Girardin, M. Mihajlovic, A. Aguilera and M. Tollenaar. 1994. Influence of N supply on development and dry matter accumulation of an old and a new maize hybrid. *Canadian Journal of Plant Science* 74: 471-477.
- Muñoz-Perea, C. G., H. Terán, R. G. Allen, J. L. Wright, D. T. Westermann, and S. P. Ortiz, V.B. 1977. Fertilidad de suelos. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, México. Ediciones Patena, A.C. 291 p.
- O'Neill, P. M., J. F. Shanahan, J. S. Schepers and B. Caldwell. 2004. Agronomic responses of corn hybrids from different eras to deficit and adequate levels of water and nitrogen. *Agronomy Journal* 96: 1660-1667.
- Perry, M. W., and M. F. D' Antuono. 1989. Yield improvement and associated characteristics of some australian spring wheat cultivars introduced between 1860 and 1982. *Australian Journal of Agricultural Research* 40: 457-472.

- Radford, P.J. 1967. Growth analysis formulae-their use and abuse. *Crop Science* 7: 171-175.
- Rosales, S. R., J. A. Acosta G., J. S. Muruaga, J. M. Hernández, G. Esquivel y P. Pérez. 2004a. Variedades mejoradas de frijol del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (Libro Técnico No. 6). SAGARPA, INIFAP, CIRCE, Campo Experimental Valle de México. Chapingo. México. México. 148 p.
- Rosales-Serna, R., J. Kohashi-Shibata, J. A. Acosta-Gallegos, C. Trejo-López, J. Ortiz-Cereceres, and J. D. Kelly. 2004b. Biomass distribution, maturity acceleration and yield in drought-stressed bean cultivars. *Field Crops Research* 85: 203-211.
- SAS Institute Inc. 2004. SAS/STAT® 9.1 User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc. pp: 421-481.
- Singh, P. S. 2006. Drought resistance in the Race Durango dry bean landraces and cultivars. *Crop Science* 46:2111-2120.
- Singh, P. S. 2007. Selection for drought resistance in dry bean landraces and cultivars. *Agronomy Journal* 99:1458-1462.
- Tanaka, A., y J. Yamaguchi. 1972. Producción de materia seca, componentes del rendimiento y rendimiento de grano en maíz. Traducción del Inglés por Josué Kohashi S. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 124 p.
- Tollenaar, M. 1991. Physiological basis of genetic improvement of maize hybrids in Ontario from 1959 to 1988. *Crop Science* 31: 119-124.
- Turner, N.C. 1979. Drought resistance and adaptation to water deficit in crop plants. In: Mussell H., and Staples R. C. (eds). *Stress physiology in crop plants*. John Wiley and Sons. New York. pp. 343-372.
- Watson, D. J. 1952. The physiological basis of variation in yield. *Adv. Agron.* 4: 101-145.
- Watson, D. J. 1947. Comparative physiological studies on the growth of field crops. I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties and within and between years. *Ann. Bot.* 11: 41-76.
- Wallace, D.H., and H.M. Munger. 1965. Studies of the physiological basis for yield differences. I. Growth analysis of six dry bean varieties. *Crop Science* 5: 343-348.
- White, J. W., and S. P. Singh. 1991. Breeding for adaptation to drought. In: van Schoonhoven, A. and O. Voysest (eds.). *Common beans: Research for crop improvement*. C. A. B. Intl. U. K. and CIAT, Cali, Colombia. pp. 501-560.
- White, J. W., and J. Izquierdo. 1991. Physiology of yield potential and stress tolerance. In: van Schoonhoven, A. and O. Voysest (eds.). *Common beans: Research for crop improvement*. C. A. B. Intl. U. K. and CIAT, Cali, Colombia. pp. 287-382.
- Zavala Olalde, J. A., P. Vargas Vázquez y J. S. Muruaga Martínez. 2000. Comparación del desarrollo de tres variedades de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) y una de frijol ayocote (*P. coccineus*). *Agricultura Técnica en México*. 26: 173-181.