



# COLEGIO DE POSTGRADUADOS

---

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

FISIOLOGÍA VEGETAL

## VARIACIÓN EN CRECIMIENTO, RENDIMIENTO Y SUS COMPONENTES, FENOLOGÍA, Y EFICIENCIA TRANSPIRATORIA EN FRIJOL COMÚN CON RIEGO Y DÉFICIT HÍDRICO

CELIA SELENE ROMERO FÉLIX

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTORA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2016

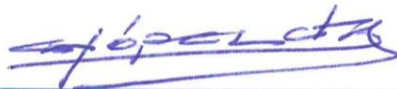
La presente tesis titulada: **VARIACIÓN EN CRECIMIENTO, RENDIMIENTO Y SUS COMPONENTES, FENOLOGÍA, Y EFICIENCIA TRANSPIRATORIA EN FRIJOL COMÚN CON RIEGO Y DÉFICIT HÍDRICO**, realizada por la alumna: **CELIA SELENE ROMERO FÉLIX** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTORA EN CIENCIAS  
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

FISIOLOGÍA VEGETAL

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



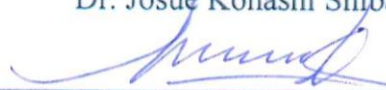
Dr. Cándido López Castañeda

ASESOR



Dr. Josué Kohashi Shibata

ASESOR



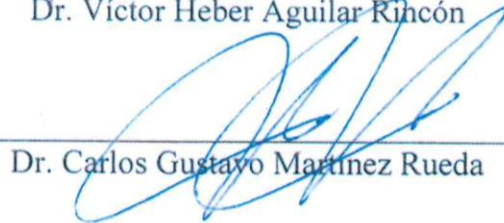
Dr. Salvador Miranda Colín

ASESOR



Dr. Víctor Heber Aguilar Rincón

ASESOR



Dr. Carlos Gustavo Martínez Rueda

Montecillo, Texcoco, Estado de México, noviembre de 2016

# VARIACIÓN EN CRECIMIENTO, RENDIMIENTO Y SUS COMPONENTES, FENOLOGÍA, Y EFICIENCIA TRANSPIRATORIA EN FRIJOL COMÚN CON RIEGO Y DÉFICIT HÍDRICO

Celia Selene Romero Félix, Dra.  
Colegio de Postgraduados, 2016

## RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue estudiar la respuesta del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en variables agronómicas y fisiológicas al déficit hídrico edáfico en Montecillo, Texcoco, Estado de México. Para este propósito, se establecieron los siguientes experimentos: en campo en los ciclos primavera-verano 2013 y en verano-otoño de 2014, y en invernadero en primavera-verano 2014; para los experimentos de campo, la unidad experimental consistió de cuatro surcos de 5 m de longitud y 0.8 m de ancho; y para invernadero fue una planta, cuyo sistema radical se desarrolló en un tubo de polietileno con suelo y el nivel de humedad se determinó por pesadas. Se emplearon tres variedades de frijol con semilla de color negro, ocho variedades de tipo Flor de Mayo y el criollo Michoacán-128. Para todos los experimentos se establecieron los testigos bajo riego y tratamientos de déficit hídrico, bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones para riego y tres para déficit hídrico. Se determinó el crecimiento de la biomasa aérea y del área foliar, así como los componentes del rendimiento y la fenología; adicionalmente, en el experimento de invernadero se evaluó la biomasa del sistema radical, longitud de raíz y la eficiencia transpiratoria. En experimentos de campo, el rendimiento de semilla y sus componentes fueron mayores en el ciclo primavera-verano 2013 que en el verano-otoño de 2014, y en el riego que en déficit hídrico. Por el contrario, el número de días a inicio de floración, anthesis y madurez fisiológica fue menor en primavera-verano de 2013 que en el verano-otoño de 2014, y en el déficit hídrico que en riego. En primavera-verano 2013, las variedades de tipo Flor de Mayo exhibieron mayor índice de área foliar, tasa de crecimiento del cultivo y tasa de asimilación neta en comparación con las variedades de semilla de color negro; las variedades tipo Flor de Mayo mostraron menor cociente de área foliar, área foliar específica y cociente de peso seco de hojas que las otras variedades. En invernadero, el déficit hídrico disminuyó el rendimiento de semilla y sus componentes, la fenología y el área foliar de la planta, mientras que incrementó la biomasa del sistema radical, la longitud de raíz y la eficiencia transpiratoria.

**Palabras clave:** Ciclos de cultivo, área foliar, rendimiento de semilla y sus componentes, sistema radical, eficiencia transpiratoria.

# VARIATION IN GROWTH, YIELD AND ITS COMPONENTS, PHENOLOGY, AND TRANSPIRATION EFFICIENCY IN COMMON BEAN IN IRRIGATION AND WATER DEFICIT

Celia Selene Romero Félix, Dra.  
Colegio de Postgraduados, 2016

## ABSTRACT

The objective of the present work was to study the response of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in agronomical and physiological variables to edaphic water deficit in Montecillo, Texcoco, State of Mexico. For this purpose, the following experiments were established: in field in the spring-summer 2013 cycle and summer-autumn 2014, and in the spring-summer 2014 in greenhouse; for the field experiments, the experimental unit consisted of four rows 5 m length and 0.8 m wide; and for greenhouse was a plant whose radical system was developed in a polyethylene tube, filled with soil and the humidity level was determined by weighing. Three varieties of beans with black-seed, eight varieties of Flor de Mayo type and the landrace Michoacán-128 were employed. For all experiments, controls were established under irrigation and water-deficit treatments, under complete randomized blocks experimental design with three replications for watered and three for water-deficit. The growth of aerial biomass and of the leaf area were determined as well yield components and phenology; additionally, in the greenhouse experiment the biomass of the root system, root length and the transpiration efficiency, were evaluated. In field experiments, the seed yield and its components were higher in the spring-summer 2013 cycle than in the summer-autumn of 2014, and in watered than in water-deficit. In contrast, the number of days at the beginning of flowering, anthesis and physiological maturity was lower in spring-summer 2013 than in summer-autumn of 2014, and in water-deficit than in watered. In spring-summer 2013, Flor de Mayo varieties type exhibited a higher leaf area index, crop growth rate and net assimilation rate compared to black-seed varieties; the Flor de Mayo varieties type showed lower leaf area ratio, specific leaf area and leaf dry weight ratio than the other varieties. In greenhouse, the water-deficit decreased the seed yield and its components, the phenology and leaf area of the plant, while increasing the biomass of the root system, root length and transpiration efficiency.

**Key words:** Seasonal crop cycles, leaf area, seed yield and its components, root system, transpiration efficiency.

## DEDICATORIA

A Dios le doy gracias por ayudarme a culminar esta etapa. Gracias por las fuerzas que me otorgas para seguir adelante a pesar de las pérdidas irreparables que he tenido durante el trayecto.

A mis padres Severiana y José, gracias por confiar en mí y por apoyarme en cada una de las decisiones que he tomado.

A mi compañero de vida y amigo, Fidel, le doy las gracias por su amor, cariño, paciencia, comprensión, y por caminar a mi lado en los momentos difíciles y felices de mi vida.

A mi pequeña hija Miranda, gracias por el amor más puro y sincero que me das, por impulsar cada día de mi vida a seguir adelante, viendo tu sonrisa, sintiendo tus besos y abrazos que duraran toda la vida, eres mi todo amorcito.

A mis hermanos Adrián, Mayra, Ana Leydi, Christian y José Manuel, a quienes quiero mucho. El tiempo y la distancia nos ha separado por varios años, sin embargo, siempre han estado presentes en mi pensamiento y corazón.

A mis abuelos Teresa, José Juan, Rosa y Manuel (q.e.p.d), gracias por su ejemplo, sobre todo gracias a mamá Rosa y papá Manuel, por todo el cariño y apoyo que me brindaron hasta su último aliento, siempre los llevare en mi corazón.

A mis sobrinos Kevin, Valeria, Adriana, Ximena y Adriancito, gracias mis pequeños amores por formar parte de mi vida.

A mis suegros, Elifonso y Eufrasia, gracias por sus muestras de cariño y por el apoyo incondicional que siempre nos han otorgado, apoyo que siempre sabré reconocer y valorar.

A mis amigos (a) Lupita Valadez, Gumersinda Castro, Maricela López, Abel Santillán, Vianey Chang, Paula Trejo, Mónica López, Juliana, gracias por ser una luz en mi camino y sobre todo por su valiosa amistad.

A mis cuñad@s gracias por formar parte de mi familia.

A mi incondicional amiga Delma Gastelum, contigo he aprendido que a pesar de las adversidades una buena amistad no termina, al contrario, sigue y se hace más fuerte, gracias por estar presente en todo momento.

## **AGRADECIMIENTOS**

Gracias al pueblo de México, que al pagar sus impuestos hacen posible que muchas personas podamos seguir estudiando.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), gracias por la beca otorgada para la realización de mis estudios de doctorado.

Al Colegio de Postgraduados, especialmente al programa de Fisiología Vegetal por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios de doctorado.

A los miembros del consejo particular: Dr. Cándido López Castañeda, Dr. Josué Kohashi Shibata, Dr. Salvador Miranda Colín, Dr. Víctor Heber Aguilar Rincón y Dr. Carlos Gustavo Martínez Rueda, gracias por sus valiosas sugerencias para mejorar la redacción de esta tesis, por compartir su conocimiento, por su dedicación, enseñanzas y paciencia durante mi formación académica, y sobre todo gracias por su amistad.

Al Dr. Nicacio Cruz Huerta gracias por regalarme minutos de su tiempo para aclarar algunas dudas y lo más importante por su amistad.

A los trabajadores del invernadero y laboratorio de resistencia a sequía, Sres. José Fidel Pérez Romero y Juan Alvarado, gracias por su ayuda en la toma de datos, y sobre todo gracias por su amistad.

A los Sres. José Luis Sánchez y Miguel A. Núñez, gracias por ser la brújula y GPS en momentos en los cuales se requirió una firma para un trámite, gracias por recibirme amablemente en su laboratorio y por su amistad.

A la familia Salinas Romero gracias por su ayuda y por la bonita amistad que surgió durante este tiempo.

A la familia Bautista Rodríguez y Rodríguez Dorantes, mil gracias por cuidar al tesoro más preciado que es mi hija Miranda, gracias por el cariño y paciencia que le tuvieron desde que era una bebé y por la amistad que surgió durante este tiempo.

Al jardín de niños Gabriela Mistral y a todas sus docentes, especialmente a Maricela López y Mariana Jiménez, gracias por el trato digno que otorgaron a Miranda y por su amabilidad, siempre las recordaremos con mucho cariño.

## CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>iv</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>v</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>vi</b>
<b>LISTA DE CUADROS</b> .....	<b>x</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>xii</b>
<b>LISTA DE CUADROS DEL APÉNDICE</b> .....	<b>xvi</b>
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL</b> .....	<b>1</b>
1.2 OBJETIVO GENERAL .....	2
1.2.1 Objetivos específicos: .....	2
1.3 HIPÓTESIS GENERAL .....	3
1.3.1 Hipótesis específicas: .....	3
1.4 LITERATURA CITADA.....	4
<b>CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	<b>6</b>
2.1 RENDIMIENTO DE SEMILLA, BIOMASA AÉREA E ÍNDICE DE COSECHA.....	6
2.2 COMPONENTES DEL RENDIMIENTO .....	6
2.3 EFECTO DEL CICLO DE CULTIVO EN EL RENDIMIENTO Y SUS COMPONENTES .....	7
2.4 EFECTO DEL CICLO DE CULTIVO EN LA FENOLOGÍA.....	8
2.5 EFECTO DE LA SEQUÍA EN EL RENDIMIENTO Y SUS COMPONENTES.....	8
2.6 EFECTO DE LA SEQUÍA EN LA FENOLOGÍA.....	10
2.7 ÁREA FOLIAR.....	10
2.8 EFECTO DE LA SEQUÍA EN EL CRECIMIENTO DEL ÁREA FOLIAR.....	11
2.9 MATERIA SECA O BIOMASA .....	11
2.10 TASA DE CRECIMIENTO DEL CULTIVO .....	13
2.11 TASA DE ASIMILACIÓN NETA .....	13
2.12 COCIENTE DE ÁREA FOLIAR .....	13
2.13 ÁREA FOLIAR ESPECIFICA .....	14
2.14 COCIENTE DE PESO SECO DE HOJAS .....	15
2.15 EFECTO DE LA SEQUÍA EN EL CRECIMIENTO DE LAS RAÍCES.....	16
2.16 EFECTO DE LA SEQUÍA EN LA TRANSPIRACIÓN TOTAL Y EFICIENCIA TRANSPIRATORIA .....	17
2.17 CARACTERES ÚTILES PARA LA SELECCIÓN BAJO SEQUÍA .....	18

2.18 LITERATURA CITADA.....	19
<b>CAPÍTULO 3. VARIACIÓN EN RENDIMIENTO DE SEMILLA Y SUS COMPONENTES EN FRIJOL BAJO DIFERENTES NIVELES DE HUMEDAD EDÁFICA.....</b>	<b>27</b>
3.1 INTRODUCCIÓN .....	27
3.2. MATERIALES Y MÉTODOS .....	28
3.2.1 Sitio experimental .....	28
3.2.2 Material genético.....	29
3.2.3 Diseño experimental.....	29
3.2.4. Variables de estudio .....	30
3.2.5 Análisis estadístico.....	32
3.3 RESULTADOS.....	33
3.3.1 Datos meteorológicos.....	33
3.3.2 Contenido hídrico del suelo.....	34
3.3.3 Análisis estadístico.....	36
3.3.4 Rendimiento de semilla, biomasa aérea final, índice de cosecha y componentes del rendimiento.....	37
3.3.5 Etapas fenológicas.....	46
3.3.6 Acumulación de biomasa aérea al inicio de floración, antesis y madurez fisiológica ..	53
3.4 DISCUSIÓN.....	57
3.4.1 Variación del ambiente.....	57
3.4.2 Variación en rendimiento de semilla, biomasa aérea final, índice de cosecha y componentes del rendimiento.....	57
3.4.3 Variación en fenología .....	62
3.4.4 Relación entre el rendimiento de semilla y sus componentes .....	64
3.4.5 Variación en acumulación de biomasa aérea al inicio de floración, antesis y madurez fisiológica.....	66
3.5 CONCLUSIONES .....	68
3.6 LITERATURA CITADA.....	71
<b>CAPÍTULO 4. VARIACIÓN EN LA TASA DE CRECIMIENTO DEL CULTIVO Y SUS COMPONENTES MORFOLÓGICOS Y FISIOLÓGICOS EN FRIJOL BAJO CONDICIONES DE SECAÑO .....</b>	<b>76</b>
4.1 INTRODUCCIÓN .....	76
4.2 MATERIALES Y MÉTODOS .....	77
4.2.1 Sitio experimental .....	77
4.2.2 Material genético.....	77
4.2.3 Diseño experimental.....	78



4.2.4 Variables medidas y calculadas.....	79
4.2.5 Análisis estadístico.....	81
4.3 RESULTADOS.....	81
4.3.1 Datos meteorológicos.....	81
4.3.2 Análisis estadístico.....	82
4.3.3 Análisis del crecimiento.....	83
4.4 DISCUSIÓN.....	101
4.4.1 Índice de área foliar y acumulación de biomasa aérea.....	101
4.4.2 Tasa de crecimiento del cultivo.....	103
4.4.3 Tasa de asimilación neta.....	104
4.4.4 Cociente de área foliar, área foliar específica y cociente de peso seco de hojas.....	105
4.5 CONCLUSIONES.....	107
4.6 LITERATURA CITADA.....	107
<b>CAPÍTULO 5. VARIACIÓN EN CRECIMIENTO DEL ÁREA FOLIAR Y RAÍCES, RENDIMIENTO Y SUS COMPONENTES, Y EFICIENCIA TRANSPIRATORIA EN FRIJOL BAJO RIEGO Y SEQUÍA EN INVERNADERO.....</b>	<b>111</b>
5.1 INTRODUCCIÓN.....	111
5.2 MATERIALES Y MÉTODOS.....	113
5.2.1 Sitio experimental.....	113
5.2.2 Material genético.....	114
5.2.3 Diseño experimental y tratamientos de humedad edáfica.....	114
5.2.4 Variables medidas.....	115
5.2.5 Análisis estadístico.....	116
5.3 RESULTADOS.....	117
5.3.1 Datos meteorológicos.....	117
5.3.2 Contenido de humedad edáfica.....	118
5.3.3 Análisis estadístico.....	118
5.3.4 Comparación de medias.....	120
5.4 DISCUSIÓN.....	138
5.4.1 Temperatura y contenido hídrico edáfico.....	138
5.4.2 Riego.....	139
5.4.3 Sequía.....	141
5.4.4 Riego vs. Sequía.....	143
5.4.5 Interacción variedades x niveles de humedad (Diferencia riego – sequía).....	145
5.4.6 Relación entre el rendimiento de semilla, sus componentes, y fenología de la planta.....	147

5.5 CONCLUSIONES .....	147
5.6 LITERATURA CITADA.....	148
<b>CAPÍTULO 6 CONCLUSIONES GENERALES .....</b>	<b>153</b>

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 3.1 Material genético utilizado en los experimentos de campo.....	29
Cuadro 3.2 Rendimiento de semilla (RS) y biomasa aérea final (BMAF) en condiciones de riego (R), temporal (T), promedio riego-temporal (RT) y promedio de riego (PR) y temporal (PT) y promedio de variedades (V) de los experimentos E-I (ciclo primavera-verano 2013) y E-II (ciclo verano-otoño 2014). Montecillo, Texcoco, Estado de México.....	39
Cuadro 3.3 Índice de cosecha (IC), índice de cosecha <i>modificado</i> (ICm) y vainas normales m <sup>-2</sup> (VN M <sup>-2</sup> ) en condiciones de riego (R), temporal (T), promedio riego-temporal (RT) y promedio de riego (PR) y temporal (PT) y promedio de variedades (V) de los experimentos E-I (ciclo primavera-verano 2013) y E-II (verano-otoño 2014). Montecillo, Texcoco, Estado de México.....	41
Cuadro 3.4 Semillas normales m <sup>-2</sup> (SN M <sup>-2</sup> ) y peso de 200 semillas (P200S) en condiciones de riego (R), temporal (T), promedio riego-temporal (RT) y promedio de riego (PR) y temporal (PT) y promedio de variedades (V) de los experimentos E-I (ciclo primavera-verano 2013) y E-II (ciclo verano-otoño 2014). Montecillo, Texcoco, Estado de México. ....	43
Cuadro 3.5 Semillas vaina <sup>-1</sup> (S V <sup>-1</sup> ) y altura de planta (AP) en condiciones de riego (R), temporal (T), promedio riego-temporal (RT) y promedio de riego (PR) y temporal (PT) y promedio de variedades (V) de los experimentos E-I (ciclo primavera-verano 2013) y E-II (ciclo verano-otoño 2014). Montecillo, Texcoco, Estado de México. ....	45
Cuadro 3.6 Número de días a inicio de la floración (IF) y antesis (A) en condiciones de riego (R), temporal (T), promedio riego-temporal (RT) y promedio de riego (PR) y temporal (PT) y promedio de variedades (V) de los experimentos E-I (ciclo primavera-verano 2013) y E-II (ciclo verano-otoño 2014). Montecillo, Texcoco, Estado de México.....	47
Cuadro 3.7 Madurez fisiológica (MF) en condiciones de riego (R), temporal (T), promedio riego-temporal (RT) y promedio de riego (PR) y temporal (PT) y promedio de variedades (V) de los experimentos E-I (ciclo primavera-verano 2013) y E-II (ciclo verano otoño 2014). Montecillo, Texcoco, Estado de México. ....	49
Cuadro 3.8 Intervalo a inicio de floración-antesis (IIF-A) e intervalo antesis-madurez fisiológica (IA-MF) en condiciones de riego (R), temporal (T), promedio riego-temporal (RT) y promedio de riego (PR) y temporal (PT) y promedio de variedades (V) de los experimentos E-I (ciclo primavera-verano 2013) y E-II (ciclo verano-otoño 2014). Montecillo, Texcoco, Estado de México.....	51
Cuadro 4.1 Material genético de frijol utilizado en el experimento.....	78
Cuadro 5.1 Material genético utilizado en el experimento. ....	114
Cuadro 5.2 Rendimiento de semilla y sus componentes, y fenología de la planta en riego. Ciclo primavera-verano 2014. Montecillo, Texcoco, Estado de México. ....	121
Cuadro 5.3 Biomasa de raíces en diferentes estratos del suelo, biomasa total de raíces, cociente raíz/parte aérea, longitud máxima de raíz y biomasa total de la planta en riego. Ciclo primavera-verano 2014. Montecillo, Texcoco, Estado de México. ....	123

Cuadro 5.4 Eficiencia transpiratoria para producir biomasa total ( $ET_{BMT}$ ) y transpiración total ( $T_T$ ) de la planta en riego. Ciclo primavera-verano 2014. Montecillo, Texcoco, Estado de México. ....	125
Cuadro 5.5 Rendimiento de semilla y sus componentes, y fenología de la planta en sequía. Ciclo primavera-verano 2014. Montecillo, Texcoco, Estado de México. ....	126
Cuadro 5.6 Biomasa de raíces en diferentes estratos del suelo, biomasa total de raíces, cociente raíz/parte aérea, longitud máxima de raíz y biomasa total de la planta en sequía. Ciclo primavera-verano 2014. Montecillo, Texcoco, Estado de México. ....	128
Cuadro 5.7 Eficiencia transpiratoria para producir biomasa total ( $ET_{BMT}$ ) y transpiración total ( $T_T$ ) de la planta en sequía. Ciclo primavera-verano 2014. Montecillo, Texcoco, Estado de México. ....	130
Cuadro 5.8 Rendimiento de semilla y sus componentes, y fenología de la planta en promedio de variedades para riego y sequía. Ciclo primavera-verano 2014. Montecillo, Texcoco, Estado de México. ....	130
Cuadro 5.9 Biomasa de raíces en diferentes estratos del suelo, biomasa total de raíces, cociente raíz/parte aérea, longitud máxima de raíz y biomasa total de la planta en promedio de variedades para riego y sequía. Ciclo primavera-verano 2014. Montecillo, Texcoco, Estado de México. ....	132
Cuadro 5.10 Eficiencia transpiratoria para producir biomasa total ( $ET_{BMT}$ ) y transpiración total ( $T_T$ ) de la planta en promedio de variedades para riego y sequía. Ciclo primavera-verano 2014. Montecillo, Texcoco, Estado de México. ....	133
Cuadro 5.11 Diferencia riego – sequía para rendimiento de semilla y sus componentes, y fenología de la planta. Ciclo primavera-verano 2014. Montecillo, Texcoco, Estado de México. ....	134
Cuadro 5.12 Diferencia riego – sequía para biomasa de raíces en diferentes estratos del suelo, biomasa total de raíces (BMTR), longitud máxima de raíz (LMR) y biomasa total de la planta (BMT). Ciclo primavera-verano 2014. Montecillo, Texcoco, Estado de México. ....	136
Cuadro 5.13 Diferencia riego – sequía para la eficiencia transpiratoria para la biomasa total de la planta. Ciclo primavera-verano 2014. Montecillo, Texcoco, Estado de México. ....	137
Cuadro 5.14 Coeficientes de correlación simple entre la diferencia riego – sequía para el rendimiento de semilla y la diferencia riego – sequía para los componentes del rendimiento y la fenología de la planta. Ciclo primavera-verano 2014. Montecillo, Texcoco, Estado de México. ....	138

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 3.1 Temperatura máxima y mínima del aire promedio semanal, y precipitación acumulada semanalmente en el E-I, ciclo primavera-verano 2013 (a) y E-II ciclo verano-otoño 2014 (b). Montecillo, Texcoco, Estado de México. IF= inicio de floración; A= Antesis; MF= madurez fisiológica. ....34
- Figura 3.2 Contenido de humedad edáfica en las profundidades de 0-20 cm (a), 20-40 cm (b), 40-60 (c) y 60-80 cm (d), en temporal durante el experimento en campo. Ciclo primavera-verano 2013 (E-I). Montecillo, Texcoco, Estado de México. CC= capacidad de campo; PMP= porcentaje de marchitamiento permanente; IF= inicio de floración; A= antesis y MF= madurez fisiológica. ....35
- Figura 3.3 Contenido de humedad edáfica en las profundidades de 0-20 cm (a), 20-40 cm (b), 40-60 (c) y 60-80 cm (d) en temporal durante el experimento en campo. Ciclo verano-otoño 2014 (E-IIi). Montecillo, Texcoco, Estado de México. CC= capacidad de campo; PMP= porcentaje de marchitamiento permanente; IF= inicio de floración; A= antesis y MF= madurez fisiológica. ....36
- Figura 3.4 Relación entre el rendimiento de semilla y la biomasa aérea final (a), peso de 200 semillas (b) y altura de planta (c) en promedio de riego y temporal de los experimentos E-I y E-II. Montecillo, Texcoco, Estado de México. **\*\***( $p \leq 0.01$ ). ....52
- Figura 3.5 Rendimiento de semilla como una función del número de semillas por m<sup>2</sup> y peso individual de semilla en mg, en promedio de riego y temporal de los experimentos E-I y E-II. Montecillo, Texcoco, Estado de México. Las curvas dentro de la figura indican líneas de isorendimiento en g m<sup>-2</sup>. ....53
- Figura 3.6 Acumulación de biomasa aérea en inicio de floración (IF), antesis (A) y madurez fisiológica (MF) en riego y temporal (a), variedades del tipo ‘Flor de Mayo’ y negros del sur de Veracruz (b), variedades del tipo ‘Flor de Mayo’ (c) y variedades del sur de Veracruz (d) en promedio de riego y temporal en el experimento E-II. Ciclo verano-otoño 2014. Montecillo, Texcoco, Estado de México. IF= inicio de floración; A= antesis; MF= madurez fisiológica. **\*\***( $p \leq 0.01$ ), **\***( $p \leq 0.05$ ), ns= no significativo. ....54
- Figura 3.7 Relación entre rendimiento de semilla y biomasa aérea acumulada entre inicio de floración-antesis (a) y antesis-madurez fisiológica (b) en el experimento E-II. Ciclo verano-otoño 2014. Montecillo, Texcoco, Estado de México. **\***( $p \leq 0.05$ ), ns= no significativo. ....55
- Figura 3.8 Relación entre rendimiento de semilla y el índice de cosecha en promedio de riego y temporal para el experimento E-II, ciclo verano-otoño 2014 (a) y promedio de riego y temporal para el experimento E-I, ciclo primavera-verano 2013 (b). Montecillo, Texcoco, Estado de México. **\*\***( $p \leq 0.01$ ), ns= no significativo. ....56
- Figura 4.1 Temperatura máxima y mínima media semanal, y precipitación acumulada semanalmente durante el ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México. IF= inicio de la floración, A= antesis, MF= madurez fisiológica. ....82
- Figura 4.2 Índice de área foliar en promedio para las variedades del tipo ‘Flor de Mayo’ y negros del sur de Veracruz. Ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México. IF= inicio de la floración, A= antesis, MF= madurez fisiológica. **\*\***( $p \leq 0.01$ ), **\***( $p \leq 0.05$ ), ns= no significativo. ....84

Figura 4.3 Índice de área foliar para las variedades del sur de Veracruz. Ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México. IF= inicio de la floración, A= antesis, MF= madurez fisiológica. **( $p \leq 0.01$ ), *( $p \leq 0.05$ ), ns= no significativo.....	84
Figura 4.4 Índice del área foliar para las variedades del tipo ‘Flor de Mayo’. Ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México. IF= inicio de la floración, A= antesis, MF= madurez fisiológica. **( $p \leq 0.01$ ), *( $p \leq 0.05$ ), ns= no significativo.....	85
Figura 4.5 Biomasa aérea en promedio de las variedades del tipo ‘Flor de Mayo’ y negros del sur de Veracruz. Ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México. IF= inicio de la floración, A= antesis, MF= madurez fisiológica. **( $p \leq 0.01$ ), *( $p \leq 0.05$ ), ns= no significativo.....	86
Figura 4.6 Biomasa aérea para las variedades del sur de Veracruz. Ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México. IF= inicio de la floración, A= antesis, MF= madurez fisiológica. **( $p \leq 0.01$ ), *( $p \leq 0.05$ ), ns= no significativo. ....	86
Figura 4.7 Biomasa aérea para las variedades del tipo ‘flor de mayo’. Ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México. IF= inicio de la floración, A= antesis, MF= madurez fisiológica. **( $p \leq 0.01$ ), *( $p \leq 0.05$ ), ns= no significativo. ....	87
Figura 4.8 Tasa de crecimiento del cultivo en promedio de las variedades del tipo ‘Flor de Mayo’ y negros del sur de Veracruz. Ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México. IF= inicio de la floración, A= antesis, MF= madurez fisiológica. **( $p \leq 0.01$ ), *( $p \leq 0.05$ ), ns= no significativo. ....	88
Figura 4.9 Tasa de crecimiento del cultivo para las variedades del sur de Veracruz. Ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México. IF= inicio de la floración, A= antesis, MF= madurez fisiológica. **( $p \leq 0.01$ ), *( $p \leq 0.05$ ), ns= no significativo.....	88
Figura 4.10 Tasa de crecimiento del cultivo para las variedades del tipo ‘Flor de Mayo’ (c). Ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México. IF= inicio de la floración, A= antesis, MF= madurez fisiológica. **( $p \leq 0.01$ ), *( $p \leq 0.05$ ), ns= no significativo.....	89
Figura 4.11 Relación entre los valores máximos del índice de área foliar (85-97 dds) y sus correspondientes valores de la tasa de crecimiento del cultivo (85-97 dds), para las variedades del tipo ‘Flor de Mayo’ y Negros del sur de Veracruz. Ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México.....	90
Figura 4.12 Tasa de asimilación neta en promedio de las variedades del tipo ‘Flor de Mayo’ y negros del sur de Veracruz. Ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México. IF= inicio de la floración, A= antesis, MF= madurez fisiológica. **( $p \leq 0.01$ ), *( $p \leq 0.05$ ), ns= no significativo. ....	91
Figura 4.13 Tasa de asimilación neta para las variedades del sur de Veracruz. Ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México. IF= inicio de la floración, A= antesis, MF= madurez fisiológica. **( $p \leq 0.01$ ), *( $p \leq 0.05$ ), ns= no significativo.....	91
Figura 4.14 Tasa de asimilación neta para las variedades del tipo ‘Flor de Mayo’. Ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México. IF= inicio de la floración, A= antesis, MF= madurez fisiológica. **( $p \leq 0.01$ ), *( $p \leq 0.05$ ), ns= no significativo.....	92

Figura 4.15 Relación entre los valores máximos de la tasa de asimilación neta (26-43 dds) y sus correspondientes valores de la biomasa aérea (26-43 dds), para las variedades del tipo ‘Flor de Mayo’ y negros del sur de Veracruz. Ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México. ....	93
Figura 4.16 Relación entre los valores máximos de la tasa de asimilación neta (85-97 dds) y sus correspondientes valores de tasa de crecimiento del cultivo (85-97 dds), para las variedades del tipo ‘Flor de Mayo’ y negros del sur de Veracruz. Ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México. ....	94
Figura 4.17 Cociente de área foliar en promedio de las variedades del tipo ‘Flor de Mayo’ y negros del sur de Veracruz. Ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México. IF= inicio de la floración, A= antesis, MF= madurez fisiológica. **( $p \leq 0.01$ ), *( $p \leq 0.05$ ), ns= no significativo. ....	95
Figura 4.18 Cociente de área foliar para las variedades del sur de Veracruz. Ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México. IF= inicio de la floración, A= antesis, MF= madurez fisiológica. **( $p \leq 0.01$ ), *( $p \leq 0.05$ ), ns= no significativo. ....	95
Figura 4.19 Cociente de área foliar para las variedades del tipo ‘Flor de Mayo’. Ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México. IF= inicio de la floración, A= antesis, MF= madurez fisiológica. **( $p \leq 0.01$ ), *( $p \leq 0.05$ ), ns= no significativo. ....	96
Figura 4.20 Relación entre los valores máximos del cociente de área foliar (55-69 dds) y sus correspondientes valores de la tasa de asimilación neta (55-69 dds), para las variedades del tipo ‘Flor de Mayo’ y negros del sur de Veracruz. Ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México. ....	97
Figura 4.21 Área foliar específica en promedio de las variedades del tipo ‘Flor de Mayo’ y negros del sur de Veracruz. Ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México. IF= inicio de la floración, A= antesis, MF= madurez fisiológica. **( $p \leq 0.01$ ), *( $p \leq 0.05$ ), ns= no significativo. ....	98
Figura 4.22 Área foliar específica para las variedades del sur de Veracruz. Ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México. IF= inicio de la floración, A= antesis, MF= madurez fisiológica. **( $p \leq 0.01$ ), *( $p \leq 0.05$ ), ns= no significativo. ....	98
Figura 4.23 Área foliar específica para las variedades del tipo ‘Flor de Mayo’. Ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México. IF= inicio de la floración, A= antesis, MF= madurez fisiológica. **( $p \leq 0.01$ ), *( $p \leq 0.05$ ), ns= no significativo. ....	99
Figura 4.24 Cociente de peso seco de hojas en promedio de las variedades del tipo ‘Flor de Mayo’ y negros del sur de Veracruz. Ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México. IF= inicio de la floración, A= antesis, MF= madurez fisiológica. **( $p \leq 0.01$ ), *( $p \leq 0.05$ ), ns= no significativo. ....	100
Figura 4.25 Cociente de peso seco de hojas para las variedades del sur de Veracruz. Ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México. IF= inicio de la floración, A= antesis, MF= madurez fisiológica. **( $p \leq 0.01$ ), *( $p \leq 0.05$ ), ns= no significativo. ....	100
Figura 4.26 Cociente de peso seco de hojas para las variedades del tipo ‘Flor de Mayo’. Ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México. IF= inicio de la floración, A= antesis, MF= madurez fisiológica. **( $p \leq 0.01$ ), *( $p \leq 0.05$ ), ns= no significativo. ....	101

Figura 5.1 Temperatura máxima y mínima del aire promedio semanal. Ciclo primavera-verano 2014. Montecillo, Texcoco, Estado de México. Fs = número de días a floración en sequía; FR = número de días a floración en riego; MFR= número de días a madurez fisiológica en riego; MFS= número de días a madurez fisiológica en sequía.....	117
Figura 5.2 Contenido de humedad edáfica en riego y sequía. Ciclo primavera-verano 2014. Montecillo, Texcoco, Estado de México. CC= capacidad de campo; PMP= porcentaje de marchitamiento permanente; Fs = número de días a floración en sequía; FR = número de días a floración en riego; MFR= número de días a madurez fisiológica en riego; MFS= número de días a madurez fisiológica en sequía. ....	118
Figura 5.3 Área foliar durante el ciclo biológico en riego. Ciclo primavera-verano 2014. Montecillo, Texcoco, Estado de México. F= número de días a floración; MF= número de días a madurez fisiológica. **(p≤0.01), *(p≤0.05), ns= no significativo. ....	122
Figura 5.4 Biomasa total de raíces en los estratos de 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 y 80-100 cm del suelo en riego. Ciclo primavera-verano 2014. Montecillo, Texcoco, Estado de México. ** (p≤0.01), *(p≤0.05), ns.= no significativo. ....	124
Figura 5.5 Área foliar durante el ciclo biológico en sequía. Ciclo primavera-verano 2014. Montecillo, Texcoco, Estado de México. F= número de días a floración; MF= número de días a madurez fisiológica; Ips= inicio del periodo de sequía. **(p≤0.01), *(p≤0.05), ns= no significativo. ....	127
Figura 5.6 Biomasa de raíces en los estratos de 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 y 80-100 cm del suelo en sequía. Ciclo primavera-verano 2014. Montecillo, Texcoco, Estado de México. ** (p≤0.01), *(p≤0.05). ....	129
Figura 5.7 Área foliar durante el ciclo biológico en riego y sequía. Ciclo primavera-verano 2014. Montecillo, Texcoco, Estado de México. Fs= número de días a floración en sequía; FR= número de días a floración en riego; MFS = madurez fisiológica en sequía; MFR = madurez fisiológica en riego; Ips= inicio del periodo de sequía. **(p≤0.01), *(p≤0.05), ns= no significativo.....	131
Figura 5.8 Biomasa de raíces en los estratos de 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 y 80-100 cm del suelo en riego y sequía. Ciclo primavera-verano 2014. Montecillo, Texcoco, Estado de México. ** (p≤0.01), *(p≤0.05). ....	133



## LISTA DE CUADROS DEL APÉNDICE

Cuadro 3.1A. Cuadrados medios del análisis de varianza bajo un modelo estadístico en serie de cuatro experimentos, para el rendimiento de semilla y sus componentes, y fenología. Montecillo, Texcoco, Estado de México.....	154
Cuadro 3.2A Cuadrados medios del análisis de varianza bajo un modelo estadístico de bloques completos al azar, para la acumulación de biomasa aérea al inicio de la floración (BMA-IF), la antesis (BMA-A) y madurez fisiológica (BMA-MF). Ciclo verano-otoño 2014. Montecillo, Texcoco, Estado de México. ....	155
Cuadro 3.3A. Rendimiento de semilla y sus componentes, en los ciclos primavera-verano 2013 y verano-otoño 2014, y en riego y temporal. Montecillo, Texcoco, Estado de México. ....	155
Cuadro 3.4A. Rendimiento de semilla y sus componentes, para la interacción ciclos x ambientes. Montecillo, Texcoco, Estado de México.....	156
Cuadro 3.5A. Rendimiento de semilla y sus componentes, para la comparación entre variedades en promedio de ambientes (riego y temporal) en primavera-verano 2013 y verano-otoño 2014. Montecillo, Texcoco, Estado de México.....	156
Cuadro 3.6A. Rendimiento de semilla y sus componentes, para la interacción ciclos (primavera-verano 2013 y verano-otoño 2014) x variedades. Montecillo, Texcoco, Estado de México. ....	157
Cuadro 3.7A. Rendimiento de semilla y sus componentes, para la interacción ambientes (riego y temporal) x variedades. Montecillo, Texcoco, Estado de México. ....	158
Cuadro 3.8A. Rendimiento de semilla y sus componentes, para la interacción ciclos (primavera-verano 2013 y verano-otoño 2014) x ambientes (riego y temporal) x variedades. Montecillo, Texcoco, Estado de México. ....	159
Cuadro 3.9A. Inicio de floración (IF), antesis (A), madurez fisiológica (MF), intervalo a inicio de floración-antesis (IIF-A) e intervalo antesis madurez fisiológica (IA-MF), para los ciclos primavera-verano 2013 y verano-otoño 2014, y ambientes (riego y temporal). Montecillo, Texcoco, Estado de México. ....	161
Cuadro 3.10A. Inicio de floración (IF), antesis (A), madurez fisiológica (MF), intervalo a inicio de floración-antesis (IIF-A) e intervalo antesis madurez fisiológica (IA-MF), para la interacción ciclos (primavera-verano 2013 y verano-otoño 2014) x ambientes (riego y temporal). Montecillo, Texcoco, Estado de México.....	161
Cuadro 3.11A. Inicio de floración (IF), antesis (A), madurez fisiológica (MF), intervalo a inicio de floración-antesis (IIF-A) e intervalo antesis-madurez fisiológica (IA-MF), para la comparación entre variedades en promedio de ambientes riego y temporal en primavera-verano 2013 y verano-otoño 2014. Montecillo, Texcoco, Estado de México. ....	162
Cuadro 3.12A. Inicio de floración (IF), antesis (A), madurez fisiológica (MF), intervalo a inicio de floración-antesis (IIF-A) e intervalo antesis-madurez fisiológica (IA-MF), para la interacción ciclos (primavera-verano 2013 y verano-otoño 2014) x variedades. Montecillo, Texcoco, Estado de México. ....	163

Cuadro 3.13A. Inicio de floración (IF), antesis (A), madurez fisiológica (MF), intervalo a inicio de floración-antesis (IIF-A) e intervalo antesis-madurez fisiológica (IA-MF), para la interacción ambientes (riego y temporal) x variedades. Montecillo, Texcoco, Estado de México. ....	164
Cuadro 3.14A. Inicio de floración (IF), antesis (A), madurez fisiológica (MF), intervalo a inicio de floración-antesis (IIF-A) e intervalo antesis-madurez fisiológica (IA-MF), para la interacción ciclos (primavera-verano 2013 y verano-otoño 2014) x ambientes (riego y temporal) x variedades. Montecillo, Texcoco, Estado de México.....	165
Cuadro 3.15A. Acumulación de biomasa aérea al inicio de floración (BMA-IF), antesis (BMA-A) y en madurez fisiológica (BMA-MF). Experimento E-II. Ciclo verano-otoño 2014. Montecillo, Texcoco, Estado de México.....	166
Cuadro 4.1A Cuadrados medios del análisis de varianza bajo un modelo estadístico de bloques completos al azar, para el índice de área foliar (IAF), biomasa aérea (BMA), tasa de crecimiento del cultivo (TCC), tasa de asimilación neta (TAN), cociente de área foliar (CAF), área foliar específica (AFE) y cociente de peso seco de hojas (CPSH), determinados en promedio de variedades del tipo ‘Flor de Mayo’ y negros del sur de Veracruz. Ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México. ....	167
Cuadro 4.2A Cuadrados medios del análisis de varianza bajo un modelo estadístico de bloques completos al azar, para el índice de área foliar (IAF), biomasa aérea (BMA), tasa de crecimiento del cultivo (TCC), tasa de asimilación neta (TAN), cociente de área foliar (CAF), área foliar específica (AFE) y cociente de peso seco de hojas (CPSH), determinados en promedio de las 12 variedades. Ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México.....	168
Cuadro 4.3A Índice de área foliar. Ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México.....	169
Cuadro 4.4A Biomasa aérea. Ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México.....	170
Cuadro 4.5A Tasa de crecimiento del cultivo. Ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México. ....	171
Cuadro 4.6A Tasa de asimilación neta. Ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México.....	172
Cuadro 4.7A Cociente de área foliar. Ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México.....	173
Cuadro 4.8A Área foliar específica. Ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México.....	174
Cuadro 4.9A Cociente de peso seco de hojas. Ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México. ....	175
Cuadro 5.1A Cuadrados medios para el área foliar por planta, durante el ciclo biológico. Ciclo primavera-verano 2014. Montecillo, Texcoco, Estado de México. ....	176
Cuadro 5.2A Cuadrados medios para el rendimiento de semilla y sus componentes, y fenología de la planta. Ciclo primavera-verano 2014. Montecillo, Texcoco, Estado de México.....	177

Cuadro 5.3A Cuadrados medios para la biomasa de raíces en diferentes estratos del suelo, biomasa total de raíces, biomasa total de la planta, cociente raíz/parte aérea y máxima longitud de raíz. Ciclo primavera-verano 2014. Montecillo, Texcoco, Estado de México.....	178
Cuadro 5.4A Cuadrados medios para la eficiencia transpiratoria para producir biomasa total ( $ET_{BMT}$ ) y transpiración total ( $T_T$ ) de la planta. Ciclo primavera-verano 2014. Montecillo, Texcoco, Estado de México. ....	179
Cuadro 5.5A Área foliar ( $cm^2$ ) durante el ciclo biológico de las plantas en riego. Ciclo primavera-verano 2014. Montecillo, Texcoco, Estado de México.....	180
Cuadro 5.6A Área foliar ( $cm^2$ ) durante el ciclo biológico de las plantas en sequía. Ciclo primavera-verano 2014. Montecillo, Texcoco, Estado de México.....	180
Cuadro 5.7A Área foliar ( $cm^2$ ) durante el ciclo biológico de las plantas en riego y sequía. Ciclo primavera-verano 2014. Montecillo, Texcoco, Estado de México. ....	181

## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es una de las leguminosas de mayor importancia económica y alimentaria en México; esta leguminosa se siembra en un área aproximada de 78,164 ha en el ciclo primavera-verano (P-V) en riego y un millón 409 mil ha en el ciclo verano-otoño (V-O) en secano o temporal, con un rendimiento promedio de 1.81 y 0.63 t ha<sup>-1</sup>; también se siembra en el ciclo otoño-invierno (O-I) en una superficie de 160 mil ha bajo riego y 126,921 ha en temporal, con rendimientos promedio de 1.33 y 0.71 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente (SAGARPA, 2014). El más bajo rendimiento (65 %) en el ciclo V-O en secano que en el ciclo P-V con riego y en el ciclo O-I en secano (47 %) que en riego, se debe a la incidencia frecuente de factores abióticos y bióticos desfavorables durante el ciclo de crecimiento como son: sequía (Barrios-Gómez *et al.*, 2010), baja fertilidad del suelo y baja retención de humedad (Rosales-Serna *et al.*, 2000), calor (Barrios-Gómez *et al.*, 2011) y heladas (Amador-Ramírez *et al.*, 2007), y la incidencia de plagas (Singh y Schwartz, 2011) y enfermedades foliares (Navarrete-Maya y Acosta-Gallegos, 1999), y de las raíces (Mayek-Pérez *et al.*, 2001) que disminuyen el rendimiento y la calidad de la semilla.

En condiciones de secano la sequía es el principal factor limitante de la producción entre todos los factores bióticos y abióticos que disminuyen el rendimiento de frijol; el déficit hídrico puede presentarse en periodos intermitentes durante el ciclo de la planta o durante la floración y el periodo de formación de la semilla, reduciendo significativamente el rendimiento; por ejemplo, en variedades de frijol de hábito indeterminado tipo III, el déficit hídrico en la fase vegetativa, redujo 39 % el rendimiento de semilla con una disminución en el número de vainas por planta (39 %), semillas por vaina (6 %) y el peso de la semilla (8 %), y cuando la sequía se presentó en la floración y el periodo de formación de la semilla, el rendimiento redujo 51 % con una disminución en el número de vainas por planta (38 %) y semillas por vaina (9 %) (Acosta-Gallegos y Kohashi-Shibata, 1989).

El rendimiento de frijol bajo condiciones de secano con deficiencias hídricas, podría incrementarse al identificar características agronómicas y fisiológicas, que contribuyan a una mayor acumulación de materia seca en la planta y una mayor asignación de peso seco al grano (por ej., una mayor acumulación de materia seca en la semilla con respecto a la biomasa aérea total de la planta); una alta biomasa aérea puede obtenerse al incrementar la tasa de crecimiento del cultivo y la tasa de asimilación neta mediante una mayor área foliar que favorezca una mayor intercepción y eficiencia en el uso de la luz (Blum, 2013).

El área foliar define la capacidad del dosel vegetal para interceptar la radiación fotosintéticamente activa, fuente primaria de energía utilizada por las plantas para la elaboración de tejidos y productos alimenticios (Warnock *et al.*, 2006). El alargamiento del ciclo biológico del cultivo y la interceptación de la radiación solar son los dos componentes que más han contribuido al aumento de la biomasa y la fotosíntesis total de los cultivos y por lo tanto el rendimiento (Richards, 2000). Choudhary *et al.* (2014) determinaron en 15 genotipos de garbanzo que el factor más importante para determinar el rendimiento fue la producción total de materia seca, especialmente al inicio de la formación de vainas y la mayor duración del periodo de llenado de vaina. Un mejor conocimiento de las principales limitaciones del crecimiento de la raíz para aumentar el uso del agua y nutrientes también podría ser útil para aumentar el rendimiento en condiciones limitantes de agua (Richards, 2008); un rápido desarrollo radical y raíces más profundas que ayuden a un mayor acceso al agua en estratos más profundos del subsuelo, permitiendo a las plantas mantener su rendimiento en áreas de secano con limitaciones de humedad (Paez-García *et al.*, 2015).

El estudio de la variación en caracteres fisiológicos y morfológicos de la planta, en condiciones de campo e invernadero, podría ser útil para identificar características que apoyen en la selección de genotipos mejor adaptados a las variaciones hídricas durante el ciclo del cultivo. Con base en lo anterior, el presente trabajo tuvo como objetivos e hipótesis los siguientes:

**1.2 Objetivo general:** Estudiar la variabilidad genética en aspectos de crecimiento de los órganos aéreos y raíz, rendimiento de semilla y sus componentes, y fenología de la planta en un grupo de variedades de frijol del tipo ‘Flor de Mayo’ y frijol negro del sur de Veracruz, en campo bajo condiciones de riego y secano en los ciclos PV 2013 y VO 2014, y en riego y sequía, en invernadero.

### **1.2.1 Objetivos específicos:**

1. Estudiar la variabilidad genética en rendimiento y sus componentes, y fenología del cultivo en condiciones de riego y secano en campo en los ciclos primavera-verano y verano-otoño.

2. Estudiar la variabilidad en crecimiento o acumulación de biomasa aérea, desarrollo del área foliar y la tasa de crecimiento del cultivo, y componentes fisiológicos y morfológicos de la tasa de crecimiento del cultivo, en un grupo de variedades de frijol ‘Flor de Mayo’ y frijol negro del sur de Veracruz en condiciones de secano en el ciclo primavera-verano.
3. Estudiar la variabilidad genética en el crecimiento del área foliar y el sistema radical, rendimiento de semilla y sus componentes, fenología de la planta, y eficiencia transpiratoria en frijol en condiciones de riego y sequía en invernadero.

**1.3 Hipótesis general:** Dentro del germoplasma de frijol del tipo ‘Flor de Mayo’ y negro del sur de Veracruz existe variabilidad genética en caracteres relacionados con el crecimiento de los órganos aéreos y raíz, comportamiento agronómico, y fenología de la planta.

#### **1.3.1 Hipótesis específicas:**

1. El nivel de humedad del suelo y el ciclo de crecimiento del cultivo influyen significativamente en el comportamiento agronómico, y la fenología de los genotipos de frijol.
2. Existe variación genética en características morfológicas y fisiológicas del crecimiento entre genotipos de frijol en condiciones de campo.
3. El déficit hídrico del suelo durante la floración y el periodo de formación de la semilla afecta el desarrollo del área foliar y de la raíz, el rendimiento y sus componentes y la fenología de las plantas.

Por otra parte, el avance genético en la selección de genotipos más productivos y mejor adaptados a condiciones de secano con déficit de humedad edáfica, sobre todo en las etapas de floración y el periodo de formación de la semilla, ha sido muy modesto en los últimos 30 años (SAGARPA, 2014); se estima que la ganancia promedio en rendimiento de semilla en temporal es de  $1.1 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , mientras en riego la tasa de ganancia de rendimiento es de  $12.2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , en el periodo de 1980-2010 (SAGARPA, 2014). La baja tasa de ganancia en rendimiento en temporal en comparación con las áreas de riego, se pueden atribuir a que la selección se ha dirigido

a incorporar en las variedades en uso comercial, características de adaptación y ‘resistencia a sequía’, más que aumentar la presencia en el genotipo, de características de rendimiento ‘per se’.

El presente trabajo de investigación se enfoca al estudio de la variabilidad en características morfológicas y fisiológicas en los órganos aéreos y la raíz, en un grupo de variedades de frijol del tipo ‘Flor de Mayo’ y algunas variedades con semilla de color negro provenientes del sur de Veracruz, en condiciones de campo e invernadero, con el interés de identificar características, que de estar presentes en el germoplasma disponible para el fitomejoramiento, podrían ser utilizadas exitosamente en algún programa convencional de mejoramiento genético, para aumentar el rendimiento de frijol en condiciones de secano con deficiencias hídricas durante el ciclo del cultivo.

#### 1.4 LITERATURA CITADA

- Acosta-Gallegos, J.A and J. Kohashi-Shibata. 1989. Effect of water stress on growth and yield of indeterminate dry-bean (*Phaseolus vulgaris*) cultivars. *Field Crops Research* 20: 81-93.
- Amador-Ramírez, M. D., E. Acosta-Díaz, G. Medina-García and R. Gutiérrez-Luna. 2007. An empirical model to predict yield of rainfed dry bean with Multi-year data. *Revista Fitotecnia Mexicana* 30: 311-319.
- Barrios-Gómez, E. J., C. López-Castañeda, J. Kohashi-Shibata, J. A. Acosta-Gallegos, S. Miranda-Colín y N. Mayek-Pérez. 2010. Rendimiento de semilla y sus componentes en frijol Flor de Mayo en el centro de México. *Agrociencia* 44: 481-489.
- Barrios-Gómez, E. J., C. López-Castañeda y J. Kohashi-Shibata. 2011. Relaciones hídricas y temperaturas altas en frijol del tipo “Flor de Mayo”. *Agronomía Costarricense* 35: 131-145.
- Blum, A. 2013. Heterosis, stress, and the environment: a possible road map towards the general improvement of crop yield. *Journal of Experimental Botany*. Doi: 10.1093/jxb/ert289.
- Choudhary, S., J. Kaur, S. Singh and N. Ghai. 2014. Variations in morpho-physiological and yield attributes of *kabuli* chickpea genotypes in relation to seed size. *Indian Journal Plant Physiology*. Doi: 10.1007/s40502-014-0065-z.
- Mayek-Pérez, N., C. López-Castañeda, E. López-Salinas, J. Cumpián-Gutiérrez y J. A. Acosta-Gallegos. 2001. Resistencia a *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid en frijol común en condiciones de campo en México. *Agrociencia* 35: 649-661.
- Navarrete-Maya, R. y J. Acosta-Gallegos. 1999. Reacción de variedades de frijol común a *Fusarium* spp.y *Rhizoctonia solani* en el Altiplano de México. *Agronomía Mesoamericana* 10: 37-46.
- Paez-Garcia, A., C. M. Motes, W.R. Scxheible, R. Chen, E.B. Blancaflor and M.J. Monteros. 2015. Root traits and phenotyping strategies for plant improvement. *Plants* 4: 334-355.

- Richards, R.A. 2000. Selectable traits to increase crop photosynthesis and yield of grain crops. *Journal of Experimental Botany* 51: 447-458.
- Richards, R.A. 2008. Genetic opportunities to improve cereal root systems for dryland agriculture. *Plant Production Science* 11: 12-16.
- Rosales-Serna, R., P. Ramírez-Vallejo, J. A. Acosta-Gallegos, F. Castillo-González y J. D. Kelly. 2000. Rendimiento de grano y tolerancia a la sequía del frijol común en condiciones de campo. *Agrociencia* 34: 153-165.
- SAGARPA. 2014. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. <http://www.sagarpa.gob.mx> (fecha de consulta 20 de septiembre de 2016).
- Singh, S.P. and H.F. Schwarz. 2011. Review: Breeding common bean for resistance to insect pests and nematodes. *Canadian Journal of Plant Science* 91: 239-250.
- Warnock, R., J. Valenzuela, A. Trujillo, P. Madriz y M. Gutiérrez. 2006. Área foliar, componentes del área foliar y rendimiento de seis genotipos de caraota. *Agronomía Tropical* 56: 21-42.



## **CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1 Rendimiento de semilla, biomasa aérea e índice de cosecha**

El rendimiento se clasifica en rendimiento biológico y rendimiento económico o agronómico (conocidos en inglés como biological yield y economic yield). El término rendimiento biológico fue propuesto por Niciporovich (1960) para representar el total de materia seca acumulada por un sistema de planta (Wallace y Munger, 1966), mientras que el rendimiento económico o agronómico (Donald, 1962) han sido utilizados indistintamente para referirse al volumen o peso seco de todos los órganos de la planta que comprenden el producto del valor económico o agronómico. La proporción de rendimiento biológico representado por el rendimiento económico ha sido llamada “coeficiente de eficacia” (Niciporovich, 1960), “coeficiente de migración” (Tsunoda, 1959) o “índice de cosecha” (Donald, 1962).

El índice de cosecha se define como la proporción de rendimiento biológico representado por el rendimiento económico. En el caso del frijol expresa el porcentaje del peso seco total de la parte aérea de la planta en la madurez, sin incluir las hojas que sufren abscisión al inicio de la madurez, que representa el peso de semilla (Wallace y Munger, 1966). Una forma de obtener un mejor índice de cosecha que correlacione con el rendimiento de semilla es incluyendo el peso seco de órganos que sufren abscisión durante el periodo de crecimiento del cultivo, el cual es llamado índice de cosecha *modificado* (Kohashi-Shibata, 1980).

### **2.2 Componentes del rendimiento**

El rendimiento agronómico en el caso del frijol que se consume a la madurez, está representado por el grano o semilla. El análisis de los componentes del rendimiento puede proporcionar información, por ejemplo, de cuáles son los factores a los que se puede atribuir la diferencia en rendimiento de dos o más variedades. Los componentes del rendimiento en el caso del frijol y otras leguminosas pueden ser morfológicos (número de vainas, número de semillas por vaina, tamaño de la semilla, etc.) o pueden ser fisiológicos, los componentes fisiológicos se obtienen inicialmente son el peso seco (biomasa) y el área foliar. Los otros componentes como el índice de área foliar (leaf area index, LAI en Inglés), índice de cosecha, etc, se obtienen por cálculo a partir de los dos ya citados (Kohashi-Shibata, 1990; Escalante-Estrada y Kohashi-Shibata, 1993). Otros componentes morfológicos como la longitud del vástago o altura de planta en frijoles de

hábito indeterminado, también contribuyen al rendimiento de semilla a través de un mayor número de vainas normales (Morales-Rivera *et al.*, 2015).

### **2.3 Efecto del ciclo de cultivo en el rendimiento y sus componentes**

El frijol se siembra en todos los estados de la República Mexicana en ciclos de cultivo que dependen principalmente de la disponibilidad de humedad en el suelo y condiciones de temperatura favorables para su crecimiento, desarrollo y rendimiento; esto hace posible producir frijol en el ciclo de primavera-verano bajo riego; verano-otoño en temporal; otoño-invierno en riego y temporal (López-Salinas *et al.*, 2012). En estos ciclos de producción, el rendimiento puede variar considerablemente dependiendo también de la localización geográfica. Así, en el ciclo de verano-otoño en Durango, Durango (con 441 mm de lluvia y 17.5 °C de temperatura media y con riegos de auxilio) se obtuvo un rendimiento de semilla de 3.1 t ha<sup>-1</sup>; en otoño-invierno bajo riego en Mazatlán, Sinaloa (800 mm y 24.1 °C) este fue de 3 t ha<sup>-1</sup>; en invierno-primavera en riego en Celaya, Guanajuato (597 mm y 20.6 °C) se obtuvo un rendimiento de 2.9 t ha<sup>-1</sup>; en verano-otoño bajo temporal en Orizaba, Veracruz (2035 mm y 19 °C) el rendimiento fue 1.6 t ha<sup>-1</sup>; en otoño-invierno bajo condiciones de humedad residual del suelo en Juan Rodríguez-Clara, Veracruz (1435 mm y 26.3 °C) se produjo un rendimiento de 0.4 t ha<sup>-1</sup>; en otoño-invierno bajo condiciones de humedad residual en Ocozocoautla, Chiapas (898 mm y 23.6 °C) se tuvo un rendimiento de 0.3 t ha<sup>-1</sup>; (López-Salinas *et al.*, 2012); y en otoño-invierno bajo condiciones de humedad residual en Juan Rodríguez-Clara, Veracruz (513 mm y 26 °C) se produjo un rendimiento de 0.9 t ha<sup>-1</sup> (Morales-Rivera *et al.*, 2015).

La incidencia de enfermedades foliares durante el ciclo del cultivo también disminuye considerablemente el rendimiento del frijol en campo; en siembras realizadas en el ciclo primavera-verano durante los años 2005 y 2006 bajo condiciones de riego, y en siembras llevadas a cabo en el ciclo verano-otoño, bajo condiciones de temporal, en los años 2004 a 2006, en Celaya, Guanajuato, se determinó en promedio de 36 variedades de frijol, que el rendimiento y el peso de 100 semillas fueron 17 y 7 % menores en el ciclo verano-otoño en comparación con primavera-verano, debido a que la temperatura media fue más alta y la humedad relativa fue menor en primavera-verano que en verano-otoño, época en la cual, las condiciones ambientales favorecen la incidencia de enfermedades foliares como *Xanthomonas campestris* pv. *Phaseoli* (Acosta-Gallegos *et al.*, 2013).

## **2.4 Efecto del ciclo de cultivo en la fenología**

El ciclo biológico de los cultivos está estrechamente relacionado con las condiciones ambientales en las que se desarrollan, por lo tanto, pueden verse afectados por los cambios en temperatura y precipitación (Granados-Ramírez y Sarabia-Rodríguez, 2013). Estos cambios en la fenología del frijol, se han observado en diferentes ambientes en riego y temporal; un grupo de variedades de frijol de hábito de crecimiento tipo III, contrastantes en precocidad y reacción a fotoperiodo, sembrados en tres localidades de temporal, mostró que el inicio de floración y madurez fisiológica se presentaron a los 48 y 104 días en Chapingo, México, 55 y 115 días en Metepec, Estado de México y 46 y 97 días en Pabellón, Aguascalientes, respectivamente (Esquivel-Esquivel *et al.*, 2004). Barrios-Gómez *et al.* (2010) al evaluar ocho variedades de frijol del tipo ‘Flor de Mayo’ en tres ambientes de humedad edáfica; en Celaya, Guanajuato bajo temporal, y Montecillo, Texcoco, México en riego y temporal, determinaron que el número de días a inicio de floración y madurez fisiológica fueron menores en Celaya que en Montecillo en riego (8 y 13 días) y Montecillo en temporal (3 y 5 días). En otro estudio de la respuesta del frijol a la sequía y altas temperaturas en ocho variedades de frijol del tipo ‘Flor de Mayo’, las plantas en riego en Montecillo, Texcoco, México tuvieron menor temperatura del dosel del cultivo (26.7 °C) que en secano en Celaya, Guanajuato (30.8 °C) y temporal en Montecillo, Texcoco, México (36.6 °C) y que la temperatura del dosel del cultivo se relacionó positiva y significativamente con la temperatura del aire circundante de las plantas en los tres ambientes de humedad del suelo (Barrios-Gómez *et al.*, 2011a).

## **2.5 Efecto de la sequía en el rendimiento y sus componentes**

El efecto de la sequía en el rendimiento de semilla del frijol depende de la etapa fenológica del cultivo en que incide, así como de la intensidad y duración del estrés hídrico; la sequía tiene efectos más severos en el rendimiento y sus componentes durante la etapa reproductiva que en la vegetativa (Costa-Franca *et al.*, 2000); al comparar dos genotipos de frijol de hábito de crecimiento tipo III, se determinó que la sequía durante la etapa vegetativa disminuyó el rendimiento de semilla (38 %) y el número de vainas por planta (35 %), mientras que el estrés hídrico durante la etapa reproductiva redujo el rendimiento de semilla (46 %), el número de vainas por planta (33 %) y número de semillas por vaina (3 %) (Acosta-Gallegos y Kohashi-Shibata, 1989). La sequía inducida durante la floración y el periodo de llenado de la vaina en dos cultivares que contrastan

en tolerancia a estrés hídrico bajo condiciones de invernadero, mostró que el cultivar tolerante a la sequía redujo 24, 22 y 26 % su peso de semilla, número de vainas planta<sup>-1</sup> y número de semillas planta<sup>-1</sup>, con respecto a riego, mientras que la variedad susceptible a sequía mostró 39, 28 y 41 % menor peso de semilla, número de vainas planta<sup>-1</sup> y número de semillas planta<sup>-1</sup> (Boutraa y Sanders, 2001). Otros estudios también muestran que el déficit hídrico durante el desarrollo reproductivo del frijol de secano, puede disminuir el número de flores, vainas y semillas por vaina (Xia, 1997); la sequía puede reducir el número total de flores hasta en 47 %, afectando el número de vainas por planta en algunas variedades de frijol (Nuñez-Barrios *et al.*, 2005).

Rao *et al.* (2013) en Palmira, Colombia determinaron en promedio de 36 genotipos de frijol común y frijol Tepari, bajo condiciones de temporal con sequía durante la etapa reproductiva, que el rendimiento de semilla disminuyó 33 % con respecto a riego. En otro estudio, bajo condiciones de temporal con sequía a partir del inicio de la floración, se observó en un grupo de variedades de frijol de diferente raza y hábito de crecimiento, y contrastantes en su respuesta a la sequía, que el rendimiento de semilla y biomasa aérea final disminuyeron 51 y 41 % con respecto a riego, en Texcoco, Estado de México (Acosta-Díaz *et al.*, 2009). El número de vainas y semillas por planta son los componentes del rendimiento más afectados por el estrés hídrico durante la floración y pueden reducir el rendimiento de semilla hasta 70 %, dependiendo de la duración e intensidad del periodo de estrés (López *et al.*, 1996; Assefa *et al.*, 2013). Por su parte, Nuñez-Barrios *et al.* (2005) al estudiar la respuesta de la variedad de frijol Seafarer bajo condiciones de riego y sequía a partir del inicio de floración, determinaron que el rendimiento de semilla, índice de cosecha, número de vainas planta<sup>-1</sup>, semillas vaina<sup>-1</sup> y el peso individual de semilla en sequía disminuyeron 80, 26, 63, 29 y 22 %, en comparación con riego. Acosta-Díaz *et al.* (1997) mencionaron que la reducción del rendimiento estuvo estrechamente ligada a la disminución del número de vainas y semillas normales planta<sup>-1</sup> y, en menor grado, al número de semillas por vaina y al peso de 100 semillas. Barrios-Gómez *et al.* (2010) observaron bajo condiciones de riego y secano, en promedio de ocho variedades de frijol del tipo 'Flor de Mayo', que el número de vainas normales m<sup>-2</sup>, semillas normales m<sup>-2</sup>, semillas vaina<sup>-1</sup> y peso de 100 semillas se redujeron 13, 22, 11 y 8 % en condiciones de secano con respecto a riego, en Montecillo, Texcoco, Estado de México.

## 2.6 Efecto de la sequía en la fenología

La baja disponibilidad de humedad edáfica influye en la duración de las etapas fenológicas del cultivo de frijol (Rosales-Serna *et al.*, 2004b; Muñoz-Perea *et al.*, 2007). Barrios-Gómez *et al.* (2010) determinaron en cultivares de frijol del tipo ‘Flor de Mayo’ que el número de días a inicio de floración y madurez fisiológica fueron tres y cinco días menores en condiciones de temporal con deficiencias hídricas durante la antesis que en riego en Montecillo, Texcoco, Estado de México. Otro estudio de la respuesta del frijol común en condiciones de riego y sequía a partir del inicio de la floración en La Ascensión, Nuevo León, México, mostró que las deficiencias hídricas redujeron el número de días a antesis y madurez fisiológica, y duración del llenado del grano (Acosta-Díaz *et al.*, 2011).

## 2.7 Área foliar

El área foliar denota la magnitud de la “maquinaria fotosintética”, la cual se considera como la fuente prístina de fotosintatos para satisfacer la demanda ejercida por los órganos vegetativos y reproductivos en crecimiento. Expresada por unidad de área sembrada, se conoce como índice de área foliar (IAF), en inglés LAI (leaf area index). El IAF representa el área foliar de las plantas que ocupan una determinada área de terreno, es decir, el área foliar por unidad de área sembrada. El IAF es adimensional, su valor depende de la variedad, del estadio de crecimiento de la planta a la fecha de muestreo (se incrementa con el desarrollo y la tasa relativa de crecimiento; TRC) (White e Izquierdo, 1991). Aguilar *et al.* (1977) determinaron que en el cultivar de frijol Michoacán 12-A-3 de hábito de crecimiento III, la máxima tasa relativa de crecimiento se obtuvo con un valor de índice de área foliar de 5. Por su parte, Fanjul *et al.* (1982) observaron que el cultivar Flor de Mayo X-16441 de hábito de crecimiento IV con un IAF de 7-8 tuvo una tasa relativa de crecimiento máxima de 21; los valores de ambos cultivares se obtuvieron en Chapingo, México.

El índice de área foliar óptimo del cultivo de frijol varía entre 3.5 y 4.5 (White, 1988); en el cultivo de la papa se ha observado que el índice de área foliar varía con la forma de la hoja y la distribución tanto vertical como horizontal del follaje, y el índice de área foliar óptimo está relacionado con la arquitectura de la parte aérea de la planta, la que se caracteriza por presentar un follaje erecto de tal forma que el ángulo de inserción de las hojas puede facilitar, la exposición de las mismas a la radiación fotosintéticamente activa y así incrementar la eficiencia en la producción de biomasa (Santos-Castellanos *et al.*, 2010).

## **2.8 Efecto de la sequía en el crecimiento del área foliar**

El estrés por déficit hídrico puede afectar la expansión del área foliar (Hsiao, 1973). El desarrollo del área foliar en la planta es crucial para la interceptación de luz y producción de materia seca, y puede tener una influencia substancial en el rendimiento. En plantas de haba sometidas a tres diferentes niveles de déficit hídrico en el suelo, se observó que después de un periodo de 46 días, el área foliar total de las plantas con riego fue el doble del área foliar de las plantas en sequía; se observó también que el área foliar total se relacionó lineal y significativamente con el potencial hídrico promedio de la planta; las diferencias entre tratamientos de humedad del suelo en el área foliar total fueron principalmente producidas por los mecanismos que determinan el tamaño de la hoja, más que por aquellos mecanismos asociados con la producción y el mantenimiento foliar, llámese producción foliar, exposición foliar y muerte de la hoja; la producción o exposición foliar no fue sensitiva al estrés hídrico antes de la floración; los valores de potencial hídrico para reducir las tasas de producción y exposición foliar fueron más bajos en el nivel de humedad más bajo; finalmente, observaron que la muerte de la hoja fue afectada por la sequía antes que la producción y exposición foliar (Karamanos, 1978). Galván-Tovar *et al.* (2003) al evaluar el efecto del déficit hídrico en dos variedades de frijol de hábito de crecimiento tipo III de la raza Durango con diferente grado de tolerancia a sequía, observaron que la sequía redujo el área foliar 69 % con respecto a riego en la etapa V4 (tercera hoja trifoliolada) en Montecillo, Texcoco, Estado de México.

## **2.9 Materia seca o biomasa**

Para determinar la materia seca o biomasa usualmente se considera solamente la porción aérea de la planta, debido a que el procedimiento para la obtención del sistema radical es muy laborioso.

La acumulación de materia seca de las plantas, depende del total de carbono fijado por la fotosíntesis y de la fracción de carbono que es convertido en carbohidratos solubles y estructurales (Norman y Arkebauer, 1991). El rendimiento de un cultivo está relacionado con la acumulación de materia seca por las plantas creciendo en comunidad, la cual depende principalmente del total de carbono fijado y depende de la cantidad de radiación fotosintéticamente activa interceptada durante el crecimiento y la eficiencia de uso por el dosel del cultivo, así como también del índice de área foliar, duración del área foliar, tasa de asimilación neta (Apáez-Barrios *et al.*, 2011; Escalante-Estrada, 1999), la arquitectura de la planta, los procesos de respiración diurna y nocturna, entre otros, lo que se resume en factores internos de crecimiento relacionados con el genotipo y factores

externos relacionados con el ambiente y las prácticas de manejo utilizadas durante el ciclo de cultivo (Gardner *et al.*, 1985). El mayor crecimiento del dosel vegetal proporciona una mayor interceptación de luz, lo cual incrementa la fotosíntesis y producción de biomasa por unidad de área; la interceptación de luz está determinada en primer lugar por el índice de área foliar y por el coeficiente de extinción; un índice de eficiencia de interceptación de la radiación, mientras que la eficiencia fisiológica en el uso de esta radiación puede medirse de manera indirecta a través de la tasa de asimilación neta, que es la ganancia neta de asimilados por unidad de área foliar en un tiempo determinado (Sánchez-Torres *et al.*, 2012). Gifford *et al.* (1984) mencionan que, dentro de las bases fotosintéticas requeridas para incrementar el rendimiento a la cosecha, se debe contemplar una mayor distribución de materia seca hacia la estructura del rendimiento agronómico (semilla). Geiger *et al.* (1989) señalaron que altos rendimientos en los cultivos son el resultado de una mayor producción de materia seca en las hojas, así como un incremento en la acumulación de carbono. López-Castañeda (2011), indica que en cebada el rendimiento de grano podría mejorarse al seleccionar genotipos con mayor biomasa y granos  $m^{-2}$  o ambos. Al respecto, Barrios-Gómez *et al.* (2010), mencionan que el mayor rendimiento de semilla de las variedades de frijol del tipo ‘Flor de Mayo’ FM Noura, FM Anita y FM M38 estuvo asociado con mayor producción de biomasa aérea final, vainas normales  $m^{-2}$ , semillas normales  $m^{-2}$ , semillas por vaina<sup>-1</sup> y peso de 100 semillas; estos resultados indican que en frijol una alta biomasa aérea está asociada con mayor producción de fotoasimilados que se translocan a las vainas y semillas incrementando el rendimiento (Ramírez-Vallejo y Kelly, 1998; Romero-Félix *et al.*, 2015).

Por otra parte, Cantareno *et al.* (2000) mencionan que la productividad de un cultivo está determinada por su potencial genético y el impacto del ambiente sobre su capacidad de crecimiento y asignación de materia seca hacia los órganos reproductivos. Un mecanismo clave que contribuye a la regulación de la asignación de carbono es la expresión de genes que controlan la actividad de las enzimas, que inician el metabolismo de la sacarosa, a sitios específicos y etapas fenológicas determinadas (Geiger *et al.*, 1996). El peso de la materia seca es el criterio más apropiado para medir el crecimiento y magnitud del sistema asimilatorio de la planta, referido frecuentemente al área foliar total (Radford, 1967), la cual, es la medida usual del tejido fotosintético de un cultivo.

## 2.10 Tasa de crecimiento del cultivo

En el contexto de una planta individual, ‘crecimiento’ significa un cambio irreversible con el tiempo; tales cambios son principalmente en tamaño (usualmente), algunas veces en forma y ocasionalmente en número (Hunt, 2003). La tasa absoluta de crecimiento en tamaño es el más simple de los índices de crecimiento de la planta: una tasa de cambio en tamaño, la cual es un incremento en tamaño por unidad de tiempo. Si  $W$  es el peso seco total de la planta, entonces  $G$  es su tasa absoluta de crecimiento en peso seco total. Las dimensiones y unidades de  $G$  son masa por tiempo, p.ej.,  $\text{g día}^{-1}$ . Los valores instantáneos para  $G$  se obtienen de  $G = dW/dt$ , y su valor promedio sobre el intervalo  $t_1$  a  $t_2$  es  $(W_2 - W_1) / (t_2 - t_1)$  (Hunt, 2003). La tasa absoluta de crecimiento es un componente del rendimiento; en un estudio del comportamiento productivo de cinco variedades de alfalfa bajo tres regímenes de corte en Montecillo, Texcoco, México, se determinó que las variedades Oaxaca, San Miguel y Moapa, produjeron el más alto rendimiento de materia seca y esto se debió a una mayor tasa absoluta de crecimiento (Rivas-Jacobo *et al.*, 2005).

## 2.11 Tasa de asimilación neta

La tasa de asimilación neta (TAN) es un índice de la eficiencia productiva de las plantas calculado en relación al área foliar total y es sinónimo del término tasa unitaria foliar que se representa con el símbolo  $E$ : la tasa de producción de peso seco expresada por unidad de área foliar total,  $L_A$ ; sus dimensiones son masa por área por tiempo, típicamente  $\text{mg mm}^{-2} \text{ día}^{-1}$  o  $\text{g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ . Instantáneamente,  $E = (1/L_A) (dW/dt)$ . El valor promedio de  $E$  para el intervalo  $t_1$  a  $t_2$  es aproximadamente  $(W_2 - W_1) / (t_2 - t_1) \times (\ln L_{A2} - \ln L_{A1}) / (L_{A2} - L_{A1})$  (Hunt, 2003). La TAN es una característica sensitiva a las deficiencias hídricas del suelo.

Barrios-Gómez *et al.* (2011b) observaron en frijol que la TAN fue más alta en riego que en temporal con déficit hídrico desde el inicio de la floración hasta la madurez fisiológica, siendo la variedad FM Bajío la que tuvo el más alto valor de la TAN en promedio de riego y temporal.

## 2.12 Cociente de área foliar

El cociente de área foliar (CAF) o razón de área foliar (RAF) es un índice morfológico que describe la “foliosidad” de la planta. Una medida del balance entre lo que asimila la planta y lo que emplea en su actividad metabólica; esto se relaciona con el potencial de lo que la planta fotosintetiza y lo que la planta gasta en sus procesos de respiración. El CAF o  $F$ , es el cociente



entre el área foliar total por planta,  $L_A$ , y peso seco total por planta,  $W$ . Sus dimensiones son área por masa; las unidades típicas son  $\text{mm}^2 \text{mg}^{-1}$  o  $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$ . Instantáneamente,  $F=L_A/W$  y su valor promedio de intervalo  $t_1$  a  $t_2$  es  $((L_{A1}/W_1) + (L_{A2}/W_2))/2$ , que es, por supuesto,  $(F_1 + F_2)/2$  (Hunt, 2003). Los valores instantáneos se pueden derivar de funciones ajustadas al  $\ln L_A$  y  $\ln W$  versus  $t$ ; entonces, si  $\ln L_A = f_L(t)$  y  $\ln W = f_W(t)$ , entonces  $F=L_A/W = \exp(f_L(t) - f_W(t))$ . Los valores instantáneos pueden obtenerse directamente de  $F$  (Hunt, 2003). El CAF puede variar entre cultivares en respuesta a las condiciones de crecimiento; López-Castañeda *et al.* (1995) observaron que el CAF varió de 1.5 a 1.8 y 0.7 a 0.9  $\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$  en condiciones de invernadero y de 1.2 a 1.5 y 0.6 a 0.9  $\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$  a la intemperie, en cinco genotipos de cebada y cinco de trigo en Canberra, Australia, respectivamente. El CAF puede separarse en sus componentes área foliar específica (AFE), el cociente del área foliar dividido por su peso seco ( $L_A/L_W$ ) y cociente de peso seco de hojas (CPSH) que resulta de dividir el peso seco de las hojas ( $L_W$ ) entre el peso seco total de la planta ( $W$ ) (Lambers *et al.*, 1989; Hunt, 2003).

### 2.13 Área foliar específica

El área foliar específica (AFE) es un índice de la “foliosidad de la hoja”: una medida de densidad o grosor, la cual involucra una evaluación del área de la hoja en relación a su peso seco. No se utiliza ningún símbolo en particular para representarla. El CAF es el cociente entre el área foliar total por planta ( $L_A$ ) y el peso seco total de la hoja por planta ( $L_W$ ) (el término “específica” significa dividido por el peso). Las dimensiones del AFE son área por masa,  $\text{mm}^2 \text{mg}^{-1}$  o  $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$ . Los valores instantáneos del AFE se definen como  $L_A/L_W$ , el valor promedio de  $t_1$  a  $t_2$  es  $((L_{A1}/L_{W1}) + (L_{A2}/L_{W2}))/2$ . De las funciones ajustadas a  $\ln L_A$  y  $\ln L_W$  versus  $t$ ,  $f_A(t)$  y  $f_W(t)$ , el valor instantáneo de  $L_A/L_W$  se deriva como  $\exp(f_A(t) - f_W(t))$ . Los valores instantáneos también están disponibles directamente de la fórmula definida. El AFE determinado en tres cosechas sucesivas de lechuga de invierno en condiciones de invernadero, mostró que su comportamiento está determinado por el ambiente, principalmente por el nivel de radiación fotosintéticamente activa (Hunt, 2003). El AFE también puede variar entre especies de cultivos; por ejemplo, se observó que cebada tuvo mayor AFE (2.7 y 2.3  $\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$ ) que trigo (1.4 y 1.5  $\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$ ) en condiciones de invernadero e intemperie (López-Castañeda *et al.*, 1995), y en condiciones de campo (cebada = 0.29  $\text{cm}^2 \text{mg}^{-1}$  y trigo = 0.21  $\text{cm}^2 \text{mg}^{-1}$ ) e invernadero (cebada = 0.53  $\text{cm}^2 \text{mg}^{-1}$  y trigo = 0.43  $\text{cm}^2 \text{mg}^{-1}$ ), respectivamente (Castañeda-Saucedo *et al.*, 2004).

## 2.14 Cociente de peso seco de hojas

El cociente de peso seco de hojas (CPSH) es un índice de la “foliosidad” de la planta en base al peso seco: una medida de la “inversión productiva” de la planta, que se refiere al gasto relativo de los órganos potencialmente fotosintetizantes. No se utiliza un símbolo en particular. El cociente de peso seco de hojas es el cociente entre el peso seco de las hojas total por planta,  $L_w$ , y peso seco total por planta,  $W$ . Más estrictamente es la fracción de peso de las hojas, pero el término “cociente” es ampliamente utilizado. Sus dimensiones son masa por masa, que es efectivamente adimensional. Numéricamente, los valores son  $0 < x < 1$ . Instantáneamente,  $L_w/W$ , el valor promedio del intervalo  $t_1$  a  $t_2$  es obtenido por  $((L_{w1}/W_1) + (L_{w2}/W_2))/2$ . Los valores instantáneos pueden ser derivados de funciones ajustadas a  $\ln L_w$  y  $\ln W$ ,  $f_L(t)$  y  $f_W(t)$ , de tal forma que  $L_w/W = \exp(f_L(t) - f_W(t))$  (Hunt, 2003). En un estudio en macetas bajo condiciones de invernadero en Canberra, Australia, se observó que el CPSH tuvo valores de 0.62 y 0.56  $g\ g^{-1}$ , y en condiciones de intemperie, valores de 0.56 y 0.51  $g\ g^{-1}$ , para cebada y trigo, respectivamente (López-Castañeda *et al.*, 1995); en otros estudios el CPSH tuvo valores para cebada 0.72 y 0.70  $g\ g^{-1}$ , y trigo 0.73 y 0.74  $g\ g^{-1}$ , en condiciones de campo e invernadero, respectivamente (Castañeda-Saucedo *et al.*, 2004).

En general se considera que la tasa de asimilación de carbono por las hojas, en condiciones de campo, puede variar considerablemente debido a las fluctuaciones en la radiación o por otros factores que tienen efecto en la expansión de las hojas como la sequía y la alta temperatura; la duración de la radiación fotosintéticamente activa, la baja disponibilidad de nutrientes y la pérdida de tejido fotosintético, son considerados como los factores que con frecuencia afectan la producción de frijol (Russelle *et al.*, 1984; Mukeshimana *et al.*, 2014), al afectar los procesos biofísicos y bioquímicos que se llevan a cabo en la membrana y estroma del cloroplasto, mitocondria y citosol de la célula, limitando el transporte de  $CO_2$  a través de la hoja y los estomas, lo cual se traduce en menor tasa de asimilación de  $CO_2$  (Baker *et al.*, 2007; Sharkey, 2007).

El determinante primario de la biomasa del cultivo es la tasa de fotosíntesis acumulada durante la estación de crecimiento; por ejemplo, aunque en trigo el rendimiento se ha incrementado a través del tiempo, comparativamente sólo una pequeña proporción de este incremento, puede atribuirse a un aumento en la biomasa (Parry *et al.*, 2011); por el contrario, el mejoramiento de las prácticas agronómicas y el índice de cosecha (proporción de biomasa que es grano) son responsables en mayor proporción por el incremento en el rendimiento (Austin *et al.*, 1989; Fischer *et al.*, 1998).

## 2.15 Efecto de la sequía en el crecimiento de las raíces

El conocimiento de los factores limitantes al crecimiento de las raíces es muy importante, si se tiene interés en maximizar el uso del agua y los nutrientes e incrementar los rendimientos; las limitaciones que las raíces pueden encontrar para su crecimiento en el suelo son la profundidad de la raíz, enfermedades radicales, deficiencias de nutrientes, toxicidad y dureza del suelo; el entendimiento de estas limitaciones, puede conducir a la identificación más precisa de los caracteres a utilizar en la selección y mejoramiento (Richards, 2008). La capacidad del sistema radical para penetrar en un suelo en condiciones de desecación se considera como uno de los principales mecanismos de resistencia a sequía en la planta de frijol (Beebe *et al.*, 2008). Las características de crecimiento de las raíces de las plantas asociadas con el mantenimiento de la productividad bajo sequía, incluye raíces de diámetro reducido (finas), mayor longitud específica y considerable densidad de raíces, especialmente a profundidades del suelo con disponibilidad de humedad; en ambientes con sequía terminal, diámetros de xilema pequeños en las raíces seminales tienen como objetivo economizar agua en estratos profundos del suelo, para su utilización durante el periodo de formación de la semilla, al resultar en rendimientos más altos (Comas *et al.*, 2013). Una rápida recuperación del crecimiento de la raíz seguido del rehumedecimiento del suelo, puede mejorar la productividad de la planta bajo periodos de sequía; el control genético de esta característica puede hacerse posible a través del mejoramiento (Comas *et al.*, 2013). En condiciones de déficit hídrico, el crecimiento foliar es inhibido rápidamente y el crecimiento de las raíces es favorecido a costa de crecimiento de las hojas (Hsiao y Xu, 2000). Markhart (1985) sugirió que la tolerancia a sequía en *Phaseolus acutifolius*, se debe a la capacidad de sus raíces de penetrar a mayor profundidad en el perfil del suelo, lo que también se ha observado en frijol común (Sponchiado *et al.*, 1989). La asignación de materia seca a las raíces en plantas en condiciones de déficit hídrico también es afectada; Galván-Tovar *et al.* (2003) observaron que la sequía en la etapa V4 (tercera hoja trifoliolada) aumentó 93 % en comparación con riego en Montecillo, Texcoco, Estado de México; Ogonnaya *et al.*, 2003 determinaron que la sequía aumentó 314 % el cociente raíz/parte aérea con respecto a riego en condiciones de invernadero en promedio de cuatro genotipos de caupí (*Vigna unguiculata*), en Bambey, Senegal. Otras características de las raíces como son la biomasa, densidad de la longitud y la profundidad se han propuesto características de tolerancia a la sequía que contribuyen al rendimiento de semilla en ambientes con escasez hídrica (Ludlow y Muchow, 1990). Puangbut *et al.* (2009) observaron en 11 genotipos de cacahuate, en

condiciones de riego y sequía en invernadero en Tailandia, que todos los genotipos mostraron mayor cantidad de materia seca en raíces en sequía, resultando con mayor biomasa de raíces los genotipos KK 60-3 y Tifton-8. Una adecuada elongación de la raíz es importante para el crecimiento de la planta, especialmente en suelos donde los recursos hídricos y nutrientes son escasos (Bengough *et al.*, 2011).

## **2.16 Efecto de la sequía en la transpiración total y eficiencia transpiratoria**

La eficiencia en el uso del agua o eficiencia transpiratoria (la cantidad de materia seca producida por unidad de agua utilizada en la transpiración de la planta) se considera como un determinante importante del rendimiento bajo condiciones de estrés hídrico, e incluso como un componente de la resistencia a sequía del cultivo (Blum, 2009). La selección para alta eficiencia en el uso del agua en el mejoramiento para ambientes con déficit hídrico, parece ser el criterio de selección más apropiado, para la mayoría de condiciones con rendimiento reducido y resistencia a sequía reducida; en tanto que la bioquímica de la fotosíntesis no puede mejorarse genéticamente, mayor eficiencia transpiratoria genotípica y uso eficiente del agua son determinados principalmente por las características de la planta que reducen la transpiración y evapotranspiración, procesos que son cruciales para la producción de la planta (Blum, 2009). Al considerar que la producción de biomasa está estrechamente asociada a la transpiración, el mejoramiento para maximizar la captura de humedad en el suelo para la transpiración es el objetivo más importante para mejorar el rendimiento bajo condiciones de estrés hídrico (Blum, 2009). Una mayor eficiencia genética en el uso del agua también puede lograrse con la manipulación del dosel del cultivo, para reducir la pérdida de agua por evaporación directa de la superficie del suelo debajo de las plantas (Richards *et al.*, 1993); la selección para aumentar la tasa de aparición de las hojas y la elongación del tallo, y el retraso de la senescencia podrían ayudar a mejorar el estatus hídrico de la planta bajo sequía (Bolaños *et al.*, 1993); un rápido desarrollo radical y raíces más profundas ayudan a un mayor acceso al agua en estratos más profundos del subsuelo, permitiendo a las plantas mantener su rendimiento en áreas de secano con limitaciones de humedad (Paez-García *et al.*, 2015).

La eficiencia transpiratoria varía de acuerdo con las condiciones de humedad edáfica; Ratnakumar *et al.* (2009) observaron que la eficiencia transpiratoria para producir biomasa en promedio de nueve genotipos de cacahuete (*Arachis hypogaea*) vario de 1.79 a 2.91 g kg<sup>-1</sup> en riego

y sequía, respectivamente, con sequía durante la etapa de floración, en Patancheru, India. Condon *et al.* (1990) observaron en promedio de 16 genotipos de trigo bajo condiciones de invernadero, que la eficiencia transpiratoria para la producción de biomasa aérea bajo condiciones de sequía fue 19 % mayor que en riego, en Canberra, Australia. El efecto de la sequía en la transpiración del frijol depende de la etapa fenológica del cultivo y la duración del estrés hídrico; Castañeda-Saucedo *et al.* (2009) determinaron bajo condiciones de invernadero en frijol, cultivar ‘Otomi’ de hábito de crecimiento determinado, que después de tres días bajo sequía durante las etapas de floración, formación de vainas y llenado de vaina la transpiración fue 73, 66 y 83 % menor que en riego, mientras que a los cinco días bajo sequía, la transpiración fue cero en todas las etapas fenológicas

### **2.17 Caracteres útiles para la selección bajo sequía**

Uno de los problemas para la selección de genotipos superiores bajo condiciones de sequía en frijol es definir o identificar el carácter o caracteres idóneos, para mejorar el comportamiento agronómico de las plantas bajo condiciones de deficiencias hídricas. La mayoría de los trabajos de investigación en fisiología y fitomejoramiento del rendimiento en condiciones de estrés hídrico, tiene como objetivos obtener líneas con mejor rendimiento bajo sequía e identificar algunos caracteres de la planta que sirvan como criterios de selección al evaluar la resistencia a sequía (Assefa *et al.*, 2015). La selección de mejores genotipos bajo condiciones de estrés por sequía muchas veces es difícil y complicada, por la presencia de la interacción genotipo x ambiente que se manifiesta en diferencias en los rangos relativos de variación cuando las variedades se evalúan en distintos ambientes (Eberhart y Russell, 1966) y dificulta el progreso en la selección (Comstock y Moll, 1963). No obstante, existen evidencias que sugieren que el rendimiento del frijol bajo condiciones de sequía, se puede incrementar significativamente al seleccionar genotipos con mayor índice de cosecha y biomasa aérea, caracteres de la planta que tienen una menor interacción genotipo x ambiente y una mayor proporción de la varianza genética con respecto a la varianza fenotípica bajo condiciones de sequía (Assefa *et al.*, 2015). Otros estudios en frijol común en condiciones de campo, también determinaron que además de la biomasa aérea final, el número de semillas  $m^{-2}$ , vainas normales  $m^{-2}$ , y el peso de 100 semillas tuvieron una relación positiva y significativa con el rendimiento de semilla en promedio de riego y secano con deficiencias hídricas (Barrios Gómez *et al.*, 2010), y en condiciones de sequía terminal el rendimiento de semilla se relacionó estrechamente con el número de vainas normales  $m^{-2}$  (Morales-Rivera *et al.*, 2015).

La selección por rendimiento de semilla aumenta el índice de cosecha en especies autóгамas con poco o ningún efecto en la ganancia de biomasa; en adición a la selección para rendimiento, ha sugerido que la eficiencia en la selección para más alto rendimiento requiere la selección simultánea para los tres componentes fisiológicos mayores del rendimiento controlados genéticamente: (i) una tasa superior de acumulación de biomasa, (ii) una tasa superior de acumulación de rendimiento actual para la obtención de un alto índice de cosecha y (iii) un número días a madurez fisiológica que no sea ni más corto ni más largo que la duración de la estación de crecimiento; la duración del ciclo es la cuarta determinante con mayor influencia sobre el rendimiento, y está modulada por el ambiente (Wallace *et al.*, 1993).

El crecimiento y desarrollo de las plantas, la expansión del área foliar (Flexas *et al.*, 2004), así como la acumulación de biomasa aérea se consideran caracteres importantes para lograr un alto rendimiento de semillas en las leguminosas de grano (Saxena *et al.*, 1990; Yan y Wallace, 1995). La manipulación genética y bioquímica, así como las prácticas agronómicas, también pueden contribuir a aumentar el rendimiento (Austin *et al.*, 1989); las prácticas agrícolas proveen a los cultivos de las condiciones óptimas para la expresión del mayor potencial rendimiento (Aguilar-García *et al.*, 2005), ayudando a detectar caracteres morfológicos y fisiológicos que contribuyan a obtener buenos rendimientos; caracteres como la arquitectura de la raíz y un extenso desarrollo del sistema de raíces, para lograr una distribución de las raíces en el suelo que optimice la absorción de nutrientes y agua (Haterlein, 1983), una alta sensibilidad de los estomas a cambios pequeños en la concentración de ácido abscísico (Trejo y Davies, 1991), hábito de crecimiento, ciclos biológicos más cortos, floración temprana, la acumulación de biomasa aérea y la redistribución eficiente de asimilados hacia las semillas, contribuyendo al aumento del índice de cosecha (Terán y Singh, 2002; Siddique *et al.*, 2001).

## **2.18 LITERATURA CITADA**

Acosta-Díaz, E., J. Kohashi-Shibata y J. A Acosta-Gallegos. 1997. Rendimiento y sus componentes en frijol bajo condiciones de sequía. *Agricultura Técnica en México* 23: 139-150.

Acosta-Díaz, E., J. A. Acosta-Gallegos, C. Trejo-López, J. S. Padilla-Ramírez and M. D. Amador-Ramírez. 2009. Adaptation traits in dry bean cultivars grown under drought stress. *Agricultura Técnica en México* 35: 416-425.

Acosta-Díaz, E., I. Hernández-Torres, R. Rodríguez-Guerra, J. A. Acosta-Gallegos, J. Pedroza-Flores, M. D. Amador-Ramírez y J. S. Padilla-Ramírez. 2011. Efecto de la sequía en la

producción de biomasa y grano de frijol. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 2: 249-263.

Acosta-Gallegos, J. A. and J. Kohashi-Shibata. 1989. Effect of water stress on growth and yield of indeterminate dry-bean (*Phaseolus vulgaris*) cultivars. *Field Crops Research* 20: 81-93.

Acosta-Gallegos, J. A., F. J. Ibarra-Pérez, R. Navarrete-Maya, B. M. Sánchez-García, Y. Jiménez-Hernández y F. M. Mendoza-Hernández. 2013. Relación entre la reacción al tizón común y el rendimiento y peso de la semilla de frijol en riego y temporal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 4: 673-685.

Aguilar, M. I., R. A. Fisher, and J. Kohashi-Shibata. 1977. Effects of plant density and thinning on high-yielding dry beans (*Phaseolus vulgaris*) in Mexico. *Experimental Agriculture* 13: 325-335.

Aguilar-García, L., J. A. Escalante-Estrada, L. Fucikovsky-Zak, L. Tijerina-Chávez, E. M. Engleman. 2005. Área foliar, tasa de asimilación neta, rendimiento y densidad de población en girasol. *Terra Latinoamericana* 23: 303-310.

Apáez-Barrios, P., J. A. S. Escalante-Estrada y M. T. Rodríguez-González. 2011. Crecimiento y rendimiento del frijol chino en función del tipo de espaldera y clima. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 13: 307-315.

Assefa, T., J. Wu, S. E. Beebe, I. M. Rao, D. Marcomin and R. J. Claude. 2015. Improving adaptation to drought stress in small red common bean: phenotypic differences and predicted genotypic effects on grain yield, yield components and harvest index. *Euphytica* 203: 477-489.

Austin, R. B., M. A. Ford, C. L. Morgan. 1989. Genetic improvement in the yield of winter wheat; a further evaluation. *Journal of Agricultural Research* 112: 295-301.

Baker, N. R., J. Harbinson and D. M. Kramer. 2007. Determining the limitations and regulation of photosynthetic energy transduction in leaves. *Plant Cell & Environment* 30: 1107-1125.

Barrios-Gómez, E. J., C. López-Castañeda, J. Kohashi-Shibata, J. A. Acosta-Gallegos, S. Miranda-Colín y N. Mayek-Pérez. 2010. Rendimiento de semilla y sus componentes en frijol Flor de Mayo en el centro de México. *Agrociencia* 44: 481-489.

Barrios-Gómez, E. J., C. López-Castañeda y J. Kohashi-Shibata. 2011a. Relaciones hídricas y temperaturas altas en frijol del tipo "Flor de Mayo". *Agronomía Costarricense* 35: 131-145.

Barrios-Gómez, E. J., C. López-Castañeda, J. A. Acosta-Gallegos, J. Canul-Ku. 2011b. Efecto del estrés hídrico en el crecimiento y desarrollo de frijol. *Investigación Agropecuaria* 8: 1-15.

Beebe, S., I. M. Rao, C. Cajiao and M. Grajales. 2008. Selection for drought resistance in common beans also improves yield in phosphorous limited favourable environments. *Crop Science* 48: 582-592.

- Bengough, A. G., B. M. McKenzie, P. D. Hallett and T. A. Valentine. 2011. Root elongation, water stress, and mechanical impedance: a review of limiting stresses and beneficial root tip traits. *Journal of Experimental Botany* 62: 59-68.
- Blum. 2009. Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress. *Field Crops Research* 112: 119-123.
- Bolaños, J., G. O. Edmeades and L. M. Martinez. 1993. Eight cycles of selection for drought tolerance in tropical maize. III. Responses in drought-adaptive physiological and morphological traits. *Field Crops Research* 31: 269-286.
- Boutraa, T. and F. E. Sanders. 2001. Influence of water stress on grain yield and vegetative growth of two cultivars of bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal Agronomy Crop Science* 187: 251-257.
- Cantarero, M. G., S. F. Luque y O. J. Rubiolo. 2000. Efecto de la época de siembra y la densidad de plantas sobre el número de granos y el rendimiento de un híbrido de maíz en la región central de Córdoba (Argentina). *Revista Agriscientia* 17: 3-10.
- Castañeda-Saucedo, Ma. C., C. López-Castañeda, J. Molina-Moreno, T. B. Colinas-León y A. Livera-Hernández. 2004. crecimiento y desarrollo de cebada y trigo. *Revista Fitotecnia Mexicana* 27: 167-175.
- Castañeda-Saucedo, M. C., L. Córdova-Téllez, V. A. González-Hernández, A. Delgado-Alvarado, A. Santacruz-Varela and G. García-de los Santos. 2009. Physiological performance, yield, and quality of dry bean seeds under drought stress. *Interciencia* 34: 748-754.
- Comas, L. H., S. R. Becker, V. M. Cruz, P. F. Byrne and D. A. Dierig. 2013. Root traits contributing to plant productivity under drought. *Frontiers Plant Science* 4: 1-16.
- Comstock, R. E. and R. H. Moll. 1963. Genotype-environment interactions. Symposium on statistical genetics and plant breeding. NAS.NRC Pub. 982, pp. 164-196.
- Condon, A. G., G. D. Farquhar and R. A. Richards. 1990. Genotypic variation in carbon isotope discrimination and transpiration efficiency in wheat. Leaf gas exchange and whole plant studies. *Australian Journal of Plant Physiology* 17: 9-22.
- Costa-Franca, M. G., A. T. P. Thi, C. Pimentel, R. O. Pereyra Rossiello, Y. Zuily-Fodil and D. Laffray. 2000. Differences in growth and water relations among *Phaseolus vulgaris* cultivars in response to induced drought stress. *Environmental and Experimental Botany* 43: 227-237.
- Donald, C. M. 1962. In search of yield. *Journal of the Australian Institute of Agricultural Science* 28: 171-178.
- Eberhart, S. A. and W. A. Russell. 1966. Stability Parameters for Comparing Varieties. *Crop Science* 6: 36-39.



- Escalante-Estrada, J. A. y J. Kohashi-Shibata. 1993. El rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para la toma de datos. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 84 p.
- Escalante-Estrada, J. A. 1999. Área foliar, senescencia y rendimiento del girasol de humedad residual en función del nitrógeno. *Terra Latinoamericana* 17: 149-157.
- Esquivel-Esquivel, G., J. A. Acosta-Gallegos, J. Ortiz Cereceres, M. Mendoza-Castillo, S. Padilla-Ramírez. 2004. Fenología y rendimiento de cuatro variedades de frijol en el altiplano central de México. *Agricultura Técnica en México* 30: 19-27.
- Fanjul, L., J. Kohashi-Shibata, E. Hernández X. 1982. Yield potential and stratified growth analysis of an indeterminate climbing pole bean. *Experimental Agriculture* 18: 167-175.
- Fischer, R. A, D. Rees, K. D. Sayre, Z-M. Lu, A. G. Condon and A.L. Saavedra. 1998. Wheat yield progress associated with higher stomatal conductance and photosynthetic rate and cooler canopies. *Crop Science* 38: 1467-1475.
- Flexas, J., J. Bota, F.Loreto, G.Cornic, T.D. Sharkey. 2004. Diffusive and metabolic limitations to photosynthesis under drought and salinity in C<sub>3</sub> plants. *Plant Biology* 6: 269-279.
- Galván-Tovar, M., J. Kohashi-Shibata, A. García-Esteva, P. Yáñez-Jiménez, E. Martínez-Villegas y L. Ruíz-Posadas. 2003. Déficit hídrico en planta, acumulación de biomasa y área foliar en tres etapas vegetativas en frijol común. *Agricultura Técnica en México* 29: 101-111.
- Gardner, F. P., R. Brent Pearce and R. L. Mitchel. 1985. Growth and development. *In: Physiology of crop plants*. Iowa state University press. Pp 187-208.
- Geiger, R. D., Wen-Jang Shieh and R. M. Saluke. 1989. Carbon partitioning among leaves, fruits, and seeds during development of *Phaseolus vulgaris* L. *Plant Physiology* 91: 291-297.
- Geiger, D. R., K. E. Koch and Wen-Jang Shieh. 1996. Effect of environmental factors on whole plant assimilate partitioning and associated gene expression. *Journal of Experimental Botany* 47: 1229-1238.
- Gifford, R. M., J. H. Thorne, W. D. Hitz and R. T. Giaquinta. 1984. Crop productivity and photoassimilate partitioning. *Science* 225: 801-808.
- Granados-Ramírez, R. y A. A. Sarabia-Rodríguez. 2013. Cambio climático y efectos en la fenología del maíz en el DDR-Toluca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 4: 435-446.
- Haterlein, A. J. 1983. Bean. *In: Tearce, T. P., Peet, M. M. Jr (Eds.). Crop Water Relations*. Wiley, New York. Pp. 157-185.
- Hsiao, T. C. 1973. Plant responses to water stress. *Annual Review Plant Physiology* 24: 519-570.
- Hsiao, T. C. and Liu-Kang Xu. 2000. Sensitivity of growth of roots versus leaves to water stress: biophysical analysis and relation to water transport. *Journal of Experimental Botany* 51: 1595-1616.

- Hunt, R. 2003. Growth analysis, individual plants. *In*: B. Thomas, D. J. Murphy and D. Murray (Eds). Encyclopaedia of applied plant sciences. Pp. 588-596.
- Karamanos, A. J. 1978. Water stress and leaf growth of field beans (*Vicia faba* L.) in the field: leaf number and total leaf area. *Annals of Botany* 42: 1393-1402.
- Kohashi-Shibata, J., J. C. da Costa, S. C. Miranda. 1980. Harvest index in *Phaseolus vulgaris* (L.). Annual Report of the Bean Improvement Cooperative 23: 87-89.
- Kohashi-Shibata, J. 1990. Aspectos de la morfología y fisiología del frijol *Phaseolus vulgaris* L. y su relación con el rendimiento. Colegio de Postgraduados. 44 p.
- Lambers, H., N. Freijssen and H. Poorter. 1989. Analyses of growth based on net assimilation rate and nitrogen productivity. Their physiological background. *In*: H. Lambers, M. L. Cambridge, H. Konings, T. L. Pons (Eds). Causes and consequences of variation in growth rate and productivity of higher plants. SPB Academic Publishing by, The Hague, the Netherlands. Pp. 1-363.
- Lopez, F. B., C. Johansen and Y. S. Chauhan. 1996. Effect of timing of drought stress on phenology, yield and yield components of a short-duration pigeonpea. *Journal of Agronomy and Crop Science* 177: 311-320.
- López-Castañeda, C., R. A. Richards, and G. D. Farquhar. 1995. Variation in early vigor between wheat and barley. *Crop Science* 35: 472-479.
- López-Castañeda, C. 2011. Variación en rendimiento de grano, biomasa y número de granos en cebada bajo tres condiciones de humedad del suelo. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 14: 907-918.
- López-Salinas, E., O. H. Tosquy-Valle, Y. Jiménez-Hernández, R. A. Salinas-Pérez, B. Villar-Sánchez y J. A. Acosta-Gallegos. 2012. Rendimiento y adaptación de la variedad de frijol 'Negro Comapa' en dos regiones de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 35: 309-315.
- Ludlow, M. M. and R. C. Muchow. 1990. A critical evaluation of traits for improving crop yields in water-limited environments. *Advances in agronomy* 43: 107-153.
- Markhart, A. H. 1985. Comparative water relations of *Phaseolus vulgaris* L. and *Phaseolus acutifolius* Gray. *Plant Physiology* 77: 113-117.
- Morales-Rivera, A., C. López-Castañeda, J. Kohashi-Shibata, S. Miranda-Colín y A. García-Esteva. 2015. Comparación de los componentes del rendimiento en variedades de frijol en condiciones de acidez y humedad residual del suelo en el sur de Veracruz. *Terra Latinoamericana* 33: 309-319.
- Mukeshimana, G., L. Butare, P. B. Cregan, M. W. Blair and J. D. Kelly. 2014. Quantitative trait loci associated with drought tolerance in common bean. *Crop Science* 54: 923-938.

- Muñoz-Perea, C. G., R. G. Allen, D. T. Westermann, J. L. Wright and S. P. Singh. 2007. Water use efficiency among dry bean landraces and cultivars in drought-stressed and non-stressed environments. *Euphytica* 155: 393-402.
- Niciporovic, A. A. 1960. Photosynthesis and the theory of obtaining high crop yields. *Field Crop Abstracts* 13: 169-175.
- Norman, J. M., and T. J. Arkebauer. 1991. Predicting canopy photosynthesis and light use efficiency from leaf characteristics. *In*: K. J. Boote and R. S. Loomis (ed.) *Modelling crop photosynthesis-from biochemistry to canopy*. Crop Science Society of America and American Society of Agronomy 19: 75-94.
- Núñez-Barrios, A., G. Hoogenboom, D. Scott Nesmith. 2005. Drought stress and the distribution of vegetative and reproductive traits of a bean cultivar. *Scientia Agricola (Piracicaba, Brazil)* 62: 18-22.
- Ogbonnaya, C. I., B. Sarr, C. Brou, O. Diouf, N. N. Diop and H. Roy-Macauley. 2003. Selection of cowpea genotypes in hydroponics, pots, and field for drought tolerance. *Crop Science* 43: 1114-1120.
- Paez-Garcia, A., C. M. Motes, Wolf-Rüdiger Scheible, R. Chen, E. B. Blancaflor and M. J. Monteros. 2015. Root Traits and Phenotyping Strategies for Plant Improvement. *Plants* 4: 334-355.
- Parry, M. A. J., M. Reynolds, M. E. Salvucci, C. Raines, P. J. Andralojc, Xin-Guang Zhu, G. Dean Price, A. G. Condon and R. T. Furbank. 2011. Raising yield potential of wheat. II. Increasing photosynthetic capacity and efficiency. *Journal of Experimental Botany* 62: 453-467.
- Puangbut, D., S. Jogloy, N. Vorasoot, C. Akkasaeng, T. Kesmala, Rao C.N. Rachaputi, G.C. Wright and A. Patanothai. 2009. Association of root dry weight and transpiration efficiency of peanut genotypes under early season drought. *Agricultural Water Management* 96: 1460-1466.
- Radford, P. J. 1967. Growth analysis formulae. Their use and abuse. *Crop Science* 7: 171-175.
- Ramírez-Vallejo P., and J. D. Kelly. 1998. Traits related to drought resistance in common bean. *Euphytica* 99: 127-136.
- Rao, I., S. Beebe, J. Polania, J. Ricaurte, C. Cajiao, R. García and M. Rivera. 2013. Can Tepary bean be a model for improvement of drought resistance in common bean?. *African Crop Science Journal* 21: 265-281.
- Ratnakumar, P., V. Vadez, S. N. Nigam and L. Krishnamurthy. 2009. Assessment of transpiration efficiency in peanut (*Arachis hypogaea* L.) under drought using a lysimetric system. *Plant Biology* 11: 124-130.

- Richards, R. A., C. López-Castañeda, H. Gomez-Macpherson and A. G. Condon. 1993. Improving the efficiency of water use by plant breeding and molecular biology. *Irrigation Science* 14: 93-104.
- Richards, R. A. 2008. Genetic Opportunities to Improve Cereal Root Systems for Dryland Agriculture. *Plant Production Science* 11: 12-16.
- Rivas-Jacobo, M. A., C. López-Castañeda, A. Hernández-Garay, J. Pérez-Pérez. 2005. Efecto de tres regímenes de cosecha en el comportamiento productivo de cinco variedades comerciales de alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Técnica Pecuaria en México* 43: 79-92.
- Romero-Félix, C. S., C. López-Castañeda, S. Miranda-Colín, J. Kohashi-Shibata, V. H. Aguilar-Rincón y C. G. Martínez-Rueda. 2015. Variabilidad del rendimiento de semilla y sus componentes en frijol común bajo condiciones de temporal. *Ciencias Agrícolas Informa* 24: 7-17.
- 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 common bean cultivars *Field Crops Research* 85: 203-211.
- Russelle, M. P., W. Wilhelm, R. A. Olson and J. F. Power. 1984. Growth analysis based on degree-days. *Crop Science* 24: 28-32.
- Sánchez-Torres, J. D., G. A. Ligarreto-Moreno y F. R. Leiva-Barón. 2012. Variabilidad del crecimiento y rendimiento del cultivo de maíz para choclo (*Zea mays* L.) como respuesta a diferencias en las propiedades químicas del suelo en la sabana de Bogotá, Colombia. *Revista de la Facultad Nacional de Agronomía-Medellín* 65: 6579-6590.
- Santos-Castellanos, M., M. Segura-Abril y C. E. Núñez-López. 2010. Análisis de crecimiento y relación fuente-demanda de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el Municipio de Zipaquirá (Cundinamarca, Colombia). *Revista de la Facultad Nacional de Agronomía-Medellín* 63: 5253-5266.
- Saxena, C.M., S. N. Silim and B. K. Singh. 1990. Effect of supplementary irrigation during reproductive growth on winter and spring chickpea (*Cicer arietinum*) in a Mediterranean environment. *Journal of Agricultural Science* 114: 285-293.
- Sharkey, T. D., C. J. Bernacchi, G. D. Farquhar and E. L. Singsaas. 2007. Fitting photosynthetic carbon dioxide response curves for C<sub>3</sub> leaves. *Plant, Cell and Environment* 30: 1035-1040.
- Siddique, K. H. M., L. K. Regan, D. Tennant and B. D. Thompson. 2001. Water use and water use efficiency of cool season grain legumes in low rainfall Mediterranean-type environments. *European Journal of Agronomy* 15: 267-280.
- Sponchiado, B. N., J. W. White, J. A. Castillo and P. G. Jones. 1989. Root Growth of four common bean cultivars in relation to drought tolerance in environments with contrasting soil types. *Experimental Agriculture* 25: 249-257.

- Terán, H. and S. P. Singh. 2002. Comparison of sources and lines selected for drought resistance in common bean. *Crop Science* 42: 64-70.
- Trejo, C. L. and W. J. Davies. 1991. Drought-induced closure of *Phaseolus vulgaris* L. Stomata precedes leaf water deficit and any increase in xylem ABA concentration. *Journal of Experimental Botany* 42: 1507-1515.
- Tsunoda. 1959. A developmental analysis of yielding ability in varieties of field crops. I. Leaf area per plant and leaf area ratio. *Japanese Journal of Breeding* 9: 161-168.
- Wallace, D. H. and H. M. Munger. 1966. Studies of the Physiological Basis for Yield Differences. II. Variations in dry matter distribution among aerial organs for several dry bean varieties. *Crop Science* 6: 503-507.
- Wallace, D. H., J. P. Baudoin, J. Beaver, D. P. Coyne, D. E. Halseth, P. N. Masaya, H. M. Munger, J. R. Myers, M. Silbernagel, K. S. Yourstone and R. W. Zobel. 1993. Improving efficiency of breeding for higher crop yield. *Theoretical and Applied Genetics* 86: 27-40.
- White J. W. 1988. Conceptos básicos de la fisiología del frijol. Centro internacional de Agricultura tropical (CIAT) Cali, Colombia. Pp. 5-55.
- White J. W. and J. Izquierdo. 1991. Physiology of yield potential and stress tolerance. In: A. Van Schoonhoven and O. Voyssest (Eds). *Common beans. Research for crop improvement*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali Colombia. Pp 287-382.
- Xia, M. Z. 1997. Effect of soil drought during the generative development phase on seed yield and nutrient uptake of faba bean (*Vicia faba* L.). *Australian Journal of Agricultural Research* 48: 447-451.
- Yan, W. and D. H. Wallace. 1995. Breeding for negatively associated traits. *Plant Breeding Reviews* 13: 141-177.

## CAPÍTULO 3. VARIACIÓN EN RENDIMIENTO DE SEMILLA Y SUS COMPONENTES EN FRIJOL BAJO DIFERENTES NIVELES DE HUMEDAD EDÁFICA

### 3.1 INTRODUCCIÓN

En México, el frijol es uno de los cultivos con mayor superficie sembrada; en 2014 se sembraron 78,164 ha en el ciclo primavera-verano (P-V) en riego y un millón 409 mil ha en el ciclo verano-otoño (V-O) en temporal, con rendimientos promedio de 1.81 y 0.63 t ha<sup>-1</sup> respectivamente; en el ciclo otoño-invierno (O-I) se sembraron 160 mil ha bajo riego y 126,921 ha en temporal, con rendimientos promedio de 1.33 y 0.71 t ha<sup>-1</sup> respectivamente (SAGARPA, 2014). El frijol cultivado en condiciones de temporal, depende de la lluvia durante el ciclo del cultivo, y en estas condiciones está expuesto al estrés causado por factores bióticos y abióticos que disminuyen severamente la cantidad y calidad de la producción (Rainey y Griffiths, 2005; Ligarreto *et al.*, 2015). La sequía es el principal factor abiótico limitante del rendimiento de frijol en temporal (Rosales *et al.*, 2012; Osuna-Ceja *et al.*, 2013) sobre todo, cuando coincide con las etapas de floración y el periodo de formación de la semilla. Cuando la sequía ocurre en estas etapas fenológicas, el rendimiento puede disminuir de 20 a 100 %, dependiendo de la duración y la intensidad del estrés hídrico (Barrios-Gómez *et al.*, 2010; López-Salinas *et al.*, 2011), y puede reducir la duración de las fases vegetativa y reproductiva, al acortar el número de días a inicio de floración y madurez fisiológica (Barrios-Gómez *et al.*, 2010).

Por otra parte, la sequía generalmente se presenta acompañada de calor, reduciendo drásticamente el rendimiento del cultivo; en frijol las altas temperaturas en presencia de estrés hídrico pueden disminuir el rendimiento de semilla, biomasa aérea, número de vainas normales m<sup>-2</sup> y peso de 100 semillas en 12, 11, 10 y 3 % por cada °C (-1 °C) de aumento en la temperatura de la planta (Barrios-Gómez *et al.*, 2011a). Las altas temperaturas del aire también afectan fuertemente al desarrollo fenológico del frijol; la alta temperatura mínima durante la noche juega un papel mayor en la duración de las etapas de desarrollo del frijol, al reducir el número de días a inicio de floración, antesis y madurez fisiológica, así como la duración del intervalo entre la antesis y la madurez fisiológica (Morales-Rivera *et al.*, 2015).

El problema de los bajos rendimientos de semilla en temporal con deficiencias hídricas y altas temperaturas, se podría resolver parcialmente, seleccionando genotipos con tolerancia a sequía y calor; identificando genotipos con alta producción de biomasa aérea, eficiencia en el uso del agua

y mayor asignación de materia seca a la semilla (Gifford *et al.*, 1984; Geiger *et al.*, 1989; Richards, 2006; Hall, 2012), potencial hídrico foliar y ajuste osmótico (Barrios-Gómez *et al.*, 2011a), y mayor número de vainas normales  $m^{-2}$  (Morales-Rivera *et al.*, 2015). La tolerancia a calor podría mejorarse al seleccionar líneas con alta termoestabilidad de la membrana celular, depresión de la temperatura del dosel del cultivo, mayor contenido de clorofila foliar, conductancia estomática y tasa fotosintética (Reynolds *et al.*, 2001), alta asignación de biomasa a las vainas y número de vainas normales (Omae *et al.*, 2012), más rápido y extensivo desarrollo del sistema radical para una mayor extracción de humedad y nutrientes, escape o tolerancia a enfermedades de raíces y mayor capacidad de competencia con malezas (Richards, 2008).

Al considerar que las deficiencias hídricas del suelo representan el mayor factor limitante del rendimiento en las siembras de secano, se propuso realizar el presente trabajo de investigación con el objetivo de estudiar la variabilidad en rendimiento de semilla, componentes del rendimiento y fenología en un grupo de variedades de frijol del tipo ‘Flor de Mayo’ y de frijol negro del estado de Veracruz, en condiciones de riego y de temporal con deficiencias hídricas en los ciclos de primavera-verano 2013 y verano-otoño 2014.

## **3.2. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **3.2.1 Sitio experimental**

Se realizaron dos experimentos en el Campo Experimental del Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Estado de México (19° 21' N, 98° 55' O y 2250 m snm); el experimento I (E-I) en el ciclo de primavera-verano (PV) 2013 y el II (E-II) en el ciclo de verano-otoño (VO) 2014. El sitio experimental se caracteriza por presentar un clima templado subhúmedo del tipo Cb (wo) (w) (i')g con lluvias en verano y temperatura, y precipitación media anual de 15.2 °C y 637 mm, respectivamente (García, 1973). El suelo para los experimentos fue de textura arcillosa con un pH de 8.2, contenido de materia orgánica de 2.1 % (Walkey-Black), conductividad eléctrica de 0.50 dS  $m^{-1}$ , contenido de nitrógeno de 0.2 % (MicroKjeldhal), contenido de fósforo de 9.5 mg  $kg^{-1}$  ( $P_2O_5$ ; Olsen) y 1.7 cmol  $kg^{-1}$  de potasio en promedio de las profundidades 0-20, 20-40, 40-60 y 60-80 cm.

### 3.2.2 Material genético

Se incluyeron doce materiales; ocho variedades comerciales de frijol del tipo ‘Flor de Mayo’, dos con semilla de color negro, procedentes del INIFAP, y dos variedades criollas, una colectada en el sur del Estado de Veracruz y la otra en el Estado de Michoacán, para los E-I y E-II (Cuadro 3.1).

**Cuadro 3.1 Material genético utilizado en los experimentos de campo**

Variedad	Año de liberación o colecta	Días a floración	Rendimiento de semilla (g m <sup>-2</sup> )
FM Anita <sup>%</sup>	2002	44-62	301 <sup>§</sup>
FM Corregidora <sup>%</sup>	2000	56	210 <sup>§</sup>
FM 2000 <sup>%</sup>	2001	45-50	210 <sup>§</sup>
Negro Veracruz <sup>#</sup>	2012	37	116 <sup>¥</sup>
Criollo San Andrés <sup>&amp;</sup>	2012	36	113 <sup>¥</sup>
Negro Cotaxtla 91 <sup>#</sup>	2012	37	110 <sup>¥</sup>
FM M38 <sup>%</sup>	1994	50-57	97 <sup>¥</sup>
Michoacán 128 <sup>é</sup>	1974	47-53	95 <sup>¥</sup>
FM Sol <sup>%</sup>	1996	45-51	87 <sup>¥</sup>
FM Bajío <sup>%</sup>	1989	45-47	83 <sup>¥</sup>
FM Noura <sup>%</sup>	2006	47-50	76 <sup>¥</sup>
FM RMC <sup>%</sup>	1981	44-55	75 <sup>¥</sup>

Variedades mejoradas de frijol, INIFAP (Rosales-Serna *et al.*, 2004a) para áreas de temporal y humedad favorable en altiplano Mexicano<sup>%</sup> y el Estado de Veracruz<sup>#</sup>; <sup>é</sup>Material criollo proporcionado por el Dr. Salvador Miranda Colín, Profesor Investigador, Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Genética, Colegio de Postgraduados; <sup>&</sup>Variedad criolla procedente del sur de Veracruz, colectada por el M.C. Aurelio Morales Rivera. <sup>¥</sup>Rendimiento de semilla en condiciones de secano, en Rodríguez Clara, Veracruz (Morales-Rivera *et al.*, 2015), <sup>§</sup>Rendimiento de semilla en promedio de riego y temporal en Montecillo, Texcoco, Estado de México (Barrios-Gómez *et al.*, 2010).

### 3.2.3 Diseño experimental

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones en riego (R) y tres en temporal (T); la unidad experimental constó de cuatro surcos de 5 m de longitud y 0.8 m de separación. La siembra se realizó el 24 de abril de 2013 en suelo seco para el E-I y el 11 de Junio de 2014 en suelo ligeramente húmedo, para el E-II. Se empleó un tratamiento de fertilización de



80-40-00, con urea como fuente de nitrógeno y superfosfato de calcio triple como fuente de fósforo; se aplicó la mitad del nitrógeno y todo el fósforo al momento de la siembra y la segunda mitad de nitrógeno a los 50 días después de la siembra (dds) en el E-I y a los 49 dds en el E-II. Se manejó una densidad de población aproximada de 148,000 plantas ha<sup>-1</sup> en los dos experimentos. Se realizaron labores de cultivo a los 40 dds y 50 dds en el E-I y a los 37 y 49 dds en el E-II. En el E-I se aplicó agua a los dos y ocho dds en R y T; posteriormente, se aplicó agua cada semana en cuatro ocasiones en R únicamente, al dejar ambos tratamientos de humedad edáfica a merced de la lluvia hasta la madurez fisiológica; en el E-II se aplicó agua a los dos dds en R y T, y después se realizó la aplicación a los 25, 33, 44 y 60 dds sólo en R, posteriormente ambos tratamientos de humedad edáfica quedaron atendidos a la lluvia hasta la madurez fisiológica.

Se aplicó herbicida Flex® (Fomesafen) para el control de malezas de hoja ancha a los 31 dds en el E-I y a los 23 dds en el E-II, y herbicida Fusiflex® (Fluazifop-p-butil) para el control de maleza de hoja angosta a los 34 dds en el E-II. También, se aplicaron insecticidas Engeo® (Tiametoxam y Lambda-cihalotrina) y Monitor® (Metamidofos) a una dosis de 1 L ha<sup>-1</sup> a los 62 y 69 dds, para el control de mosquita blanca (*Bemisia tabaci*) y conchuela, (*Epilachna varivestis*) en el E-I, y Afidox® (Dimetoato) a una dosis de 1 L ha<sup>-1</sup> a los 31 y Nugor® (Dimetoato) a los 91 dds para el control de mosquita blanca (*Bemisia tabaci*) y conchuela, (*Epilachna varivestis*) en el E-II. Adicionalmente, se realizó la aplicación de un fertilizante foliar líquido (\*Nutriplant plus®) a los 62 dds en el E-I y 55, 67 y 78 dds en el E-II. No se observó la presencia de enfermedades foliares durante el ciclo de cultivo.

#### **3.2.4. Variables de estudio**

En los dos experimentos se registraron datos de todas las variables consideradas, excepto en la biomasa aérea determinada al inicio de la floración y antesis, y el índice de cosecha *modificado* (ICm), que se determinaron sólo en el E-II.

**Días a inicio de floración (IF);** se determinó cuando el 50 % de las plantas en cada unidad experimental presentaron al menos una flor abierta.

**Días a antesis (A);** se determinó cuando el 50 % de las plantas de cada unidad experimental presentaron flores abiertas.

\*Consultar diccionario de especialidades agroquímicas 2015

**Días a madurez fisiológica (MF);** se registró cuando el 90 % de las vainas de las plantas perdieron su pigmentación verde (Acosta-Díaz *et al.*, 2009).

**Altura de planta (cm);** se determinó al medir la longitud del vástago o rama más larga desde la superficie del suelo hasta el ápice terminal, en cinco plantas de los dos surcos centrales de cada unidad experimental.

**Biomasa aérea al inicio de floración ( $\text{g m}^{-2}$ );** se obtuvo al cosechar las plantas presentes en un área de  $0.4 \text{ m}^2$  en los surcos laterales de cada unidad experimental y determinar el peso seco; las muestras para cada variedad en sus tres repeticiones, se colectaron cuando el 50 % de las plantas presentaban al menos una flor abierta.

**Biomasa aérea en floración o antesis ( $\text{g m}^{-2}$ );** se obtuvo al cosechar las plantas presentes en un área de  $0.4 \text{ m}^2$  en los surcos laterales de cada unidad experimental y determinar el peso seco; las muestras para cada variedad en sus tres repeticiones, se colectaron cuando el 50 % de las plantas presentaban flores abiertas.

**Biomasa aérea final ( $\text{g m}^{-2}$ );** se obtuvo al cosechar y determinar el peso seco de las plantas presentes en competencia completa en los dos surcos centrales de cada unidad experimental. En el E-I, se cosecharon el mismo día todas las plantas de los dos surcos centrales, mientras que en el E-II, cada parcela fue cosechada en el momento en que cada genotipo alcanzó la madurez fisiológica.

**Biomasa acumulada entre el inicio de floración y antesis ( $\text{g m}^{-2}$ );** se calculó como la diferencia ( $\text{BMIF-BMA} = \text{BMA} - \text{BMIF}$ ) entre la biomasa aérea producida al inicio de floración (BMIF) y la biomasa aérea producida en la floración o antesis (BMA).

**Biomasa acumulada entre la antesis y la madurez fisiológica ( $\text{g m}^{-2}$ );** se determinó al calcular la diferencia ( $\text{BMA-BMMF} = \text{BMMF} - \text{BMA}$ ) entre la biomasa aérea producida en la antesis (BMA) y la biomasa acumulada en la madurez fisiológica (BMMF).

**Vainas normales  $\text{m}^{-2}$  (VN  $\text{M}^{-2}$ );** se calculó al contar el número total de vainas en la muestra de las plantas utilizadas, para determinar la biomasa aérea final y dividirlo entre el área cosechada. Se consideró como vaina normal aquella que tenía al menos una semilla normal con el tamaño y color característico de cada genotipo (López-Castañeda y Kohashi-Shibata, 1985).

**Rendimiento de semilla (RS,  $\text{g m}^{-2}$ );** se determinó al pesar la semilla una vez separada de las vainas y los órganos vegetativos de las plantas utilizadas, para determinar la biomasa aérea final y dividir el peso de la semilla entre el área cosechada.

**Índice de cosecha (IC);** se determinó al dividir el rendimiento de semilla (RS) entre la biomasa aérea final (BMAF) ( $IC=RS/BMAF$ ).

**Índice de cosecha modificado (ICm);** se calculó al dividir el rendimiento de semilla (RS) entre la biomasa aérea final (BMAF) que incluyó la materia seca presente en la planta en la madurez fisiológica o rendimiento biológico (RB) y el peso seco de todos los órganos vegetativos (peciolos, foliolos y ramas) y reproductores (botones, flores y vainas) que presentaron abscisión durante el ciclo biológico de las plantas (PSa) [ $ICm=(RS/RB+PSa)100$ ] en el E-II (Kohashi-Shibata *et al.*, 1980).

**Semillas vaina<sup>-1</sup> (NS V<sup>-1</sup>);** se contó el número promedio de semillas normales por vaina normal en 30 vainas normales, elegidas al azar de la muestra utilizada para determinar el rendimiento de semilla.

**Semillas normales m<sup>-2</sup> (SN M<sup>-2</sup>);** se calculó al multiplicar el número de vainas normales m<sup>-2</sup> (VN M<sup>-2</sup>) x el número de semillas por vaina<sup>-1</sup> (S V<sup>-1</sup>).

**Peso de 200 semillas (P200S, g);** se obtuvo al pesar 200 semillas elegidas al azar en la muestra utilizada para determinar el rendimiento de semilla.

**Peso individual de la semilla (PIS, mg);** se determinó al dividir el P200S entre 200.

### 3.2.5 Análisis estadístico

Se realizaron análisis de varianza individuales y combinados a partir de los datos registrados en los dos experimentos E-I y E-II, al utilizar el programa SAS (SAS, 2014) versión 9.4 para Windows. Se utilizó un modelo en serie de cuatro experimentos ( $Y_{ijkl} = \mu + C_i + E_j + V_k + CE_{ij} + CV_{ik} + EV_{jk} + CEV_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$ ) para el análisis combinado que incluyó ciclos (C), ambientes (E), variedades (V), y las interacciones C x E (CE), C x V (CV), y C x E x V (CEV) como fuentes de variación:

Donde:

$Y_{ijkl}$  = Observación de la variable respuesta obtenida del tratamiento con el  $i$ -ésimo nivel de C, el  $j$ -ésimo nivel de E,  $k$ -ésimo nivel de V y la repetición  $l$ -ésima

$\mu$  = Media general

$C_i$  = Efecto del  $i$ -ésimo nivel del factor C (ciclos)

$E_j$  = Efecto del  $j$ -ésimo nivel del factor E (ambientes)

$V_k$  = Efecto de  $k$ -ésimo nivel del factor V (variedades)

$CE_{ij}$  = Efecto de la interacción del  $i$ -ésimo nivel del factor C (ciclos) y el  $j$ -ésimo nivel del factor E (ambientes).

$CV_{ik}$  = Efecto de la interacción del  $j$ -ésimo nivel del factor C (ciclos) y el  $k$ -ésimo nivel del factor V (variedades).

$CEV_{ijk}$  = Efecto de la interacción del  $i$ -ésimo nivel del factor C (ciclos), el  $j$ -ésimo nivel del factor E (ambientes) y  $k$ -ésimo nivel del factor V (variedades).

$\varepsilon_{ijk}$  = Error asociado a  $y_{ijkl}$

Para la comparación de medias se utilizó la diferencia mínima significativa (DMS,  $P \leq 0.05$ ).

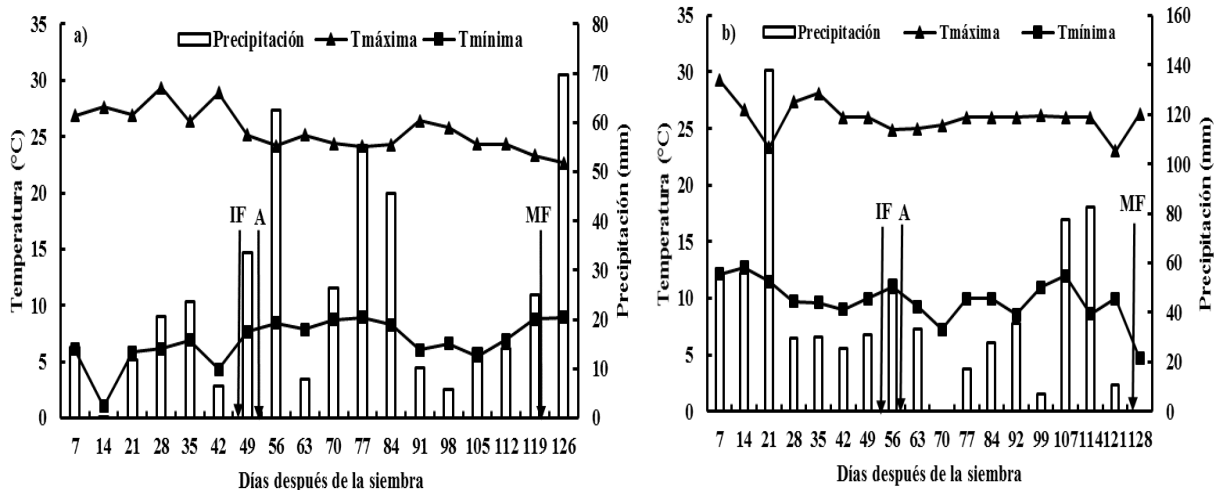
### 3.3 RESULTADOS

#### 3.3.1 Datos meteorológicos

Los datos de temperatura máxima y mínima del aire, y precipitación pluvial (mm) durante el E-I, se obtuvieron de la estación meteorológica de la Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México, localizada a una distancia aproximada de 3 km del experimento (Figura 3.1a). Los datos meteorológicos para el E-II, se registraron diariamente durante el ciclo de las plantas con un termómetro de columna de mercurio de máxima y mínima, marca Taylor, y un pluviómetro portátil, colocados en el lugar donde se llevó a cabo el experimento (Figura 3.1b).

En el E-I la temperatura máxima presentó un valor promedio semanal por arriba de los 25 °C durante el ciclo de cultivo, mientras que la mínima presentó dos periodos con temperaturas menores a 5 °C antes del inicio de la floración, y valores mayores de 5 °C hasta el final del ciclo biológico de las plantas (Figura 3.1a). Se observó una amplia variación en la distribución semanal acumulada de la precipitación; la cantidad de lluvia registrada durante el ciclo fue 448 mm, presentándose una disminución de la precipitación 11 días después de antesis (63 dds) y en la etapa de crecimiento y formación de vainas y semillas entre los 84 y 112 dds (Figura 3.1).

En el E-II la temperatura máxima presentó un valor promedio semanal por arriba de los 25 °C durante el ciclo de cultivo, mientras que la mínima presentó valores por arriba de 10 °C, y un valor de 7 °C después de la etapa de antesis (Figura 3.1b). La cantidad de lluvia registrada durante el ciclo fue de 712 mm; se presentó una disminución en la distribución semanal acumulada de la precipitación, observándose deficiencias hídricas dos semanas después de la antesis y en la etapa de formación del rendimiento (Figura 3.1b).

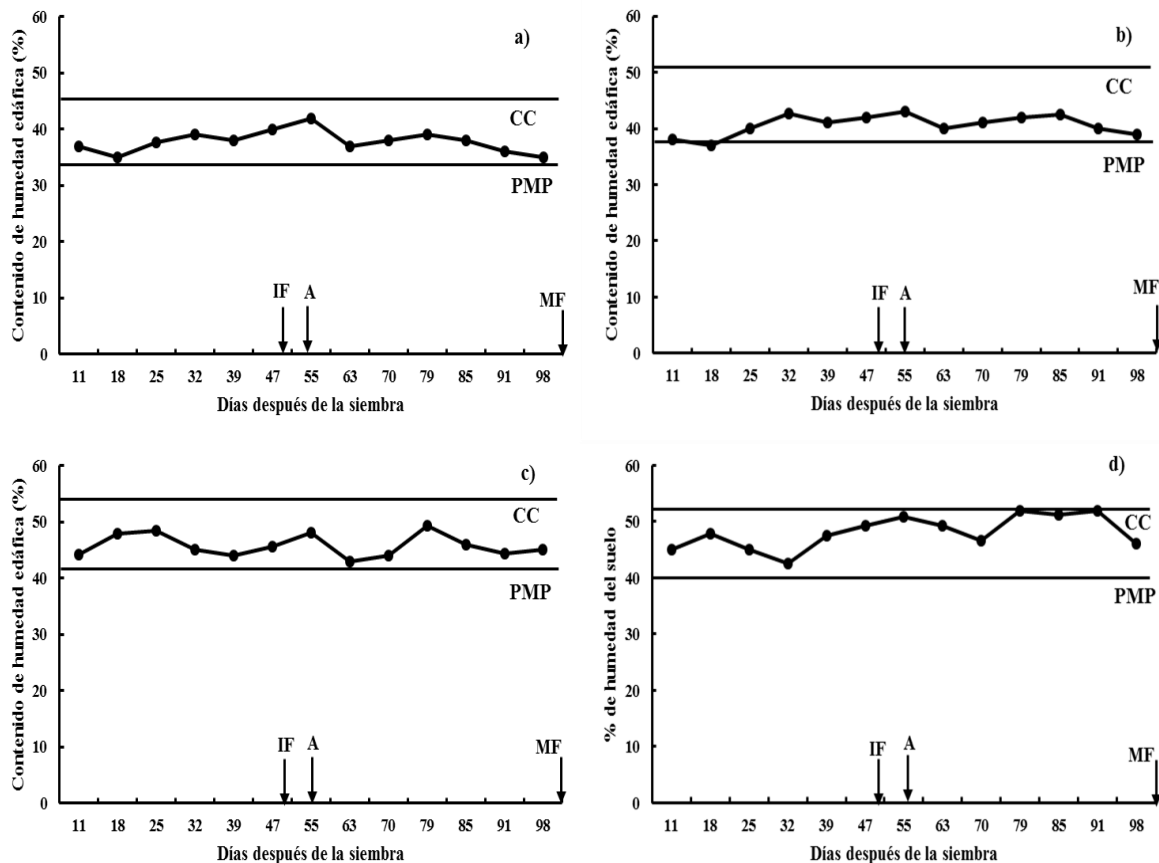


**Figura 3.1** Temperatura máxima y mínima del aire promedio semanal, y precipitación acumulada semanalmente en el E-I, ciclo primavera-verano 2013 (a) y E-II ciclo verano-otoño 2014 (b). Montecillo, Texcoco, Estado de México. IF= Inicio de floración; A= Antesis; MF= Madurez fisiológica.

### 3.3.2 Contenido hídrico del suelo

Se determinó el contenido de humedad aprovechable en diferentes profundidades del suelo (0-20, 20-40, 40-60 y de 60-80) semanalmente, mediante el método gravimétrico [ $\% HA = ((\text{Peso del suelo húmedo} - \text{Peso del suelo seco}) / \text{Peso del suelo seco}) \cdot 100$ ] en el E-I (Figura 3.2) y E-II (Figura 3.3). El contenido hídrico edáfico en R se mantuvo cerca de capacidad de campo (CC) durante los experimentos E-I y E-II (datos no mostrados).

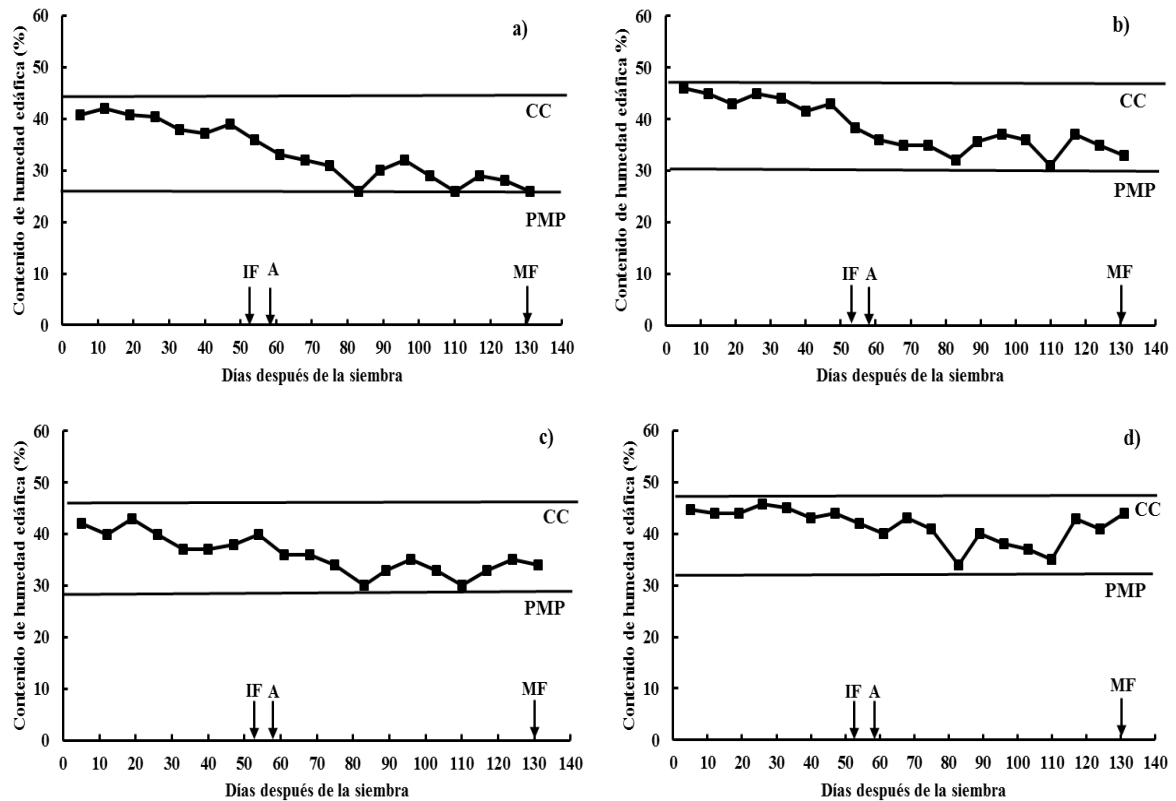
En T en el E-I, se observó que el porcentaje de humedad del suelo alcanzó el PMP a los 18 dds y se mantuvo cercano a PMP durante el periodo entre antesis y madurez fisiológica en las profundidades de 0-20 y 20-40 cm (Figura 3.2 a, b); en la profundidad de 40-60 cm el contenido hídrico del suelo se mantuvo cercano a PMP entre los 32 y 47 dds, y entre los 63 y 70 dds, y 91 y 98 dds durante la formación del rendimiento de semilla (Figura 3.2c); en la profundidad de 60-80 cm la disponibilidad de humedad se mantuvo más cercana a la CC durante el ciclo de las plantas que en las otras profundidades del suelo (Figura 3.2d).



**Figura 3.2** Contenido de humedad edáfica en las profundidades de 0-20 cm (a), 20-40 cm (b), 40-60 (c) y 60-80 cm (d), en temporal durante el experimento en campo. Ciclo primavera-verano 2013 (E-I). Montecillo, Texcoco, Estado de México. CC= capacidad de campo; PMP= porcentaje de marchitamiento permanente; IF= Inicio de floración; A= Antesis y MF= Madurez fisiológica.

En el E-II se observó que la disponibilidad de humedad del suelo disminuyó conforme avanzó el ciclo del cultivo en las profundidades de 0-20, 20-40, 40-60 y 60-80 cm; en las profundidades de 0-20 y 20-40, el nivel de humedad disminuyó hasta PMP a los 83 y 110 dds, y alcanzó un nivel cercano a PMP en las profundidades de 40-60 y 60-80 cm también a los 83 y 110 dds (Figura 3.3 c y d).

A pesar de que la precipitación registrada durante el ciclo de cultivo fue mayor en E-II (712 mm) que en E-I (448 mm); se observó que el contenido hídrico del suelo en las profundidades de 0-20, 20-40 y 40-60 cm en el E-II se mantuvo más cercano a PMP después del inicio de floración que en el E-I, debido a una distribución más irregular de la lluvia en las etapas de inicio de floración, antesis y formación de la semilla en el E-II (Figura 3.1b) que en el E-I (Figura 3.1a).



**Figura 3.3** Contenido de humedad edáfica en las profundidades de 0-20 cm (a), 20-40 cm (b), 40-60 (c) y 60-80 cm (d) en temporal durante el experimento en campo. Ciclo verano-otoño 2014 (E-II). Montecillo, Texcoco, Estado de México. CC= capacidad de campo; PMP= porcentaje de marchitamiento permanente; IF= Inicio de floración; A= Antesis y MF= Madurez fisiológica.

### 3.3.3 Análisis estadístico

Se detectaron diferencias significativas ( $P \leq 0.01$ ) entre ciclos (PV 2013, E-I y VO 2014, E-II) (C), para el rendimiento de semilla (RS), biomasa aérea final (BMAF), vainas normales  $m^{-2}$  (VN  $M^{-2}$ ), semillas normales  $m^{-2}$  (SN  $M^{-2}$ ), peso de 200 semillas (P200S), semillas vaina $^{-1}$  ( $S V^{-1}$ ), índice de cosecha (IC), altura de planta (AP), días a inicio de floración (IF), días a antesis (A) y días a madurez fisiológica (MF); diferencias significativas ( $P \leq 0.01$ ) entre ambientes (riego y temporal) (E) para el RS, BMAF, VN  $M^{-2}$ , SN  $M^{-2}$ , IF y A; y diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) para P200S,  $S V^{-1}$ , AP y MF; efectos altamente significativos ( $P \leq 0.01$ ) en la interacción ciclos x ambientes (CE) para  $S V^{-1}$  e IC, efectos significativos ( $P \leq 0.05$ ) para el P200S, MF y IA-MF; diferencias significativas ( $P \leq 0.01$ ) entre variedades (V) para RS, BMAF, SN  $M^{-2}$ , P200S,  $S V^{-1}$ , IC, AP, IF, A, MF e IA-MF, y diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) para VN  $M^{-2}$ ; efectos significativos ( $P \leq 0.01$ ) en

la interacción ciclos x variedades (AV) para P200S e IA-MF, y efectos significativos ( $P \leq 0.05$ ) para el RS, BMAF, SN M<sup>-2</sup>, IC, AP, IF, A y MF; efectos significativos ( $P \leq 0.01$ ) en la interacción ambientes x variedades (EV) para el P200S; efectos significativos ( $P \leq 0.01$ ) en la interacción ciclos x ambientes x variedades (AEV) para P200S (Cuadro 3.1A). No se detectaron efectos significativos entre ciclos (C) para el IA-MF; ambientes (E) para el IC e IA-MF; interacción ciclos x ambientes (CE) para RS, BMAF, VN M<sup>-2</sup>, SN M<sup>-2</sup>, AP, IF y A; variedades (V) para IC; interacción ciclos x variedades (AV) para VN M<sup>-2</sup> y S V<sup>-1</sup>; interacción ambientes x variedades (EV) para RS, BMAF, VN M<sup>-2</sup>, SN M<sup>-2</sup>, S V<sup>-1</sup>, IC, AP, IF, A, MF e IA-MF; interacción ciclos x ambientes x variedades (AEV) para el RS, BMAF, VN M<sup>-2</sup>, SN M<sup>-2</sup>, S V<sup>-1</sup>, IC, AP, IF, A, MF e IA-MF (Cuadro 3.1A).

La biomasa aérea al inicio de la floración (BMIF), antesis (BMA) y madurez fisiológica (BMMF) en el E-II permitió detectar diferencias significativas ( $P \leq 0.01$ ) en acumulación de materia seca entre niveles de humedad (riego y temporal) para la BMIF y BMMF; entre variedades para la BMIF, BMA y BMMF, y la interacción humedad x variedad para la BMIF y BMA; también se detectaron diferencias ( $P \leq 0.05$ ) entre niveles de humedad para BMA y efectos significativos ( $P \leq 0.05$ ) en la interacción humedad x variedad para la BMMF (Cuadro 3.2.A). El rango fenotípico para la BMIF, BMA y BMMF fue muy similar entre los genotipos estudiados (Cuadro 3.2.A).

### **3.3.4 Rendimiento de semilla, biomasa aérea final, índice de cosecha y componentes del rendimiento**

En general se observó que el E-I tuvo mayor RS y BMAF que el E-II (Cuadro 3.2 y Cuadro 3.3A); el RS y la BMAF fueron 35 y 51 % mayores en el E-I que en el E-II, respectivamente. El RS y la BMAF en promedio de los experimentos E-I y E-II para temporal fueron 17 y 16 % menores que en riego (Cuadro 3.2 y Cuadro 3.3A).

En la interacción ciclos x ambientes no se detectaron efectos significativos para el RS y BMAF (Cuadro 3.2 y Cuadro 3.4A).

Las variedades FM RMC, FM 2000 y FM M38 tuvieron mayor RS, y FM 2000, FM RMC y FM Sol produjeron mayor BMAF que las demás variedades en promedio de riego y temporal en el E-I, y riego y temporal en el E-II (Cuadro 3.2 y Cuadro 3.5A).

En la interacción para ciclos x variedades se observó que los cultivares FM Sol, FM RMC, FM 2000, FM M38 y Michoacán 128, y FM 2000 tuvieron mayor RS en promedio de riego y temporal en el E-I y E-II, respectivamente (Cuadro 3.2 y Cuadro 3.6A). Las variedades FM 2000,



FM RMC, FM M38, FM Sol y Michoacán 128, y FM 2000 y FM RMC tuvieron mayor BMAF que las otras variedades en promedio de riego y temporal en el EI y E-II (Cuadro 3.2 y Cuadro 3.6A).

En la interacción para ambientes x variedades no se detectaron diferencias significativas para el RS y BMAF (Cuadro 3.2 y Cuadro 3.7A).

En la interacción ciclos x ambientes x variedades no se detectaron diferencias significativas para el RS y BMAF (Cuadro 3.2, Cuadro 3.8A).

**Cuadro 3.2 Rendimiento de semilla (RS) y biomasa aérea final (BMAF) en condiciones de riego (R), temporal (T), promedio riego-temporal (RT) y promedio de riego (PR) y temporal (PT) y promedio de variedades (V) de los experimentos E-I (ciclo primavera-verano 2013) y E-II (ciclo verano-otoño 2014). Montecillo, Texcoco, Estado de México.**

Variedades	RS (g m <sup>-2</sup> ) PV2013			RS (g m <sup>-2</sup> ) VO2014			PR	PT	V	BMAF (g m <sup>-2</sup> ) PV2013			BMAF (g m <sup>-2</sup> ) VO2014			PR	PT	V
	R	T	RT	R	T	RT				R	T	RT	R	T	RT			
FM 2000	523	502	513	251	225	238	387	363	375	912	890	901	559	527	543	724	720	722
FM RMC	525	504	515	261	130	196	393	317	355	901	781	841	561	402	482	731	592	661
FM M38	462	463	463	253	139	196	356	301	329	854	810	832	585	303	444	720	556	638
FM Sol	605	439	522	129	101	115	367	270	319	917	722	820	332	285	309	624	503	564
Michoacán 128	528	368	448	186	86	136	357	227	292	859	710	785	432	284	358	645	497	571
FM Noura	414	392	403	191	141	166	302	267	285	727	699	713	498	367	433	613	533	573
FM Anita	409	405	407	159	115	137	284	260	272	677	634	656	317	298	308	497	466	481
FM Corregidora	422	398	410	151	109	130	287	254	270	790	672	731	396	334	365	593	503	548
FM Bajío	386	347	367	179	144	162	283	246	264	611	544	578	416	341	379	514	442	478
<b>Media Flor de Mayo</b>	<b>475</b>	<b>424</b>	<b>450</b>	<b>196</b>	<b>132</b>	<b>164</b>	<b>335</b>	<b>278</b>	<b>305</b>	<b>805</b>	<b>718</b>	<b>762</b>	<b>455</b>	<b>349</b>	<b>402</b>	<b>629</b>	<b>535</b>	<b>584</b>
Criollo San Andrés	404	353	379	146	132	139	275	243	259	748	688	718	360	344	352	554	516	535
Negro Cotaxtla 91	399	380	390	145	83	114	272	231	252	755	530	643	325	266	296	540	398	469
Negro Veracruz	468	313	391	120	99	110	294	206	250	833	552	693	292	296	294	562	424	493
<b>Media negros</b>	<b>424</b>	<b>348</b>	<b>386</b>	<b>137</b>	<b>105</b>	<b>121</b>	<b>280</b>	<b>227</b>	<b>254</b>	<b>779</b>	<b>590</b>	<b>685</b>	<b>326</b>	<b>302</b>	<b>314</b>	<b>552</b>	<b>446</b>	<b>499</b>
<b>Media general</b>	<b>462</b>	<b>405</b>	<b>434</b>	<b>181</b>	<b>126</b>	<b>154</b>	<b>321</b>	<b>265</b>	<b>293</b>	<b>797</b>	<b>688</b>	<b>742</b>	<b>423</b>	<b>337</b>	<b>380</b>	<b>610</b>	<b>513</b>	<b>561</b>
DMS <sup>C</sup> (P≤0.05)	-	-	33	-	-	33	-	-	-	-	-	55	-	-	55	-	-	-
DMS <sup>E</sup> (P≤0.05)	-	-	-	-	-	-	33	33	-	-	-	-	-	-	-	55	55	-
DMS <sup>CE</sup> (P≤0.05)	35	35	-	13	13	-	-	-	-	61	61	-	25	25	-	-	-	-
DMS <sup>V</sup> (P≤0.05)	-	-	-	-	-	-	-	-	43	-	-	-	-	-	-	-	-	75
DMS <sup>CV</sup> (P≤0.05)	-	-	83	-	-	37	-	-	-	-	-	135	-	-	77	-	-	-
DMS <sup>EV</sup> (P≤0.05)	-	-	-	-	-	-	76	60	-	-	-	-	-	-	-	130	97	-

DMS= diferencia mínima significativa. <sup>C</sup>Valor de la DMS para la comparación entre ciclos; <sup>E</sup>Valor de la DMS para la comparación entre ambientes; <sup>CE</sup>Valor de la DMS para la interacción ciclos x ambientes; <sup>V</sup>Valor de la DMS para la comparación entre variedades; <sup>CV</sup>Valor de la DMS para la interacción de ciclos x variedades; <sup>EV</sup>Valor de la DMS para la interacción de ambientes x variedades.

En el E-I, el índice de cosecha (IC) y el número de vainas normales  $m^{-2}$  (VN  $M^{-2}$ ) fueron mayores que en el E-II; el IC y el número de VN  $M^{-2}$  fueron 69 y 49 % mayores en el E-I que en el E-II (Cuadro 3.3 y Cuadro 3.3A).

El ambiente también afectó significativamente a los componentes del rendimiento de semilla; el número de VN  $M^{-2}$  en promedio de los experimentos E-I y E-II para temporal fue 19 % menor que en riego. No se observaron diferencias significativas en el IC (Cuadro 3.3 y Cuadro 3.3A).

En la interacción ciclos x ambientes, se observó que el IC fue 7, 28 y 38 % menor que en temporal del E-I, y riego y temporal del E-II, con respecto a riego del E-I. No se detectaron diferencias significativas para el número de VN  $M^{-2}$  y (Cuadro 3.3 y Cuadro 3.4A).

Las variedades FM 2000, FM RMC, FM M38, FM Sol y FM Anita tuvieron mayor IC que las otras variedades en promedio de riego y temporal en el E-I y E-II, y las variedades Criollo San Andrés, Negro Cotaxtla 91, FM 2000, FM M38, FM RMC, Michoacán 128 y Negro Veracruz produjeron mayor número de VN  $M^{-2}$  que las demás variedades en promedio de riego y temporal en el E-I y riego y temporal en el E-II (Cuadro 3.3 y Cuadro 3.5A).

En la interacción para ciclos x variedades se determinó que los cultivares FM RMC, FM Sol, FM Anita y FM Bajío, y FM 2000, FM Anita, FM M38 y FM Bajío tuvieron el más alto IC en promedio de riego y temporal en el E-I y E-II, respectivamente. No se observaron diferencias significativas en el número de VN  $M^{-2}$  (Cuadro 3.3 y Cuadro 3.6A).

En la interacción para ambientes x variedades, no se detectaron diferencias significativas en el IC y número de VN  $M^{-2}$  (Cuadro 3.3 y Cuadro 3.7A).

No hubo diferencias significativas en el IC y número de VN  $M^{-2}$  entre variedades para la interacción ciclos x ambientes x variedades (Cuadro 3.3, Cuadro 3.8A).

**Cuadro 3.3 Índice de cosecha (IC), índice de cosecha *modificado* (ICm) y vainas normales m<sup>-2</sup> (VN M<sup>-2</sup>) en condiciones de riego (R), temporal (T), promedio riego-temporal (RT) y promedio de riego (PR) y temporal (PT) y promedio de variedades (V) de los experimentos E-I (ciclo primavera-verano 2013) y E-II (verano-otoño 2014). Montecillo, Texcoco, Estado de México.**

Variedades	IC (%) PV2013			ICm (%) VO2014			PR	PT	V	VN M <sup>-2</sup> PV2013			VN M <sup>-2</sup> VO2014			PR	PT	V
	R	T	RT	R	T	RT				R	T	RT	R	T	RT			
FM 2000	57	56	57	45	43	44	51	50	50	397	343	370	257	234	246	327	289	308
FM RMC	64	58	61	47	33	40	56	46	51	401	357	379	284	160	222	343	259	301
FM M38	57	54	56	46	43	45	52	48	50	400	359	380	287	179	233	344	269	306
FM Sol	66	60	63	39	36	37	52	48	50	386	329	358	155	144	150	270	236	253
Michoacán 128	62	52	57	43	29	36	53	41	47	432	375	404	275	110	193	353	243	298
FM Noura	57	56	57	38	38	38	48	47	47	363	323	343	269	97	183	316	210	263
FM Anita	64	60	62	51	39	45	58	50	54	379	344	362	145	145	145	262	245	253
FM Corregidora	59	54	56	38	34	36	49	44	46	343	324	334	199	180	190	271	252	261
FM Bajío	64	63	63	44	42	43	54	53	53	377	341	359	196	105	151	287	223	255
<b>Media Flor de Mayo</b>	<b>61</b>	<b>57</b>	<b>60</b>	<b>43</b>	<b>38</b>	<b>41</b>	52	49	50	<b>386</b>	<b>344</b>	<b>365</b>	<b>230</b>	<b>150</b>	<b>190</b>	<b>308</b>	<b>247</b>	<b>281</b>
Criollo San Andrés	54	51	53	40	39	40	47	45	46	456	407	432	214	187	201	335	297	316
Negro Cotaxtla 91	59	53	56	46	31	39	53	42	47	472	410	441	199	154	177	335	282	309
Negro Veracruz	57	56	57	41	33	37	49	45	47	476	356	416	195	164	180	336	260	298
<b>Media negros</b>	<b>54</b>	<b>54</b>	<b>54</b>	<b>42</b>	<b>34</b>	<b>38</b>	48	44	46	<b>468</b>	<b>391</b>	<b>430</b>	<b>203</b>	<b>168</b>	<b>186</b>	<b>335</b>	<b>280</b>	<b>308</b>
<b>Media general</b>	<b>60</b>	<b>56</b>	<b>58</b>	<b>43</b>	<b>37</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>47</b>	<b>49</b>	<b>407</b>	<b>356</b>	<b>382</b>	<b>223</b>	<b>155</b>	<b>189</b>	<b>315</b>	<b>255</b>	<b>285</b>
DMS <sup>C</sup> (P≤0.05)	-	-	5	-	-	5	-	-	-	-	-	27	-	-	27	-	-	-
DMS <sup>E</sup> (P≤0.05)	-	-	-	-	-	-	5	5	-	-	-	-	-	-	-	27	27	-
DMS <sup>CE</sup> (P≤0.05)	6	6	-	3	3	-	-	-	-	29	29	-	24	24	-	-	-	-
DMS <sup>V</sup> (P≤0.05)	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	45
DMS <sup>CV</sup> (P≤0.05)	-	-	15	-	-	7	-	-	-	-	-	65	-	-	64	-	-	-
DMS <sup>EV</sup> (P≤0.05)	-	-	-	-	-	-	7	15	-	-	-	-	-	-	-	79	53	-

DMS= diferencia mínima significativa. <sup>C</sup>Valor de la DMS para la comparación entre ciclos; <sup>E</sup>Valor de la DMS para la comparación entre ambientes; <sup>CE</sup>Valor de la DMS para la interacción ciclos x ambientes; <sup>V</sup>Valor de la DMS para la comparación entre variedades; <sup>CV</sup>Valor de la DMS para la interacción de ciclos x variedades; <sup>EV</sup>Valor de la DMS para la interacción de ambientes x variedades.

El número de SN M<sup>2</sup> y P200S fueron 37 y 90 % mayores en el E-I que en el E-II, respectivamente (Cuadro 3.4 y Cuadro 3.3A).

El número de SN M<sup>2</sup> y P200S en temporal fueron 19 y 6 % menores que en riego en promedio de los experimentos E-I y E-II (Cuadro 3.4 y Cuadro 3.3A).

En la interacción ciclos x ambientes, se observó que el P200S fue 6, 10 y 16 % menor que en temporal del E-I, y riego y temporal del E-II, con respecto a riego del E-I. No se detectaron diferencias significativas para el número de SN M<sup>2</sup> y (Cuadro 3.4 y Cuadro 3.4A).

Las variedades, Criollo San Andrés, Negro Cotaxtla 91, Negro Veracruz, FM RMC y FM 2000 produjeron mayor número de SN M<sup>2</sup> y FM 2000 tuvo mayor P200S que las demás variedades en promedio de riego y temporal en el E-I, y riego y temporal en el E-II (Cuadro 3.4 y Cuadro 3.5A).

En la interacción para ciclos x variedades, se determinó que los cultivares Criollo San Andrés, Negro Veracruz y Negro Cotaxtla 91 en el E-I, y las variedades FM 2000, FM RMC, Criollo San Andrés, FM M38 y Negro Cotaxtla 91 en el E-II, tuvieron mayor número de SN M<sup>2</sup>, y las variedades FM 2000 en el E-I, y FM RMC, FM 2000, Michoacán 128 y FM Noura en el E-II, tuvieron mayor P200S que las demás variedades, respectivamente (Cuadro 3.4 y Cuadro 3.6A).

En la interacción para ambientes x variedades se observó que la variedad FM 2000 en riego y las variedades FM RMC, FM 2000, FM Sol, FM M38, FM Corregidora y FM Anita en temporal tuvieron mayor P200S que las demás variedades en promedio de E-I y E-II, respectivamente. No se detectaron diferencias significativas para el número de SN M<sup>2</sup> (Cuadro 3.4 y Cuadro 3.7A).

En la interacción para ciclos x ambientes x variedades se observó que la variedad FM 2000 tuvo mayor P200S que las demás variedades en riego y temporal en el E-I, y riego y temporal en el E-II. No hubo diferencias significativas para el número de SN M<sup>2</sup> (Cuadro 3.4, Cuadro 3.8A).

**Cuadro 3.4 Semillas normales m<sup>-2</sup> (SN M<sup>-2</sup>) y peso de 200 semillas (P200S) en condiciones de riego (R), temporal (T), promedio riego-temporal (RT) y promedio de riego (PR) y temporal (PT) y promedio de variedades (V) de los experimentos E-I (ciclo primavera-verano 2013) y E-II (ciclo verano-otoño 2014). Montecillo, Texcoco, Estado de México.**

Variedades	SN M <sup>-2</sup> PV2013			SN M <sup>-2</sup> VO2014			PR	PT	V	P200S (g) PV2013			P200S (g) VO2014			PR	PT	V
	R	T	RT	R	T	RT				R	T	RT	R	T	RT			
FM 2000	2464	2128	2296	1237	1097	1167	1850	1612	1731	77	55	66	53	52	53	65	53	59
FM RMC	2573	2320	2447	1352	735	1044	1962	1527	1745	56	55	56	55	53	54	56	54	55
FM M38	2371	2154	2263	1299	756	1028	1835	1455	1645	52	51	51	49	47	48	50	49	50
FM Sol	2558	2137	2348	836	665	751	1697	1401	1549	54	56	55	50	47	49	52	51	52
Michoacán 128	2549	2254	2402	1219	469	844	1884	1362	1623	54	48	46	53	48	51	54	43	48
FM Noura	2066	1883	1975	1176	391	784	1621	1137	1379	53	54	54	60	42	51	57	48	52
FM Anita	2167	1946	2057	617	597	607	1392	1272	1332	54	52	53	45	47	46	51	49	50
FM Corregidora	2009	1964	1987	880	685	783	1444	1324	1384	52	53	53	48	47	48	50	50	50
FM Bajío	2150	1883	2017	845	410	628	1498	1147	1322	48	49	49	44	41	43	46	45	46
<b>Media Flor de Mayo</b>	<b>2323</b>	<b>2074</b>	<b>2199</b>	<b>1051</b>	<b>645</b>	<b>848</b>	<b>1687</b>	<b>1360</b>	<b>1520</b>	<b>56</b>	<b>53</b>	<b>53</b>	<b>51</b>	<b>47</b>	<b>49</b>	<b>52</b>	<b>49</b>	<b>51</b>
Criollo San Andrés	3033	2730	2882	1173	899	1036	2103	1815	1959	34	35	35	31	27	29	32	31	32
Negro Cotaxtla 91	2944	2495	2720	1012	762	887	1978	1629	1803	37	36	37	30	30	30	33	33	33
Negro Veracruz	3177	2312	2745	907	760	834	2042	1536	1789	39	39	39	34	34	34	36	37	36
<b>Media negros</b>	<b>3051</b>	<b>2513</b>	<b>2782</b>	<b>1031</b>	<b>807</b>	<b>919</b>	<b>2041</b>	<b>1660</b>	<b>1850</b>	<b>37</b>	<b>37</b>	<b>37</b>	<b>31</b>	<b>30</b>	<b>31</b>	<b>34</b>	<b>34</b>	<b>34</b>
<b>Media general</b>	<b>2505</b>	<b>2184</b>	<b>2344</b>	<b>1046</b>	<b>686</b>	<b>866</b>	<b>1775</b>	<b>1435</b>	<b>1605</b>	<b>51</b>	<b>48</b>	<b>49</b>	<b>46</b>	<b>43</b>	<b>44</b>	<b>48</b>	<b>45</b>	<b>47</b>
DMS <sup>C</sup> (P≤0.05)	-	-	143	-	-	143	-	-	-	-	-	1	-	-	1	-	-	-
DMS <sup>E</sup> (P≤0.05)	-	-	-	-	-	-	143	143	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-
DMS <sup>CE</sup> (P≤0.05)	175	175	-	119	119	-	-	-	-	1	1	-	2	2	-	-	-	-
DMS <sup>V</sup> (P≤0.05)	-	-	-	-	-	-	-	-	256	-	-	-	-	-	-	-	-	3
DMS <sup>CV</sup> (P≤0.05)	-	-	402	-	-	309	-	-	-	-	-	6	-	-	5	-	-	-
DMS <sup>EV</sup> (P≤0.05)	-	-	-	-	-	-	477	272	-	-	-	-	-	-	-	5	5	-

DMS= diferencia mínima significativa. <sup>C</sup>Valor de la DMS para la comparación entre ciclos; <sup>E</sup>Valor de la DMS para la comparación entre ambientes; <sup>CE</sup>Valor de la DMS para la interacción ciclos x ambientes; <sup>V</sup>Valor de la DMS para la comparación entre variedades; <sup>CV</sup>Valor de la DMS para la interacción de ciclos x variedades; <sup>EV</sup>Valor de la DMS para la interacción de ambientes x variedades.

El número de  $S V^{-1}$  y AP fueron 73 % y 35 cm mayores en el E-I que en el E-II.

El número de  $S V^{-1}$  y AP en temporal fueron 4 % y 7 cm menores que en riego en promedio de los experimentos E-I y E-II (Cuadro 3.5 y Cuadro 3.3A).

En la interacción para ciclos x ambientes se determinó que el número de  $S V^{-1}$  en riego fue similar a temporal en el E-I, y fue 17 y 33 % mayor que en riego y temporal del E-II. No se observaron diferencias significativas en la AP (Cuadro 3.5 y Cuadro 3.4A).

Las variedades FM Sol, FM RMC, Negro Veracruz, Negro Cotaxtla 91 y Criollo San Andrés tuvieron mayor número de  $S V^{-1}$  que las otras variedades en promedio de riego y temporal en el E-I y E-II, y las variedades FM RMC, FM 2000 y FM Sol tuvieron mayor AP que las demás variedades en promedio de riego y temporal en el E-I y E-II (Cuadro 3.5 y Cuadro 3.5A).

En la interacción para ciclos x variedades se observó que los cultivares FM 2000, FM Sol, FM RMC y Negro Veracruz, y FM RMC y FM 2000 tuvieron mayor altura de plantas que las otras variedades en promedio de riego y temporal en el E-I y E-II. No se detectaron diferencias significativas para el número de  $S V^{-1}$  (Cuadro 3.5 y Cuadro 3.6A).

En la interacción para ambientes x variedades no se detectaron diferencias significativas para la AP y número de  $S V^{-1}$  (Cuadro 3.5 y Cuadro 3.7A).

En la interacción ciclos x ambientes x variedades no se detectaron diferencias significativas para el número de  $S V^{-1}$  y AP (Cuadro 3.5, Cuadro 3.8A).

**Cuadro 3.5 Semillas vaina<sup>-1</sup> (S V<sup>-1</sup>) y altura de planta (AP) en condiciones de riego (R), temporal (T), promedio riego-temporal (RT) y promedio de riego (PR) y temporal (PT) y promedio de variedades (V) de los experimentos E-I (ciclo primavera-verano 2013) y E-II (ciclo verano-otoño 2014). Montecillo, Texcoco, Estado de México.**

Variedades	S V <sup>-1</sup> PV2013			S V <sup>-1</sup> VO2014			AP (cm) PV2013			AP (cm) VO2014			PR	PT	V			
	R	T	RT	R	T	RT	R	T	RT	R	T	RT						
FM 2000	6	6	6	5	5	5	6	5	5	116	87	101	67	59	63	91	73	82
FM RMC	6	7	7	5	5	5	6	6	6	97	95	96	79	74	77	88	84	86
FM M38	6	6	6	5	4	5	5	5	5	91	83	87	57	46	52	70	69	69
FM Sol	7	6	7	5	5	5	6	6	6	109	86	98	60	57	59	83	73	78
Michoacán 128	6	6	6	4	4	4	5	5	5	86	79	82	37	34	36	62	57	59
FM Noura	6	6	6	4	4	4	5	5	5	95	80	88	67	47	57	81	64	72
FM Anita	6	6	6	4	4	4	5	5	5	80	75	77	58	56	57	68	66	67
FM Corregidora	6	6	6	4	4	4	5	5	5	94	83	89	44	41	43	68	64	66
FM Bajío	6	6	6	4	4	4	5	5	5	87	77	82	59	49	54	68	68	68
<b>Media Flor de Mayo</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>94</b>	<b>84</b>	<b>89</b>	<b>59</b>	<b>51</b>	<b>55</b>	<b>75</b>	<b>69</b>	<b>72</b>
Criollo San Andrés	7	7	7	5	5	5	6	6	6	70	59	65	27	26	27	49	43	46
Negro Cotaxtla 91	6	6	6	5	5	5	6	6	6	61	56	59	26	26	26	44	42	43
Negro Veracruz	7	7	7	5	5	5	6	6	6	99	92	96	52	49	51	76	71	73
<b>Media negros</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>77</b>	<b>69</b>	<b>73</b>	<b>35</b>	<b>34</b>	<b>35</b>	<b>56</b>	<b>52</b>	<b>54</b>
<b>Media general</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>5.4</b>	<b>5.2</b>	<b>5</b>	<b>90</b>	<b>80</b>	<b>85</b>	<b>53</b>	<b>47</b>	<b>50</b>	<b>71</b>	<b>64</b>	<b>67</b>
DMS <sup>C</sup> (P≤0.05)	-	-	0.2	-	-	0.2	-	-	-	-	-	5	-	-	5	-	-	-
DMS <sup>E</sup> (P≤0.05)	-	-	-	-	-	-	0.1	0.1	-	-	-	-	-	-	-	5	5	-
DMS <sup>CE</sup> (P≤0.05)	0.1	0.1	-	0.2	0.2	-	-	-	-	4	4	-	6	6	-	-	-	-
DMS <sup>V</sup> (P≤0.05)	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	9
DMS <sup>CV</sup> (P≤0.05)	-	-	0.2	-	-	0.4	-	-	-	-	-	11	-	-	14	-	-	-
DMS <sup>EV</sup> (P≤0.05)	-	-	-	-	-	-	0.3	0.3	-	-	-	-	-	-	-	14	13	-

DMS= diferencia mínima significativa. <sup>C</sup>Valor de la DMS para la comparación entre ciclos; <sup>E</sup>Valor de la DMS para la comparación entre ambientes; <sup>CE</sup>Valor de la DMS para la interacción ciclos x ambientes; <sup>V</sup>Valor de la DMS para la comparación entre variedades; <sup>CV</sup>Valor de la DMS para la interacción de ciclos x variedades; <sup>EV</sup>Valor de la DMS para la interacción de ambientes x variedades.



### 3.3.5 Etapas fenológicas

El número de días a inicio de floración (IF) y antesis (A) en el experimento E-II fue mayor que en el experimento E-I; en el E-II el IF y A se alcanzaron cinco y seis días después que el E-I (Cuadro 3.6 y Cuadro 3.9A).

El número de días a IF y A fue dos días menor en temporal que en riego en promedio de los experimentos E-I y E-II (Cuadro 3.6 y Cuadro 3.9A).

En la interacción para ciclos x ambientes no se detectaron efectos significativos para el número de días a IF y A (Cuadro 3.6 y Cuadro 3.10A).

Las variedades Michoacán 128, Negro Cotaxtla 91, Criollo San Andrés, FM Noura, FM M38 y FM Corregidora tuvieron mayor número de días a IF que las otras variedades en promedio de riego y temporal en el E-I, y las variedades Michoacán 128, FM Noura, Negro Cotaxtla 91 y Criollo San Andrés presentaron mayor número de días a A que las demás variedades en promedio de riego y temporal en el E-I y E-II (Cuadro 3.6 y Cuadro 3.11A).

En la interacción para ciclos x variedades se observó que los cultivares Criollo San Andrés, FM Noura, Michoacán 128, Negro Cotaxtla 91 y FM M38; y Michoacán 128, FM Noura, Negro Cotaxtla 91, FM M38 y FM Corregidora tuvieron mayor número de días a IF en promedio de riego y temporal en el E-I y E-II, respectivamente (Cuadro 3.6 y Cuadro 3.12A). Los cultivares Michoacán 128, FM Noura, Criollo San Andrés, Negro Cotaxtla 91, FM M38 y Negro Veracruz; y Michoacán 128, FM Noura, Negro Cotaxtla 91, FM Corregidora, FM M38, Negro Veracruz y Criollo San Andrés tuvieron mayor número de días a A que las otras variedades en promedio de riego y temporal en el E-I y E-II (Cuadro 3.6 y Cuadro 3.12A).

En la interacción para ambientes x variedades (Cuadro 3.6 y Cuadro 3.13A) y ciclos x ambientes x variedades (Cuadro 3.6 y Cuadro 3.14A), no se observaron efectos significativos para el número de días a IF y A.

**Cuadro 3.6 Número de días a inicio de la floración (IF) y antesis (A) en condiciones de riego (R), temporal (T), promedio riego-temporal (RT) y promedio de riego (PR) y temporal (PT) y promedio de variedades (V) de los experimentos E-I (ciclo primavera-verano 2013) y E-II (ciclo verano-otoño 2014). Montecillo, Texcoco, Estado de México.**

Variedades	IF PV2013			IF VO2014			PR	PT	V	A PV2013			A VO2014			PR	PT	V
	R	T	RT	R	T	RT				R	T	RT	R	T	RT			
FM 2000	46	42	44	54	49	52	50	46	48	49	46	48	58	54	56	54	50	52
FM RMC	45	45	45	51	50	50	48	47	48	52	48	50	56	56	56	54	52	53
FM M38	51	50	50	57	52	55	53	52	52	54	53	54	60	58	59	56	56	56
FM Sol	42	41	42	48	49	49	45	45	45	48	46	47	54	54	54	51	50	51
Michoacán 128	55	47	51	58	57	57	57	52	54	59	51	56	62	60	61	60	57	59
FM Noura	52	51	52	58	56	57	55	54	54	56	55	56	61	60	61	59	58	58
FM Anita	45	43	44	52	49	50	48	47	47	48	47	48	57	54	56	53	51	52
FM Corregidora	50	47	49	56	54	55	54	51	52	52	51	52	60	59	60	56	55	56
FM Bajío	44	43	44	55	50	53	50	47	48	49	47	48	59	56	58	54	52	53
<b>Media Flor de Mayo</b>	<b>48</b>	<b>45</b>	<b>47</b>	<b>54</b>	<b>52</b>	<b>53</b>	<b>51</b>	<b>49</b>	<b>50</b>	<b>52</b>	<b>49</b>	<b>51</b>	<b>59</b>	<b>57</b>	<b>58</b>	<b>55</b>	<b>53</b>	<b>54</b>
Criollo San Andrés	53	53	53	55	54	54	54	53	54	56	56	56	59	59	59	57	57	57
Negro Cotaxtla 91	52	50	51	57	56	56	55	53	54	56	53	55	61	60	61	59	57	58
Negro Veracruz	50	49	49	54	54	54	52	52	52	53	52	53	59	59	59	55	56	56
<b>Media negros</b>	<b>52</b>	<b>51</b>	<b>51</b>	<b>55</b>	<b>55</b>	<b>55</b>	<b>54</b>	<b>53</b>	<b>53</b>	<b>55</b>	<b>54</b>	<b>55</b>	<b>60</b>	<b>59</b>	<b>60</b>	<b>57</b>	<b>57</b>	<b>57</b>
<b>Media general</b>	<b>49</b>	<b>47</b>	<b>48</b>	<b>54</b>	<b>52</b>	<b>53</b>	<b>52</b>	<b>50</b>	<b>51</b>	<b>53</b>	<b>51</b>	<b>52</b>	<b>59</b>	<b>57</b>	<b>58</b>	<b>56</b>	<b>54</b>	<b>55</b>
DMS <sup>C</sup> (P≤0.05)	-	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	1	-	-	-
DMS <sup>E</sup> (P≤0.05)	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-
DMS <sup>CE</sup> (P≤0.05)	1	1	-	1	1	-	-	-	-	1	1	-	1	1	-	-	-	-
DMS <sup>V</sup> (P≤0.05)	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	2
DMS <sup>CV</sup> (P≤0.05)	-	-	3	-	-	2	-	-	-	-	-	3	-	-	2	-	-	-
DMS <sup>EV</sup> (P≤0.05)	-	-	-	-	-	-	3	2	-	-	-	-	-	-	-	3	2	-

DMS= diferencia mínima significativa. <sup>C</sup>Valor de la DMS para la comparación entre ciclos; <sup>E</sup>Valor de la DMS para la comparación entre ambientes; <sup>CE</sup>Valor de la DMS para la interacción ciclos x ambientes; <sup>V</sup>Valor de la DMS para la comparación entre variedades; <sup>CV</sup>Valor de la DMS para la interacción de ciclos x variedades; <sup>EV</sup>Valor de la DMS para la interacción de ambientes x variedades.

El número de días a madurez fisiológica (MF) fue seis días mayor en el E-II que en el E-I (Cuadro 3.7 y Cuadro 3.9A).

El número de días a MF en riego fue cuatro días mayor que en temporal en promedio de los experimentos E-I y E-II (Cuadro 3.7 y Cuadro 3.9A).

En la interacción para ciclos x ambientes se determinó que el número de días a MF en riego fue un día mayor que en temporal del E-I, y fue ocho y cuatro días menor que en riego y temporal del E-II, respectivamente (Cuadro 3.7 y Cuadro 3.10A).

Las variedades FM Noura, FM M38, Negro Cotaxtla 91, FM 2000, Michoacán 128, FM Corregidora y Negro Veracruz tuvieron mayor número de días a MF que las demás variedades en promedio de riego y temporal en el E-I y E-II (Cuadro 3.7 y Cuadro 3.11A).

En la interacción para ciclos x variedades se observó que los cultivares Negro Cotaxtla 91, Michoacán 128, FM M38, FM Noura, Negro Veracruz, FM Sol y FM 2000, y FM Noura, FM Corregidora, FM M38, FM 2000 y Negro Cotaxtla 91 tuvieron mayor número de días a MF en promedio de riego y temporal en el E-I y E-II, respectivamente (Cuadro 3.7 y Cuadro 3.12A).

En la interacción para ambientes x variedades no se observaron diferencias significativas para el número de días a MF (Cuadro 3.7 y Cuadro 3.13A).

En la interacción ciclos x ambientes x variedades no se detectaron diferencias significativas para el número de días a MF (Cuadro 3.7, Cuadro 3.14A).

**Cuadro 3.7 Madurez fisiológica (MF) en condiciones de riego (R), temporal (T), promedio riego-temporal (RT) y promedio de riego (PR) y temporal (PT) y promedio de variedades (V) de los experimentos E-I (ciclo primavera-verano 2013) y E-II (ciclo verano otoño 2014). Montecillo, Texcoco, Estado de México.**

Variedades	MF PV2013			MF VO2014			PR	PT	V
	R	T	RT	R	T	RT			
FM 2000	123	116	120	133	127	130	128	122	125
FM RMC	117	114	116	123	121	122	120	118	119
FM M38	125	122	124	132	129	131	127	125	127
FM Sol	121	118	120	120	120	120	121	119	120
Michoacán 128	125	124	125	128	122	125	126	123	125
FM Noura	123	122	123	135	133	134	129	128	128
FM Anita	114	114	114	125	117	121	119	115	117
FM Corregidora	121	114	118	136	130	133	129	122	125
FM Bajío	114	114	114	122	117	119	118	115	117
<b>Media Flor de Mayo</b>	<b>120</b>	<b>118</b>	<b>119</b>	<b>128</b>	<b>124</b>	<b>126</b>	<b>124</b>	<b>121</b>	<b>122</b>
Criollo San Andrés	118	117	118	126	123	125	122	120	121
Negro Cotaxtla 91	127	122	125	133	128	130	130	125	127
Negro Veracruz	122	121	122	129	125	127	125	123	124
<b>Media negros</b>	<b>122</b>	<b>120</b>	<b>121</b>	<b>129</b>	<b>125</b>	<b>127</b>	<b>126</b>	<b>123</b>	<b>124</b>
<b>Media general</b>	<b>120</b>	<b>119</b>	<b>119</b>	<b>128</b>	<b>124</b>	<b>126</b>	<b>125</b>	<b>121</b>	<b>123</b>
DMS <sup>C</sup> (P≤0.05)	-	-	3	-	-	3	-	-	-
DMS <sup>E</sup> (P≤0.05)	-	-	-	-	-	-	3	3	-
DMS <sup>CE</sup> (P≤0.05)	2	2	-	2	2	-	-	-	-
DMS <sup>V</sup> (P≤0.05)	-	-	-	-	-	-	-	-	4
DMS <sup>CV</sup> (P≤0.05)	-	-	5	-	-	5	-	-	-
DMS <sup>EV</sup> (P≤0.05)	-	-	-	-	-	-	5	6	-

DMS= diferencia mínima significativa. <sup>C</sup>Valor de la DMS para la comparación entre ciclos; <sup>E</sup>Valor de la DMS para la comparación entre ambientes; <sup>CE</sup>Valor de la DMS para la interacción ciclos x ambientes; <sup>V</sup>Valor de la DMS para la comparación entre variedades; <sup>CV</sup>Valor de la DMS para la interacción de ciclos x variedades; <sup>EV</sup>Valor de la DMS para la interacción de ambientes x variedades.

La longitud del intervalo inicio de floración-antesis (IIF-A) en el E-II fue un día mayor que en el E-I. No se detectaron diferencias significativas para la longitud del intervalo antesis-madurez fisiológica (IA-MF) en los experimentos E-I y E-II (Cuadro 3.8 y Cuadro 3.9A).

La longitud del IIF-A e IA-MF en riego fue similar al de temporal en promedio de los experimentos E-I y E-II (Cuadro 3.8 y Cuadro 3.9A).

En la interacción para ciclos x ambientes, se determinó que la longitud del IA-MF en riego fue un día menor que en temporal del E-I, y dos días menor que en riego del E-II, y fue similar al

de temporal del E-II. No se detectaron diferencias significativas para el IIF-A (Cuadro 3.8 y Cuadro 3.10A).

Las variedades FM 2000, FM M38, FM Corregidora, FM Noura y Negro Cotaxtla 91 tuvieron mayor longitud del IA-MF que las demás variedades, en promedio de riego y temporal en los experimentos E-I y E-II (Cuadro 2.8 y Cuadro 3.11A). No hubo diferencias significativas en la longitud del IIF-A en promedio de riego y temporal en los experimentos E-I y E-II (Cuadro 3.8 y Cuadro 3.11A).

En la interacción para ciclos x variedades se determinó que los cultivares FM Sol, FM 2000, FM M38, Negro Cotaxtla 91, Negro Veracruz y Michoacán 128, y FM 2000, FM Corregidora, FM Noura, FM M38 y Negro Cotaxtla 91 tuvieron mayor longitud del IA-MF que las demás variedades en promedio de riego y temporal en los experimentos E-I y E-II. No se detectaron diferencias significativas para la longitud del IIF-A (Cuadro 3.8 y Cuadro 3.12A).

En la interacción para ambientes x variedades no se observaron diferencias significativas para la longitud del IIF-A e IA-MF (Cuadro 3.8 y Cuadro 3.13A).

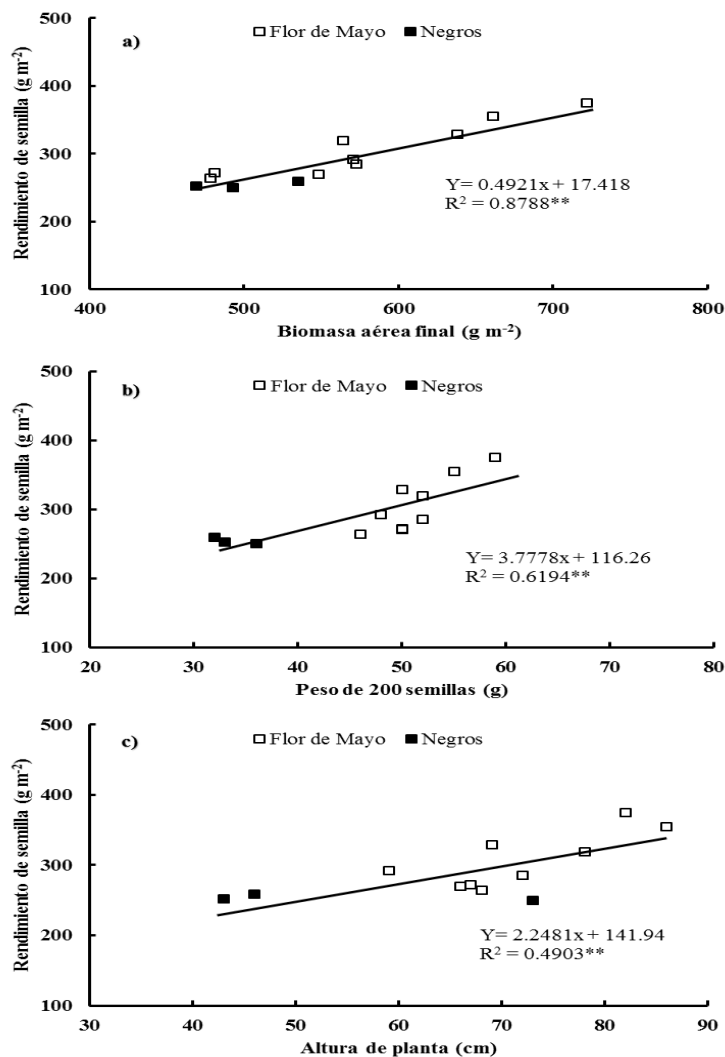
En la interacción ciclos x ambientes x variedades no se detectaron diferencias significativas para la longitud del IIF-A e IA-MF (Cuadro 3.8, Cuadro 3.14A).

**Cuadro 3.8 Intervalo a inicio de floración-antesis (IIF-A) e intervalo antesis-madurez fisiológica (IA-MF) en condiciones de riego (R), temporal (T), promedio riego-temporal (RT) y promedio de riego (PR) y temporal (PT) y promedio de variedades (V) de los experimentos E-I (ciclo primavera-verano 2013) y E-II (ciclo verano-otoño 2014). Montecillo, Texcoco, Estado de México.**

Variedades	IIF-A PV2013			IIF-A VO2014			PR	PT	V	IA-MF PV2013			IA-MF VO2014			PR	PT	V
	R	T	RT	R	T	RT				R	T	RT	R	T	RT			
FM 2000	3	4	3	5	5	5	4	4	4	74	70	72	75	73	72	74	71	73
FM RMC	7	3	5	5	6	6	6	5	5	65	66	66	65	65	66	66	66	66
FM M38	3	3	3	3	6	5	3	5	4	71	69	70	72	71	70	71	71	71
FM Sol	6	5	5	6	5	6	7	4	5	73	72	73	66	66	73	70	68	69
Michoacán 128	4	4	5	4	3	4	4	5	4	66	73	68	66	62	68	66	66	66
FM Noura	4	4	4	4	4	4	4	4	4	67	67	67	73	73	67	70	70	70
FM Anita	3	4	4	5	5	6	5	4	5	66	67	67	68	63	67	67	65	66
FM Corregidora	2	4	2	4	5	4	2	5	3	69	63	66	76	71	66	73	67	70
FM Bajío	5	4	4	4	6	5	5	5	5	65	67	66	63	61	66	64	64	64
<b>Media Flor de Mayo</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>68</b>	<b>68</b>	<b>68</b>	<b>69</b>	<b>67</b>	<b>68</b>	<b>69</b>	<b>68</b>	<b>68</b>
Criollo San Andrés	3	3	3	4	5	5	3	4	4	62	61	62	68	64	62	65	63	64
Negro Cotaxtla 91	4	3	3	4	4	<b>4</b>	4	4	4	71	69	70	72	68	70	72	68	70
Negro Veracruz	3	3	3	4	5	5	3	4	4	69	69	69	70	66	69	70	67	68
<b>Media negros</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>67</b>	<b>66</b>	<b>67</b>	<b>70</b>	<b>66</b>	<b>67</b>	<b>69</b>	<b>66</b>	<b>67</b>
<b>Media general</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>68</b>	<b>67</b>	<b>68</b>	<b>69</b>	<b>67</b>	<b>68</b>	<b>68</b>	<b>68</b>	<b>68</b>
DMS <sup>C</sup> (P≤0.05)	-	-	0.5	-	-	0.5	-	-	-	-	-	2	-	-	2	-	-	-
DMS <sup>E</sup> (P≤0.05)	-	-	-	-	-	-	0.5	0.5	-	-	-	-	-	-	-	2	2	-
DMS <sup>CE</sup> (P≤0.05)	1	1	-	0.4	0.4	-	-	-	-	2	2	-	2	2	-	-	-	-
DMS <sup>V</sup> (P≤0.05)	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	3
DMS <sup>CV</sup> (P≤0.05)	-	-	3	-	-	1	-	-	-	-	-	5	-	-	4	-	-	-
DMS <sup>EV</sup> (P≤0.05)	-	-	-	-	-	-	3	2	-	-	-	-	-	-	-	5	5	-

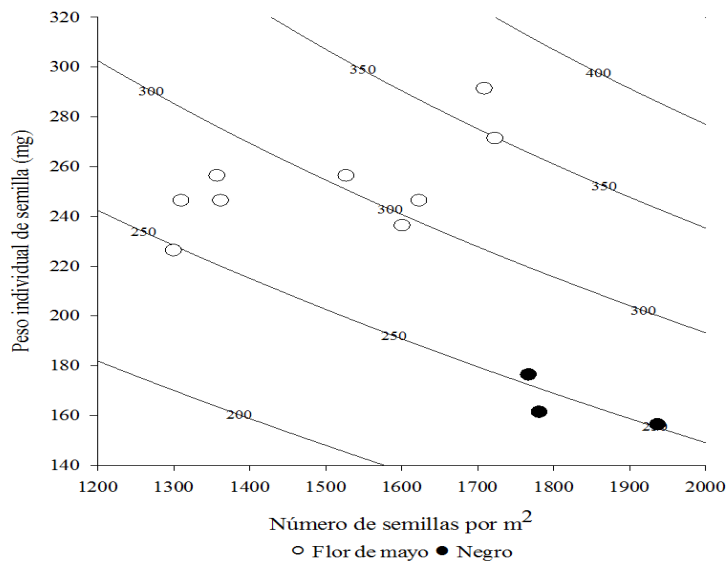
DMS= diferencia mínima significativa. <sup>C</sup>Valor de la DMS para la comparación entre ciclos; <sup>E</sup>Valor de la DMS para la comparación entre ambientes; <sup>CE</sup>Valor de la DMS para la interacción ciclos x ambientes; <sup>V</sup>Valor de la DMS para la comparación entre variedades; <sup>CV</sup>Valor de la DMS para la interacción de ciclos x variedades; <sup>EV</sup>Valor de la DMS para la interacción de ambientes x variedades.

Por otro lado, al examinar la relación entre el rendimiento de semilla y sus componentes, se determinó que la variación en RS estuvo positiva y significativamente relacionada con la variación en la biomasa aérea final (Figura 3.4a), tamaño de la semilla o peso de 200 semillas (Figura 3.4b) y altura de planta (Figura 3.4c) en promedio de los experimentos E-I y E-II. Los cultivares del tipo ‘Flor de Mayo’ FM RMC y FM 2000 produjeron mayor rendimiento de semilla y también tuvieron mayor BMAF, P200S y AP que los demás cultivares del tipo ‘Flor de Mayo’ y las variedades con testa de color negro (Figura 3.4).



**Figura 3.4** Relación entre el rendimiento de semilla y la biomasa aérea final (a), peso de 200 semillas (b) y altura de planta (c) en promedio de riego y temporal de los experimentos E-I y E-II. Montecillo, Texcoco, Estado de México. **\*\***( $P \leq 0.01$ ).

El análisis de regresión para el rendimiento de semilla en función del número de semillas normales  $m^{-2}$  (SN  $M^{-2}$ ) y el peso individual de la semilla (PIS) [ $RS = 1501.1 * \exp(-0.5 * (((SN M^{-2} - 6421.1)/3270.3)^2 + ((PIS - 551.4)/303.4)^2))$ ],  $R^2 = 0.96$ ,  $P \leq 0.01$ ], permitió determinar que para un mismo número de SN  $M^{-2}$  y un mayor PIS se podrían alcanzar mayores umbrales de rendimiento para los frijoles del tipo ‘Flor de Mayo’, mientras que para los frijoles negros, un mayor umbral de rendimiento se podría obtener con un mayor número de SN  $M^{-2}$  (Figura 3.5).



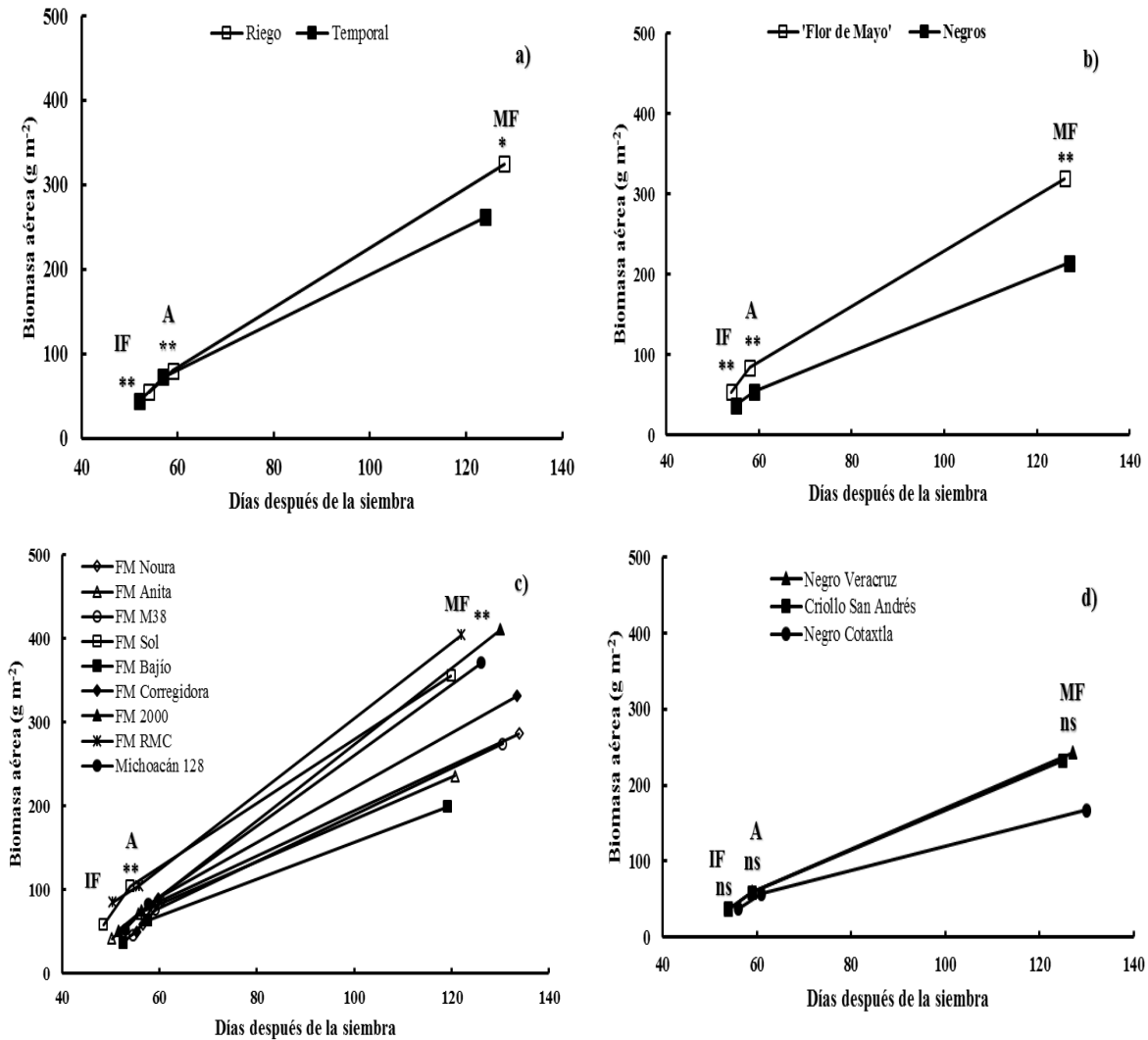
**Figura 3.5 Rendimiento de semilla como una función del número de semillas por  $m^2$  y peso individual de semilla en mg, en promedio de riego y temporal de los experimentos E-I y E-II. Montecillo, Texcoco, Estado de México. Las curvas dentro de la figura indican líneas de isorendimiento en  $g m^{-2}$**

### 3.3.6 Acumulación de biomasa aérea al inicio de floración, antesis y madurez fisiológica

La acumulación de biomasa aérea al inicio de floración (BMIF), antesis (BMA) y madurez fisiológica (BMMF) fue 80, 91 y 81 % mayor en riego que en temporal (Figura 3.6a). Las variedades del tipo ‘Flor de Mayo’ produjeron 30, 35 y 33 % mayor BMIF, BMA y BMMF que las variedades del sur de Veracruz (Figura 3.6b). El cultivar FM RMC produjo mayor BMIF que los demás cultivares; mientras que los cultivares FM RMC y FM Sol produjeron mayor BMA, y las variedades FM RMC, FM 2000, FM Sol, Michoacán 128 y FM Corregidora tuvieron mayor BMMF que los otros cultivares (Cuadro 3.17A) (Figura 3.6c). No se detectaron diferencias



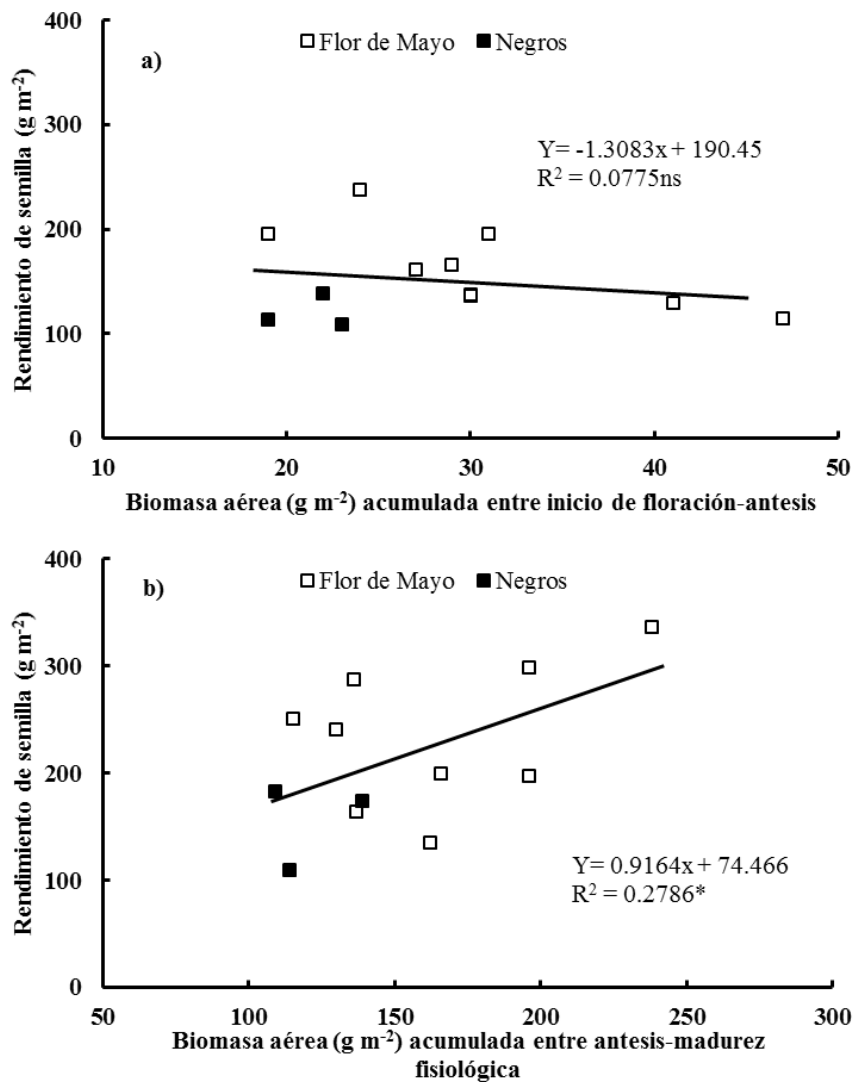
significativas entre los cultivares criollo San Andrés, Negro Veracruz y Negro Cotaxtla 91 en la acumulación de BMIF, BMA y BMMF (Figura 3.6d).



**Figura 3.6** Acumulación de biomasa aérea en inicio de floración (IF), antesis (A) y madurez fisiológica (MF) en riego y temporal (a), variedades del tipo ‘Flor de Mayo’ y negros del sur de Veracruz (b), variedades del tipo ‘Flor de Mayo’ (c) y variedades del sur de Veracruz (d) en promedio de riego y temporal en el experimento E-II. Ciclo verano-otoño 2014. Montecillo, Texcoco, Estado de México. IF= inicio de floración; A= antesis; MF= madurez fisiológica. \*\*( $P \leq 0.01$ ), \*( $P \leq 0.05$ ), ns= no significativo.

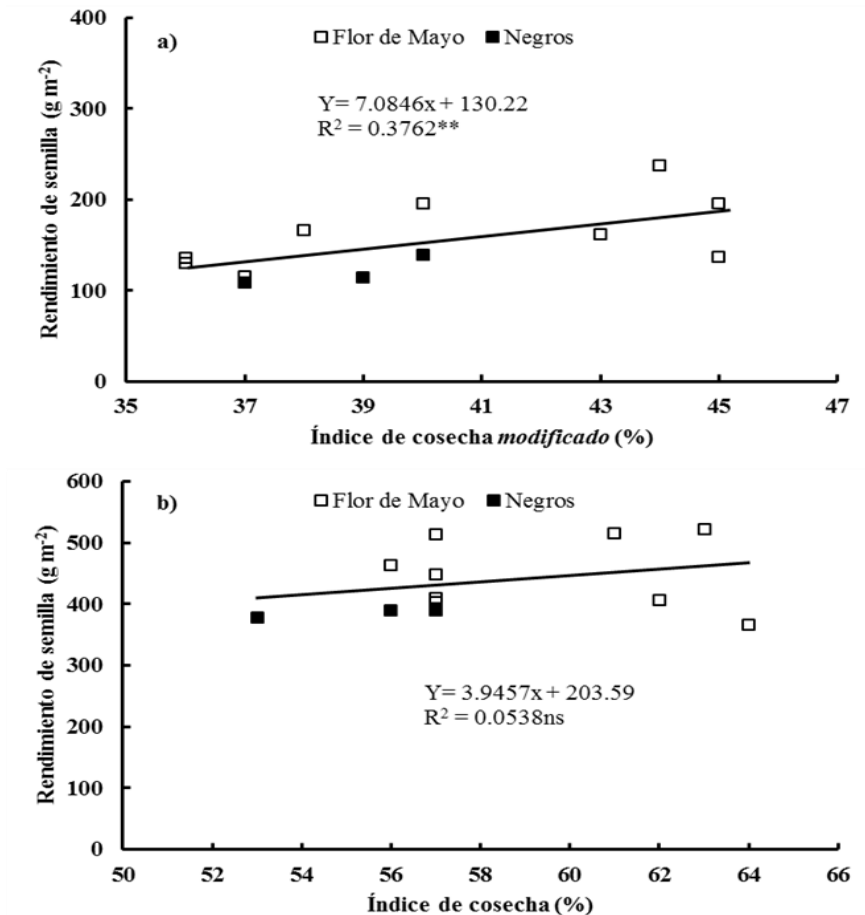
La proporción de materia seca acumulada entre el inicio de floración y la antesis (BMIF-BMA) se relacionó negativamente con el rendimiento de semilla y no tuvo efecto significativo

(Figura 3.7a), mientras que la proporción de materia seca acumulada entre la antesis y la madurez fisiológica se relacionó positiva y significativamente con el rendimiento de semilla (Figura 3.7b); se observó que las variedades del tipo ‘Flor de Mayo’, FM RMC y FM 2000 produjeron mayor cantidad de materia seca aérea entre la antesis y la madurez fisiológica y mayor rendimiento de semilla que las demás variedades(Figura 3.7b).



**Figura 3.7** Relación entre rendimiento de semilla y biomasa aérea acumulada entre inicio de floración-antesis (a) y antesis-madurez fisiológica (b) en el experimento E-II. Ciclo verano-otoño 2014. Montecillo, Texcoco, Estado de México. \*(P≤0.05), ns= no significativo.

El índice de cosecha *modificado* (ICm, calculado al incluir en la biomasa aérea final, además de los órganos de la planta presentes al momento de la cosecha final, los órganos vegetativos y reproductivos que sufrieron abscisión durante el ciclo biológico de la planta) determinado en el E-II, se relacionó positiva y significativamente con el rendimiento de semilla (Figura 3.8a); las variedades que tuvieron mayor índice de cosecha *modificado* produjeron mayor rendimiento de semilla, entre estas las variedades del tipo ‘Flor de Mayo’ FM RMC y FM 2000 tuvieron mayor índice de cosecha *modificado* y produjeron mayor rendimiento de semilla que las demás variedades del tipo ‘Flor de Mayo’ y las variedades con testa de color negro (Figura 3.8a). La relación entre el rendimiento de semilla y el índice de cosecha determinado en el E-I, no fue significativa ( $P > 0.05$ ) (Figura 3.8b).



**Figura 3.8** Relación entre rendimiento de semilla y el índice de cosecha en promedio de riego y temporal para el experimento E-II, ciclo verano-otoño 2014 (a) y promedio de riego y temporal para el experimento E-I, ciclo primavera-verano 2013 (b). Montecillo, Texcoco, Estado de México. **\*\***( $P \leq 0.01$ ), **ns**= No significativo.

### **3.4 DISCUSIÓN**

En México, el frijol se cultiva principalmente en áreas de temporal o secano que generalmente presentan problemas de sequía, debido a una baja precipitación y/o una distribución irregular de la lluvia durante las etapas críticas de desarrollo del cultivo. Además, el incremento en la temperatura del aire durante los ciclos de primavera-verano y verano-otoño, debido al calentamiento de la atmosfera, exacerba los efectos del estrés hídrico causado por la sequía, de tal forma que el rendimiento de semilla y sus componentes se ven afectados negativamente (Barrios-Gómez *et al.*, 2011b).

#### **3.4.1 Variación del ambiente**

En el presente estudio se observó una amplia variación en las temperaturas máximas y mínimas del aire, dominando las altas temperaturas durante la fase reproductiva del cultivo y temperaturas mínimas variables, pero con valores medios < de 10 °C durante el experimento I y > 10 °C en el experimento II. Ésta amplia variación también se observó en la distribución semanal acumulada de la precipitación durante el ciclo de cultivo, siendo más regular la lluvia en el E-I que en el E-II. Las variaciones en la cantidad de lluvia registrada durante el ciclo de crecimiento, se reflejaron en una amplia variación en el contenido hídrico del suelo durante el ciclo de crecimiento entre los dos experimentos, causando una mayor disminución en la disponibilidad de humedad en el experimento E-II que en el experimento E-I. Las deficiencias hídricas fueron más severas durante la fase reproductiva en E-II, donde el contenido hídrico de la capa superficial del suelo (30 cm) disminuyó, alcanzando niveles cercanos al PMP durante el periodo de formación de la semilla, periodo considerado como el más sensible a la sequía y donde el rendimiento (Acosta-Gallegos y Kohashi-Shibata, 1989; Nielsen y Nelson, 1998) y la calidad de semilla (Rainey y Griffiths, 2005) son más afectados por el estrés hídrico.

#### **3.4.2 Variación en rendimiento de semilla, biomasa aérea final, índice de cosecha y componentes del rendimiento**

En el experimento E-I realizado en el ciclo primavera-verano 2013 se obtuvo mayor rendimiento de semilla, biomasa aérea final, índice de cosecha y componentes del rendimiento que el experimento E-II llevado a cabo en el ciclo verano-otoño 2014; estas diferencias pueden deberse a la fecha de siembra de cada experimento. En el E-I se llevó a cabo en el ciclo primavera-verano

y el E-II se realizó en el ciclo verano-otoño; este último presentó una distribución de la lluvia más irregular que el primero, lo que se reflejó en una menor disponibilidad de humedad en el suelo, sobre todo en el periodo de formación de la semilla. Otros autores señalan que la fecha de siembra es un factor determinante en el rendimiento de semilla y sus componentes en frijol; las siembras tardías disminuyen significativamente el rendimiento de semilla, peso de la semilla, el índice de cosecha y la acumulación de materia seca (Acosta-Gallegos *et al.*, 1996; Esquivel-Villagrana *et al.*, 2002; Yoldas y Esiyok, 2007; Babaeian *et al.*, 2012; Sharma *et al.*, 2013; Getachew *et al.*, 2014; Nwadike *et al.*, 2015). Jiménez-Galindo y Acosta-Gallegos (2013) detectaron una reducción en el rendimiento de semilla similar al obtenido en este trabajo, al comparar el rendimiento de semilla bajo sequía en dos años consecutivos en Bachiniva, Chihuahua, México.

Las condiciones de humedad edáfica durante el ciclo también tuvieron efectos significativos sobre el rendimiento y sus componentes en condiciones de temporal. En el experimento II se registró menor disponibilidad de humedad en el suelo en la etapa de crecimiento y desarrollo de vainas y semillas que en condiciones de temporal en el experimento I, reflejándose en una reducción de 16 y 17 % en la biomasa área final y el rendimiento de semilla con respecto al ambiente con riego, respectivamente. Barrios-Gómez *et al.* (2010) observaron que la sequía durante el periodo de floración disminuyó 28 y 25 % el rendimiento de semilla y la biomasa área final en un grupo de variedades de frijol del tipo ‘Flor de Mayo’; en frijol común de diferentes razas, hábitos de crecimiento y respuesta diferencial al estrés hídrico, se determinó que en condiciones de sequía al inicio de la floración, la biomasa aérea final y el rendimiento de semilla disminuyeron 51 y 41 % con respecto a riego; adicionalmente se observó que las plantas presentaron una tendencia a escapar al efecto de la sequía al reducir su periodo de llenado de grano (Acosta-Díaz *et al.*, 2009). En otro estudio con frijol común realizado en condiciones de humedad residual en el sur de Veracruz y utilizando las mismas variedades del tipo ‘Flor de Mayo’ y de color negro utilizadas en el presente trabajo, se observó que el rendimiento de semilla y la biomasa aérea final fueron 66 y 16 % menores que los obtenidos en el presente estudio, debido al estrés hídrico terminal y altas temperaturas que experimentaron las plantas durante la etapa de llenado del grano en el sur de Veracruz (Morales-Rivera *et al.*, 2015).

Por otra parte, los componentes del rendimiento número de vainas normales  $m^{-2}$ , número de semillas normales  $m^{-2}$ , peso de 200 semillas, número de semillas por vaina y altura de planta en temporal disminuyeron 19, 19, 6 y 4 %, y 7 cm en comparación con riego, respectivamente. El

número de vainas normales  $m^{-2}$  y semillas normales  $m^{-2}$  son los componentes que más influyen en el rendimiento bajo sequía; Barrios-Gómez *et al.* (2010) determinaron que el estrés hídrico ocurrido durante la etapa de floración disminuyó 13 y 22 %, el número de vainas normales  $m^{-2}$  y número de semillas normales  $m^{-2}$ ; el peso de 200 semillas y número de semillas vaina<sup>-1</sup> se redujeron 8 y 11 %, confirmando la tendencia en la reducción de estos componentes por efecto del estrés hídrico y su importancia relativa con el rendimiento.

En general las variedades tuvieron un comportamiento agronómico diferencial en el rendimiento de semilla y sus componentes entre ciclos o experimentos y ambientes de riego, y temporal con deficiencias hídricas durante la etapa de floración y en el periodo de formación de la semilla; las variedades FM RMC y FM 2000; FM 2000 y FM RMC; FM 2000, FM RMC, FM M38, Michoacán 128, Criollo San Andrés, Negro Cotaxtla 91 y Negro Veracruz; Criollo San Andrés, Negro Cotaxtla 91, Negro Veracruz, FM RMC y FM 2000; FM 2000; FM RMC, FM Sol, Criollo San Andrés, Negro Cotaxtla 91 y Negro Veracruz; FM 2000, FM RMC, FM M38, FM Sol y FM Anita; y FM 2000, FM RMC y FM Sol tuvieron un mejor comportamiento en rendimiento de semilla, biomasa área final, vainas normales  $m^{-2}$ , semillas normales  $m^{-2}$ , peso de 200 semillas, semillas vaina<sup>-1</sup>, índice de cosecha y altura de planta que las demás variedades. En otro trabajo de investigación, donde las plantas de frijol estuvieron expuestas a sequía durante la antesis y el periodo de formación de la semilla, se determinó que las variedades que tuvieron un mejor comportamiento en rendimiento de semilla y sus componentes biomasa área final, vainas normales  $m^{-2}$ , semillas normales  $m^{-2}$ , semillas vaina<sup>-1</sup> y peso de 100 semillas fueron FM Noura y FM Anita, y FM M38 (excepto, para semillas vaina<sup>-1</sup>) (Barrios-Gómez *et al.*, 2010). El comportamiento diferencial entre variedades de frijol en rendimiento y sus componentes ha sido observado también en otros estudios; las variedades Negro Veracruz, Criollo San Andrés y Negro Cotaxtla 91 tuvieron mejor comportamiento en rendimiento de semilla, biomasa área final y altura de planta, FJ Marcela tuvo más alto rendimiento de semilla, biomasa aérea final y vainas normales  $m^{-2}$ , y Criollo San Andrés el más alto índice de cosecha que las otras variedades incluidas en el estudio, bajo condiciones de acidez y humedad residual del suelo en el sur de Veracruz (Morales-Rivera *et al.*, 2015).

Al examinar el comportamiento de las plantas entre experimentos (E-I y E-II) o ciclos (primavera-verano 2013 y verano otoño 2014) y ambientes de riego y temporal (interacción ciclos x ambientes), se observó que solamente el peso de 200 semillas, el número de semillas vaina<sup>-1</sup> y el

índice de cosecha se redujeron en temporal del E-I y riego y temporal del E-II con respecto a riego del E-I; otros estudios realizados en frijol común bajo sequía al inicio de la floración, mostraron una reducción similar en el peso de 200 semillas y número de semillas vainas<sup>-1</sup> (Szilagyi, 2003; Barrios-Gómez *et al.*, 2010). También, Acosta-Díaz *et al.* (2004) detectaron una disminución similar en el peso de 100 semillas e índice de cosecha con sequía al inicio de la floración.

La respuesta de las variedades en rendimiento de semilla y sus componentes fue diferente entre ciclos (primavera-verano 2013 y verano-otoño 2014) o experimentos (E-I y E-II) (interacción ciclos x variedades); la variedad FM 2000 tuvo alto rendimiento, biomasa, peso de 200 semillas y altura de planta en el E-I y alto rendimiento, biomasa, número de semilla normales m<sup>-2</sup>, peso de 200 semillas, índice de cosecha modificado y altura de planta en el E-II; FM RMC tuvo alto rendimiento, biomasa, índice de cosecha y altura de planta en el E-I, y alta biomasa, número de semillas normales m<sup>-2</sup>, peso de 200 semillas y altura de planta en el E-II; FM M38 tuvo alto rendimiento y biomasa en el E-I y alto número de semillas normales m<sup>-2</sup> e índice de cosecha modificado en el E-II; FM Sol tuvo alto rendimiento, biomasa aérea final, índice de cosecha y altura de planta en el E-I; Michoacán 128 tuvo alto rendimiento y biomasa en el E-I y alto peso de 200 semillas en el E-II; FM Noura tuvo alto peso de 200 semillas en el E-II; FM Anita y FM Bajío tuvieron alto índice de cosecha en el E-I y alto índice de cosecha modificado en el E-II; Criollo San Andrés tuvo alto número de semillas normales m<sup>-2</sup> en el E-I y E-II; Negro Cotaxtla 91 tuvo alto número de semillas normales m<sup>-2</sup> en el E-I y E-II; y Negro Veracruz tuvo alto número de semillas normales m<sup>-2</sup> y altura de planta en el E-I.

Es notorio señalar que la variedad FM 2000 tuvo muy buen comportamiento agronómico en términos de rendimiento de semilla y sus componentes biomasa aérea final, peso de 200 semillas y altura de planta en los dos experimentos, a pesar de estar expuesta a condiciones más severas de estrés hídrico en el E-II que en el E-I.

Jiménez-Galindo y Acosta-Gallegos (2013) observaron que la variedad Rosa La Bufa, produjo alto rendimiento de semilla y redujo el número de días a floración y madurez fisiológica en respuesta a condiciones de sequía durante el periodo reproductivo en Bachiniva, Chihuahua, México. Tosquy-Valle *et al.* (2014) al estudiar la respuesta a riego y sequía terminal en germoplasma de frijol negro en Cotaxtla, Veracruz, durante el ciclo de invierno-primavera, determinaron que los genotipos CIAT-103-25, SCN2, SEN 70, NGO 17-99 y NCB 229 produjeron el más alto rendimiento de semilla en riego y sequía terminal, y tuvieron menor índice de

susceptibilidad a sequía o mayor tolerancia a sequía que los demás genotipos incluidos en su estudio.

El efecto de las deficiencias hídricas ocurridas en temporal con respecto a riego en el rendimiento y sus componentes en las distintas variedades (interacción ambientes x variedades) fue menor que el observado entre las variedades y los diferentes experimentos o años, pues sólo el peso de 200 semillas fue afectado por las deficiencias hídricas en condiciones de temporal. La variedad FM 2000 tuvo el más alto peso de 200 semillas en riego y temporal, y las variedades FM RMC, FM M38, FM Sol, FM Corregidora y FM Anita produjeron alto peso de 200 semillas solamente en temporal.

Tosquy-Valle *et al.* (2014) al someter a condiciones de humedad residual del suelo y sequía terminal a un grupo de líneas de frijol negro en Cotaxtla, Veracruz, durante el ciclo de invierno-primavera, determinaron que los genotipos SCN-2, SCN-6, SEN-56, B-98311 y MBSF-14729 tuvieron alto peso de 100 semillas en condiciones de riego, y las líneas SCN-2 y SEN-56 también tuvieron alto peso de 100 semillas en condiciones de sequía terminal. También, López-Salinas *et al.* (2008), al estudiar la respuesta de un grupo de genotipos de la raza Mesoamericana a riego y sequía en Medellín de Bravo, Veracruz, determinaron que las líneas DOR-667, NGO 17-99 y la variedad Negro INIFAP tuvieron alto peso de 100 semillas en riego y sequía, y que éstas líneas, además de la línea DOR-448, también tuvieron alto peso de 100 semillas en sequía.

El comportamiento de las variedades en los diferentes ciclos o experimentos (E-I y E-II) y ambientes de humedad edáfica (riego y temporal) (interacción ciclos x ambientes x variedades) fue similar para la mayoría de las características medidas en las plantas, excepto, para el peso de 200 semillas, carácter más afectado por las deficiencias hídricas registradas en temporal y en el que sobresalieron algunas variedades en los distintos ambientes de humedad edáfica y experimentos; la variedad FM 2000 tuvo alto peso de 200 semillas en riego y temporal del E-I, y en temporal del E-II; FM RMC tuvo alto peso de 200 semillas en temporal del E-I, y riego y temporal del E-II; FM Sol tuvo alto peso de 200 semillas en temporal del E-I y temporal del E-II; FM Noura tuvo alto peso de 200 semillas en temporal del E-I y riego del E-II; FM Corregidora tuvo alto peso de 200 semillas en temporal del E-I y temporal del E-II; y FM M38, FM Michoacán y FM Anita tuvieron alto peso de 100 semillas solamente en temporal del E-II. La ausencia de efectos significativos para el rendimiento y la mayoría de sus componentes entre las variedades, y en los experimentos y ambientes de humedad edáfica, es un indicativo de que el factor que tiene mayor influencia en el



comportamiento agronómico de las plantas es la deficiencia hídrica independientemente del ciclo, puesto que bajo deficiencias hídricas siempre tendrá un efecto enmascarador sobre la expresión de algunos genes relacionados con el crecimiento, desarrollo y rendimiento de las plantas.

### 3.4.3 Variación en fenología

El desarrollo en las plantas es la secuencia ordenada de cambios cualitativos y cuantitativos que ocurren a través del tiempo; como tal, el desarrollo se diferencia del crecimiento e incluye la sucesión de etapas ontogenéticas así como la iniciación de hojas, tallos y raíces que puede expresarse como una tasa de desarrollo en función del ambiente; la temperatura es el factor más importante en el control de las tasas de desarrollo de las plantas entre localidades y fechas de siembra, especialmente en las etapas finales de desarrollo (Porter y Delecolle, 1988).

En el presente estudio se determinó que el número de días a las diferentes etapas fenológicas: inicio de floración, antesis y madurez fisiológica, y el intervalo inicio de floración-antesis en el experimento E-I (ciclo primavera-verano 2013) fue menor que en el E-II (ciclo verano-otoño 2014); estas diferencias entre experimentos se debieron a que las temperaturas máximas del aire durante el ciclo biológico de las plantas fueron  $> 25\text{ }^{\circ}\text{C}$  en ambos experimentos, pero las temperaturas mínimas fueron  $< 10\text{ }^{\circ}\text{C}$  en el E-I y  $> 10\text{ }^{\circ}\text{C}$  en el E-II durante la mayor parte del ciclo de las plantas, lo que se reflejó en un mayor número de días a las diferentes etapas fenológicas en el E-II que en el E-I.

El efecto de la temperatura mínima del aire en el número de días a inicio de floración, antesis y madurez fisiológica e intervalo inicio de floración-antesis, se ha observado en otros estudios; Morales-Rivera *et al.* (2015) determinaron que las mismas variedades del tipo 'Flor de Mayo' y de frijol negro utilizadas en el presente trabajo de investigación, tuvieron menor número de días a inicio de floración, antesis y madurez fisiológica bajo condiciones de humedad residual y acidez del suelo en el ciclo otoño-invierno en el Municipio de Rodríguez Clara, Veracruz, debido principalmente a las altas temperaturas mínimas que dominaron durante el ciclo biológico de las plantas.

El régimen de humedad en el suelo también influyó en la fenología de las plantas; el número de días a inicio de floración, antesis y madurez fisiológica fue menor en condiciones de temporal que en riego; otros estudios también han mostrado que el número de días a inicio de floración (Barrios-Gómez *et al.*, 2010), días a antesis (Rosales-Serna *et al.*, 2004b) y días madurez fisiológica

(Rosales-Serna *et al.*, 2004b; Acosta-Díaz *et al.*, 2004; Acosta-Díaz *et al.*, 2007; Acosta-Díaz *et al.*, 2009; Barrios-Gómez *et al.*, 2010; Polania *et al.*, 2012) es menor en condiciones de temporal que en riego.

Las variedades FM Noura, FM M38, FM Corregidora, Michoacán 128, Negro Cotaxtla 91, Criollo San Andrés y Negro Veracruz; Michoacán 128, FM Noura, Negro Cotaxtla 91 y Criollo San Andrés; FM Noura, FM M38, FM 2000, Michoacán 128, FM Corregidora, Negro Cotaxtla 91 y Negro Veracruz; y FM 2000, FM M38, FM Corregidora, FM Noura y Negro Cotaxtla 91 mostraron mayor número de días a inicio de floración, antesis, madurez fisiológica e intervalo antesis-madurez fisiológica en promedio de riego y temporal en los experimentos E-I y E-II; los cultivares FM M38, Michoacán 128, FM Noura y FM Anita, y las variedades FM M38, FM Corregidora, FM Sol, Michoacán 128, FM Noura, FM Anita y FM M2000 también mostraron mayor número de días a inicio de floración y mayor número de días a madurez fisiológica en promedio de riego y temporal en Montecillo, Texcoco, México y secano en Celaya, Guanajuato, respectivamente (Barrios-Gómez *et al.*, 2010). Es interesante hacer notar que la variedad FM M38 con mayor número de días a inicio de floración y madurez fisiológica en condiciones de riego y temporal con deficiencias hídricas en Montecillo, Texcoco, México, también mostró mayor número de días a inicio de floración y madurez fisiológica en Montecillo, Texcoco, México y Celaya, Guanajuato, lo cual coincidió con un alto rendimiento de semilla en todos los ambientes de evaluación del presente estudio y el trabajo de investigación de Barrios-Gómez *et al.* (2010).

El efecto conjunto de ciclos o años y ambientes de humedad edáfica (interacción ciclos x ambientes) sobre la fenología de las plantas se manifestó en menor número de días a madurez fisiológica y el intervalo antesis-madurez fisiológica en condiciones de temporal del experimento E-II (ciclo verano-otoño 2014) y riego temporal del experimento E-I (ciclo primavera-verano 2013) que en riego del experimento E-II. Resultados similares se han observado en otros estudios, donde el número de días a madurez fisiológica (Acosta-Díaz *et al.*, 2004; Acosta-Díaz *et al.*, 2011; López-Salinas *et al.*, 2011; Jiménez-Galindo y Acosta-Gallegos, 2013) y el intervalo antesis-madurez fisiológica fue menor en temporal que en riego (Acosta-Díaz *et al.*, 2004; Acosta-Díaz *et al.*, 2009).

Las variedades tuvieron un comportamiento diferencial en su fenología entre ciclos (interacción ciclos x variedades); el número de días a inicio de floración, antesis, madurez fisiológica e intervalo antesis-madurez fisiológica fue menor en el experimento E-I que en el experimento E-II; Singh *et al.* (2007) observaron diferencias en el número de días a madurez

fisiológica al comparar dos ciclos de cultivo, en promedio de tres localidades bajo condiciones óptimas de riego en Idaho, en los Estados Unidos de Norte América. Las variedades FM M38, Michoacán 128, FM Noura y Negro Cotaxtla 91 exhibieron mayor número de días a inicio de floración en los experimentos E-I y E-II; FM M38, Michoacán 128, FM Noura, Criollo San Andrés, Negro Cotaxtla 91 y Negro Veracruz en el experimento E-I, y FM M38, Michoacán 128, FM Noura, Criollo San Andrés, Negro Cotaxtla 91, Negro Veracruz y FM Corregidora en el experimento E-II mostraron mayor número de días a antesis; FM 2000, FM M38, FM Sol, Michoacán 128, Negro Cotaxtla 91 y Negro Veracruz en el experimento E-I, y FM 2000, FM M38, FM Noura, FM Corregidora y Negro Cotaxtla 91 en el experimento E-II tuvieron mayor número de días a madurez fisiológica; y FM 2000, FM M38, FM Sol, Michoacán 128, Negro Cotaxtla 91 y Negro Veracruz en el experimento E-I, y FM 2000, FM M38, FM Noura, FM Corregidora y Negro Cotaxtla 91 en el experimento E-II mostraron mayor número de días para el intervalo antesis-madurez fisiológica. Es interesante señalar que las variedades FM 2000 y FM M38 con alto rendimiento de semilla, biomasa aérea final e índice de cosecha, mostraron mayor número de días a madurez fisiológica e intervalo antesis-madurez fisiológica en los dos experimentos E-I y E-II. El comportamiento sobresaliente en rendimiento de semilla y sus componentes en variedades cultivadas en diferentes años y localidades, representa la posibilidad de identificar genotipos con atributos deseables para el mejoramiento en condiciones de secano con variaciones en la disponibilidad de humedad y temperatura durante el ciclo de las plantas; Singh *et al.* (2007) determinaron que las variedades del tipo Pinto, Bill Z y el cultivar UI-537 del tipo rosa, cultivadas en condiciones óptimas de humedad en Idaho, Estados Unidos de norte América tuvieron mayor rendimiento y peso de semilla, y menor número de días a madurez fisiológica que otras variedades incluidas en su estudio.

#### **3.4.4 Relación entre el rendimiento de semilla y sus componentes**

La expresión de las características de forma y función de un cultivo depende de una cadena de eventos interrelacionados, los cuales son secuenciados en tiempo y genéticamente regulados en tiempos y sitios críticos, y sujetos a influencias modificadoras de fuerzas no genéticas, además de que estos eventos no ocurren al azar, sino que siguen un patrón integrado (Adams, 1967). El rendimiento de semilla es un ejemplo claro de la integración en la que los componentes del rendimiento de semilla son hasta cierto grado interdependientes en su desarrollo, de tal forma que

el estrés causado por factores bióticos y abióticos puede influir de diferente forma, según la etapa de desarrollo o etapa fenológica de la planta en la que estos se presenten.

En el presente estudio, la variación en el rendimiento de semilla entre cultivares a través de diferentes años y ambientes de humedad edáfica estuvo relacionada con cambios en biomasa aérea final, peso de 200 semillas y altura de planta; los cultivares del tipo ‘Flor de Mayo’ FM RMC y FM 2000 produjeron alto rendimiento de semilla, biomasa aérea final, peso de 200 semillas y tuvieron mayor altura de planta que los demás cultivares de este mismo tipo y las variedades del sur de Veracruz. En otros trabajos de investigación con frijol común también se ha observado una asociación positiva y significativa entre el rendimiento de semilla y el peso de 100 semillas bajo condiciones de temporal con riego suplementario (Esquivel-Esquivel *et al.*, 2004); el rendimiento de semilla se relacionó con la biomasa aérea final, índice de cosecha, semillas vaina<sup>-1</sup>, vainas planta<sup>-1</sup> y peso de 100 semillas en condiciones óptimas de humedad en invernadero (Fageria *et al.*, 2010); en condiciones de riego, sequía y temporal el rendimiento de semilla se relacionó con la biomasa aérea final, número de vainas normales m<sup>-2</sup>, semillas m<sup>-2</sup> y peso de 100 semillas (Barrios-Gómez *et al.*, 2010); en condiciones de sequía residual y acidez del suelo, el rendimiento de semilla se relacionó con el número de vainas normales m<sup>-2</sup> (Morales-Rivera *et al.*, 2015); y en condiciones de temporal el rendimiento de semilla se relacionó con el peso de 100 semillas y con el número de días del periodo de formación de la semilla (Balcha y Tigabu, 2015).

Por otro lado, al relacionar simultáneamente al número de semillas normales m<sup>-2</sup> y peso individual de la semilla con el rendimiento, se observó que las variedades del tipo ‘Flor de Mayo’ mostraron mayor peso individual de semilla que las variedades del sur de Veracruz, sin embargo, estas últimas tuvieron mayor número de semillas normales m<sup>-2</sup>, pero esto no se reflejó en mayor rendimiento de las variedades del sur de Veracruz, debido al menor peso o tamaño de semilla. Rodrigues *et al.* (2005) mencionan que plantas de frijol común procedentes de semilla pequeña presentan mayor tasa relativa de crecimiento y tasa de asimilación neta que las plantas de semilla grande, y en las semillas pequeñas no se afecta el rendimiento de grano, pero reducen el número de semillas por vaina, incrementan el peso de 100 semillas y reducen el índice de cosecha. Se ha establecido que el origen de la región de domesticación es importante en el tamaño de la semilla; Sexton *et al.* (1994) señalan que los genotipos de origen Andino producen semillas más grandes que las variedades Meso-americanas, cultivadas en ambientes más cálidos.

### **3.4.5 Variación en acumulación de biomasa aérea al inicio de floración, antesis y madurez fisiológica**

El crecimiento y desarrollo de las plantas es influenciado por los factores del medio físico tales como la temperatura, disponibilidad de agua y nutrientes, flujo y duración de la radiación fotosintéticamente activa y la pérdida de tejido fotosintético, además del fotoperiodo que actúa como parte integral en la inducción e iniciación de la floración en muchas especies (Russelle *et al.*, 1984). No obstante, en maíz (*Zea mays* L.) la temperatura por sí sola, puede explicar hasta 95 % de la variación en el desarrollo (Kiniry y Keener, 1982).

El crecimiento en sentido amplio es definido como un proceso de incremento de materia seca de la planta (West *et al.*, 1920); en el presente estudio se determinó la acumulación de materia seca o biomasa aérea en las etapas de inicio de floración, antesis y madurez fisiológica sólo en el E-II y se observó que esta biomasa aérea en las distintas etapas fenológicas fue menor en condiciones de temporal con deficiencias hídricas que en riego; Russelle *et al.* (1984) y Davidson y Campbell (1984) indican que la disminución en peso seco de la planta de trigo bajo condiciones de estrés hídrico, particularmente durante la floración, se deben a una reducción en el área fotosintética de la planta, al ocurrir la senescencia de algunas hojas; Campbell *et al.* (1983) también señalan que entre la antesis y la madurez fisiológica del trigo pueden ocurrir pérdidas de peso en el tallo y un aumento en el peso de la espiga con una pérdida neta de peso seco, debido a la redistribución de carbohidratos acumulados hacia la espiga al tiempo, que una proporción de estos carbohidratos es utilizada para la respiración.

Las variedades del tipo ‘Flor de Mayo’ produjeron mayor biomasa aérea al inicio de la floración, antesis y madurez fisiológica que las variedades del sur de Veracruz; estas diferencias fueron similares a las observadas entre tres cultivares de frijol común del tipo ‘Pinto’ sembrados en campo en Bermejillo, Durango, México, donde el cultivar Pinto Americano tuvo mayor estabilidad de comportamiento en altura de planta, cobertura vegetal y materia seca a los 25, 39 y 53 dds, al pasar de riego a sequía (Pedroza-Sandoval *et al.*, 2016).

Aunque en general, la mayor acumulación de materia seca aérea ocurrió en el periodo post-antesis hubo variedades que produjeron alta biomasa aérea al inicio de la floración, antesis o madurez fisiológica; fue interesante observar que sólo la variedad FM RMC mantuvo alta acumulación de materia seca aérea en las tres etapas fenológicas en las que se determinó este parámetro.

En condiciones de estrés hídrico terminal se ha observado que una alta acumulación de materia seca, desde la etapa de embuche a la madurez fisiológica, en líneas avanzadas de trigo de alto rendimiento de grano fue resultado de una mayor capacidad genética de removilización de foto-asimilados del tallo al grano (López-Castañeda, 2013), lo que a su vez está relacionado positivamente con una alta tasa de crecimiento del grano en cebada, trigo y triticale bajo condiciones de sequía terminal (López-Castañeda y Richards, 2001).

El rendimiento de semilla se relacionó positivamente con la biomasa aérea acumulada en el periodo post-antesis (antesis-madurez fisiológica); esto se debe a que en el momento de la antesis, ocurre la fecundación y se inicia el crecimiento de las semillas inmaduras, y la expansión de las vainas que van a dar origen al rendimiento de semilla, mientras que la relación entre el rendimiento de semilla y la acumulación de materia seca en el periodo pre-antesis (inicio de floración-antesis) fue negativa debido que en este periodo aún no se diferencian las estructuras reproductoras que van a dar origen a la formación del rendimiento de semilla y la demanda de foto-asimilados es utilizada principalmente para la expansión de tejido fotosintético, más que para la formación de los órganos reproductores. Resultados similares se han observado en triticale bajo condiciones de sequía terminal, donde se han determinado efectos genéticos para la acumulación de biomasa en antesis, pero no en madurez fisiológica; también se observó que la removilización de materia seca al grano en los genotipos de invierno (61 %) fue más alta que en los genotipos de primavera (42 %) con un peso del grano que fue 27 % más alto en las variedades de primavera que en las de invierno (Santiveri *et al.*, 2004).

La variación en el rendimiento de semilla entre cultivares en el experimento E-II (ciclo verano-otoño 2014) estuvo relacionada con la variabilidad en el índice de cosecha *modificado*; las variedades que tuvieron mayor índice de cosecha *modificado* produjeron mayor rendimiento de semilla, entre estas, las variedades del tipo ‘Flor de Mayo’ FM RMC y FM 2000 tuvieron mayor índice de cosecha modificado y produjeron mayor rendimiento de semilla que las demás variedades del tipo ‘Flor de Mayo’ y las variedades del sur de Veracruz. En otros trabajos de investigación con frijol común también se ha observado una asociación positiva y significativa entre el rendimiento de semilla y el índice de cosecha determinado en la etapa de madurez fisiológica en la parte aérea de la planta, bajo condiciones de óptimas de crecimiento en macetas en invernadero (Fageria *et al.*, 2010). Además, del índice de cosecha y la biomasa final aérea, el índice de asignación de materia seca a las vainas de la planta, la reducción del peso seco del tallo y el índice de vainas cosechadas

pueden ser características útiles para mejorar la eficiencia de los programas de mejoramiento, para la selección de genotipos de frijol común sobresalientes bajo condiciones de estrés causado por sequía terminal (Rao *et al.*, 2013).

### 3.5 CONCLUSIONES

Las variaciones en el contenido de humedad en el suelo y en las condiciones de crecimiento entre ciclos influyeron en la fenología de las plantas, en el rendimiento y sus componentes; la distribución irregular de la precipitación durante el experimento E-II (ciclo verano-otoño 2014) durante la formación de vainas y semillas, se vio reflejada en reducciones en el rendimiento de semilla, biomasa aérea final, índice de cosecha, número de vainas normales  $m^{-2}$  y semillas normales  $m^{-2}$ , peso de 200 semillas y semillas vaina<sup>-1</sup>, y altura de planta 35, 51, 31, 51, 63, 10 y 17 %, y 35 cm.

Las deficiencias hídricas en condiciones de temporal con respecto a riego provocaron reducciones en el rendimiento de semilla, biomasa aérea final, número de vainas normales  $m^{-2}$  y semillas normales  $m^{-2}$ , peso de 200 semillas, semillas vaina<sup>-1</sup>, y altura de planta en 17, 16, 19, 19, 6 y 4 %, y 7 cm, respectivamente.

Las deficiencias hídricas en condiciones de temporal en el experimento E-II disminuyeron el índice de cosecha, peso de 200 semillas y número de semillas vaina<sup>-1</sup> con respecto a riego en el experimento E-II y riego, y temporal en el experimento E-I.

Las variedades FM 2000 y FM RMC produjeron los más altos rendimientos de semilla y biomasa área final en promedio de los dos años y los cuatro ambientes de humedad edáfica; también tuvieron alto índice de cosecha, número de vainas normales  $m^{-2}$  y semillas normales  $m^{-2}$ , y altura de planta; FM 2000 tuvo alto peso de 200 semillas y FM RMC presentó un alto número de semillas por vaina.

Los cultivares mostraron un comportamiento diferencial entre ciclos: las variedades FM 2000, FM RMC, FM M38, FM Sol y Michoacán 128 produjeron el más alto rendimiento de semilla y biomasa área final en promedio del experimento E-I; además los cultivares FM M38 y FM Sol produjeron alto índice de cosecha, FM 2000 obtuvo mayor peso de 200 semillas y FM 2000, FM RMC y FM Sol tuvieron mayor altura de planta que las demás variedades; en el experimento E-II las variedades FM 2000 y FM 2000 y FM RMC produjeron el más alto rendimiento de semilla y

biomasa aérea final; también el cultivar FM 2000 tuvo alto índice de cosecha modificado, número de semillas normales  $m^{-2}$ , peso de 200 semillas y altura de planta.

Las variedades también tuvieron un comportamiento agronómico diferencial entre ambientes; en promedio de riego la variedad FM 2000 tuvo mayor peso de 200 semillas que las demás variedades y en temporal con deficiencias hídricas edáficas las variedades FM 2000, FM RMC, FM M38, FM Sol, FM Anita y FM Corregidora tuvieron mayor peso de 200 semillas que las otras variedades.

El comportamiento agronómico de las variedades en los experimentos E-I y E-II, bajo riego y temporal, con deficiencias hídricas edáficas, fue muy similar entre todas las variedades y el rendimiento y sus componentes; sólo se determinó que la variedad FM 2000 en riego y las variedades FM 2000, FM RMC, FM Sol y FM Corregidora en temporal en el experimento E-I, y las variedades FM RMC y FM Noura en riego, y las variedades FM 2000, FM RMC, FM M38, FM Sol, Michoacán, FM Anita y FM Corregidora en temporal en el experimento E-II tuvieron mayor peso de 200 semillas que las otras variedades.

Las características fenológicas de las plantas también fueron afectadas por las deficiencias hídricas edáficas; el número de días a inicio de floración, antesis, madurez fisiológica e intervalo inicio de floración-antesis fue 5, 6, 6 y 1 día menor en el experimento E-I que en el experimento E-II; además, el número de días a inicio de floración, antesis y madurez fisiológica fue 2, 2 y 4 días menor en temporal con deficiencias hídricas que en riego.

Las deficiencias hídricas del suelo disminuyeron el número de días a inicio de floración, antesis, madurez fisiológica e intervalo antesis-madurez fisiológica en las variedades FM 2000, FM RMC, FM Sol, FM Anita y FM Bajío; FM 2000, FM RMC, FM M38, FM Sol, FM Anita, FM Corregidora, FM Bajío y Negro Veracruz; FM RMC, FM Sol, FM Anita, FM bajío y Criollo San Andrés; y FM RMC, FM Sol, Michoacán 128, FM Anita, FM Bajío, Criollo San Andrés y Negro Veracruz en promedio de años y ambientes de humedad edáfica, respectivamente.

En el experimento E-I, las deficiencias hídricas edáficas registradas redujeron el número de días a inicio de floración, antesis, madurez fisiológica e intervalo antesis-madurez fisiológica en las variedades FM 2000, FM RMC, FM Sol, FM Anita, FM Corregidora, FM Bajío y Negro Veracruz; FM 2000, FM RMC, FM Sol, FM Anita, FM Corregidora y FM Bajío; FM RMC, FM Anita, FM Corregidora, FM Bajío y Criollo San Andrés; y FM RMC, FM Noura, FM Anita, FM Corregidora, FM Bajío y Criollo San Andrés en el experimento E-II, en los genotipos FM RMC,



FM Noura, FM Anita, FM Corregidora, FM Bajío y Criollo San Andrés; FM 2000, FM RMC, FM Sol, FM Anita, FM Bajío, Criollo San Andrés y Negro Veracruz; FM RMC, FM M38, Michoacán 128, FM Anita, FM Bajío, Criollo San Andrés y Negro Veracruz; y FM RMC, FM Sol, Michoacán 128, FM Anita, FM Bajío, Criollo San Andrés y Negro Veracruz.

El rendimiento de semilla se relacionó positiva y significativamente con la biomasa aérea final, peso de 200 semillas y altura de planta; las variedades del tipo ‘Flor de Mayo’ RMC y 2000 produjeron alto rendimiento de semilla y tuvieron alta biomasa área final, peso de 200 semillas y altura de planta.

Las variedades del tipo ‘Flor de Mayo’ presentaron semillas de mayor peso que los frijoles negros; en estos materiales genéticos un mayor umbral de rendimiento se podría lograr al aumentar el número de semillas normales por m<sup>2</sup>.

Las deficiencias hídricas del suelo disminuyeron la acumulación de biomasa aérea al inicio de floración, antesis y madurez fisiológica en el experimento E-II; los cultivares del tipo ‘Flor de Mayo’ acumularon mayor biomasa aérea al inicio de floración, antesis y madurez fisiológica que los frijoles negros, y las variedades FM RMC; FM RMC y FM Sol; y FM RMC, FM 2000, FM Sol, Michoacán 128 y FM Corregidora acumularon mayor biomasa aérea al inicio de floración, antesis y madurez fisiológica que las otras variedades, respectivamente.

La proporción de materia seca acumulada en las plantas entre el inicio de floración y antesis en el experimento E-II, se relacionó negativamente con el rendimiento de semilla, mientras que la proporción de materia seca acumulada entre antesis y madurez fisiológica estuvo positiva y significativamente asociada con el rendimiento de semilla; los cultivares FM RMC y FM 2000 acumularon mayor materia seca en el periodo antesis-madurez fisiológica y produjeron mayor rendimiento de semilla.

El índice de cosecha *modificado* en el experimento E-II se relacionó positiva y significativamente con el rendimiento de semilla; los cultivares FM RMC y FM 2000 tuvieron alto índice de cosecha *modificado* y produjeron alto rendimiento de semilla.

### 3.6 LITERATURA CITADA

- Acosta-Díaz, E., C. Trejo-López, L. Ruiz-Posadas, J. S. Padilla-Ramírez y J. A. Acosta-Gallegos. 2004. Adaptación del frijol a sequía en la etapa reproductiva. *Terra Latinoamericana* 22: 49-58.
- Acosta-Díaz, E., M. D. Amador-Ramírez, J. S. Padilla-Ramírez, J. P. Gómez-Delgado y H. Valadez-Montoya. 2007. Biomasa y rendimiento de frijol tipo flor de junio bajo riego y sequía. *Agricultura Técnica en México* 33: 153-162.
- Acosta-Díaz, E., J. A. Acosta-Gallegos, C. Trejo-López, J. S. Padilla-Ramírez and M. D. Amador-Ramírez. 2009. Adaptation traits in dry bean cultivars grown under drought stress. *Agricultura Técnica en México* 35: 416-425.
- Acosta-Díaz, E., I. Hernández-Torres, R. Rodríguez-Guerra, J. A. Acosta-Gallegos, J. Pedroza-Flores, M. D. Amador-Ramírez y J. S. Padilla-Ramírez. 2011. Efecto de la sequía en la producción de biomasa y grano de frijol. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 2: 249-263.
- Acosta-Gallegos, J. A. and J. Kohashi-Shibata. 1989. Effect of water stress on growth and yield of indeterminate dry-bean (*Phaseolus vulgaris*) cultivars. *Field Crops Research* 20: 81-93.
- Acosta-Gallegos, J. A., P. Vargas-Vázquez and J. W. White. 1996. Effect of sowing date on the growth and seed yield of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in highland environments. *Field Crops Research* 49: 1-10.
- Adams, M. W. 1967. Basis of yield component compensation in crop plants with special reference to the field bean, *Phaseolus vulgaris*. *Crop Science* 75: 505-510.
- Babaeian, M., M. Javaheri and A. Asgharzade. 2012. Effect of row spacing and sowing date on yield and yield components of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *African Journal of Microbiology Research* 6: 4340-4343.
- Balcha, A. and R. Tigabu. 2015. Participatory Varietal Selection of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in Wolaita, Ethiopia. *Asian Journal of Crop Science* 7: 295-300.
- Barrios-Gómez, E. J., C. López-Castañeda, J. Kohashi-Shibata, J. A. Acosta-Gallegos, S. Miranda-Colín y N. Mayek-Pérez. 2010. Rendimiento de semilla y sus componentes en frijol Flor de Mayo en el centro de México. *Agrociencia* 44: 481-489.
- Barrios-Gómez, E. J., C. López-Castañeda y J. Kohashi-Shibata. 2011a. Relaciones hídricas y temperaturas altas en frijol del tipo "Flor de Mayo". *Agronomía Costarricense* 35: 131-145.
- Barrios-Gómez, E. J., C. López-Castañeda, J. Kohashi-Shibata, J. A. Acosta-Gallegos, S. Miranda-Colín y N. Mayek-Pérez. 2011b. Avances en el mejoramiento genético del frijol en México por tolerancia a temperatura alta y a sequía. *Revista Fitotecnia Mexicana* 34: 247-255.

- Campbell, C. A., H. R. Davidson and T. N. McCaig. 1983. Disposition of nitrogen and soluble sugars in Manitou spring wheat as influenced by N fertilizer, temperature and duration and stage of moisture stress. *Canadian Journal of Plant Science* 63: 73-90.
- Davidson, H. R. and C. A. Campbell. 1984. Growth rates, harvest index and moisture use of Manitou spring wheat as influenced by nitrogen, temperature and moisture. *Canadian Journal of Plant Science* 64: 825-839.
- Esquivel-Esquivel, G., J. A. Acosta-Gallegos, J. Ortiz Cereceres, M. Mendoza-Castillo, S. Padilla-Ramírez. 2004. Fenología y rendimiento de cuatro variedades de frijol en el altiplano central de México. *Agricultura Técnica en México* 30: 19-27.
- Esquivel-Villagrana, F., J. S. Padilla-Ramírez, R. Ochoa-Márquez, L. Reyes Muro, N. Mayek-Pérez. 2002. Efecto de la fecha de siembra y el régimen de humedad en el desarrollo de pudriciones de raíz y el rendimiento del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista Mexicana de Fitopatología* 20: 161-167.
- Fageria, N. K., V. C. Baligar, A. Moreira and T. A. Portes. 2010. Dry bean genotypes evaluation for growth, yield components and phosphorus use efficiency. *Journal of Plant Nutrition* 33: 2167-2181.
- García, Enriqueta. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 2d. ed. Universidad Nacional Autónoma de México. 245 p.
- Geiger, R. D., Wen-Jang Shieh and R. M. Saluke. 1989. Carbon partitioning among leaves, fruits, and seeds during development of *Phaseolus vulgaris* L. *Plant Physiology* 91: 291-297.
- Getachew, E., A. Mohammed, A. Tesfaye and A. Nebiyu. 2014. Growth and yield response of green beans (*Phaseolus vulgaris* L.) in relation to time of sowing and plant spacing in the humid tropics of Jimma, southwest Ethiopia. *International Journal of Soil and Crop Sciences* 2: 30-30.
- Gifford, R. M., J. H. Thorne, W. D. Hitz and R. T. Giaquinta. 1984. Crop productivity and photoassimilate partitioning. *Science* 225: 801-808.
- Hall, A. E. 2012. Phenotyping cowpeas for adaptation to drought. *Frontiers in Physiology* 3: 1-8.
- Jiménez-Galindo, J. C. y J. A. Acosta-Gallegos. 2013. Rendimiento de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) y Tépari (*Phaseolus acutifolius* A. Gray) bajo el método riego-sequía en Chihuahua. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 4: 557-567.
- Kiniry, J.R. and M.E. Keener. 1982. An enzyme kinetic equation to estimate maize development rates. *Agronomy Journal* 74: 115-119.
- Kohashi-Shibata, J., J. C. da Costa, S. C. Miranda. 1980. Harvest index in *Phaseolus vulgaris* (L.). *Annual Report of the Bean Improvement Cooperative* 23: 87-89.

- Ligarreto M, G. A., O. A. Castro H. and B. Cháves. 2015. Estabilidad fenotípica de una colección de frijol andino (*Phaseolus vulgaris* L.) tipo arbustivo. Revista U.D.C.A Actualidad and Divulgación Científica 18: 109-118.
- López-Castañeda, C. y J. Kohashi-Shibata. 1985. Efecto de la poda en la producción de semilla de un frijol (*Phaseolus vulgaris* L) de hábito indeterminado y de guía larga. Agrociencia 60: 37-60.
- López-Castañeda, C. and R. A. Richards. 2001. ¿Contribuyen la tasa de crecimiento del grano y removilización de las reservas del tallo al rendimiento de grano durante la sequía? Memorias del IV Congreso Internacional en Ciencias Agrícolas. Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California. Mexicali, B. C., México. Octubre 25-26 pp: 61-66.
- López-Castañeda, C. 2013. Resistencia a sequía en trigo. In: Cruz-Izquierdo S, O. J. Ayala-Garay, N. Cruz-Huerta, I. Ramírez-Ramírez, E. Martínez-Villegas (eds.). Avances de Investigación 2012. Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Genética. Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 93 p.
- López-Salinas, E., J. A. Acosta-Gallegos, O. H. Tosquy-Valle, R. A. Salinas-Pérez, B. M. Sánchez-García, R. Rosales-Serna, C. González-Rivas, T. Moreno-Gallegos, B. Villar-Sánchez, H. M Cortinas-Escobar y R. Zandate-Hernández. 2011. Estabilidad de rendimiento en genotipos mesoamericanos de frijol de grano negro en México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 2: 29-40.
- López-Salinas, E., O. H. Tosquy-Valle, F. J. Ugalde-Acosta y J. A. Acosta-Gallegos. 2008. Rendimiento y tolerancia a sequía de genotipos de frijol negro en el estado de Veracruz. Revista Fitotecnia Mexicana 31: 35-39.
- Morales-Rivera, A., C. López-Castañeda, J. Kohashi-Shibata, S. Miranda-Colín y A. García-Esteva. 2015. Comparación de los componentes del rendimiento en variedades de frijol en condiciones de acidez y humedad residual del suelo en el sur de Veracruz. Terra Latinoamericana 33: 309-319.
- Nielsen, D. C. and N. O. Nelson. 1998. Black bean sensitivity to water stress at various growth stages. Crop Science 38: 422-427.
- Nwadike, C. and T. Vange. 2015. Effects of planting date on performance of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) landraces of the jos plateau: a preliminary studies. International Journal of Current Research and Academic Review 3: 309-324.
- Omae, H. A. Kumar and M. Shono. 2012. Adaptation to high temperature and water deficit in the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) during the Reproductive Period. Journal of Botany 2012: 1-6.
- Osuna-Ceja, E. S., L. Reyes-Muro, J. S. Padilla-Ramírez, R. Rosales-Serna, M. A. Martínez-Gamiño, J. A. Acosta-Gallegos y B. Figueroa-Sandoval. 2013. Rendimiento de genotipos de

frijol con diferentes métodos de siembra y riego-sequía en Aguascalientes. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 4: 1209-1221.

- Pedroza-Sandoval, A., R. Trejo-Calzada, I. Sánchez-Cohen, J. A. Samaniego-Gaxiola y L. G. Yáñez-Chávez. 2016. Evaluación de tres variedades de frijol pinto bajo riego y sequía en Durango, México. *Agronomía Mesoamericana* 27: 167-176.
- Polanía, J. A., I. M. Rao, S. Mejía, S. E. Beebe, C. Cajiao. 2012. Características morfo-fisiológicas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) relacionadas con la adaptación a sequía. *Acta Agronómica* 61: 197-206.
- Porter, J. R. and R. Delecolle. 1988. Interaction of temperature with other environmental factors in controlling the development of plants. In: S. P. Long and F. I Woodward (eds). *Plants and temperature. Symposia of the Society for Experimental Biology, Number XXXXII*. The Company of Biologists Limited, Department of Zoology, University of Cambridge, Downing street, Cambridge CB2 3EJ. Pp. 133-156.
- Rainey, K. M. and P. D. Griffiths. 2005. Differential response of common bean genotypes to high temperature. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 130: 18-23.
- Rao, I., S. Beebe, J. Polania, J. Ricaurte, C. Cajiao, R. García and M. Rivera. 2013. Can Tepary bean be a model for improvement of drought resistance in common bean?. *African Crop Science Journal* 21: 265-281.
- Reynolds, M. P., S. Nagarajan, M. A. Razzaque, and O. A. A. Ageeb. 2001. Heat tolerance. pp. 124-135. In: M. P. Reynolds, J. I. Ortiz-Monasterio, and A. McNab (eds). *Application of physiology in wheat breeding*. CIMMYT. Mexico, D. F.
- Richards, R. A. 2006. Physiological traits used in the breeding of new cultivars for water-scarce environments. *Agricultural Water Management* 80: 197-211.
- Richards, R. A. 2008. Genetic opportunities to improve cereal root systems for dryland agriculture. *Plant Production Science* 11: 12-16.
- Rodrigues, L. E., S. A. Silva, A. A. Paulo and T. M. Grandi. 2005. Effects of the size of sown seed on growth and yield of common bean cultivars of different seed sizes. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 17: 273-281.
- Rosales, M. A., E. Ocampo, R. Rodríguez-Valentín, Y. Olvera-Carrillo, J. Acosta-Gallegos, A. A. Covarrubias. 2012. Physiological analysis of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars uncovers characteristics related to terminal drought resistance. *Plant Physiology and Biochemistry* 56: 24-34.
- Rosales-Serna, R., J. A. Acosta-Gallegos, J. S. Murruaga-Martínez, J. M. Hernández-Casillas, G. Esquivel-Esquivel y P. Pérez Herrera. 2004a. Variedades mejoradas de frijol del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Libro Técnico 6. 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 common bean cultivars *Field Crops Research* 85: 203-211.
- Russelle, M.P., W.W. Wilhelm, R.A. Olson and J.F. Power. 1984. Growth analysis based on degree days. *Crop Science* 24: 28-32.
- SAGARPA. 2014. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación <http://www.sagarpa.gob.mx> (fecha de consulta 07 de enero de 2016).
- Santiveri, F., C. Royo and I. Romagosa. 2004. Growth and yield responses of spring and winter triticale cultivated under Mediterranean conditions. *European Journal Agronomy* 20: 281-292.
- SAS (Statistical Analysis System), Versión 9.4 para Windows 2014. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Sexton, P. J., J. W. White and K. J. Boote. 1994. Yield-determining processes in relation to cultivar seed size of common bean. *Crop Science* 34: 84-91.
- Sharma, A., G. D. Sharma, Y. Singh, M. Sharma, V. Katoch and K. C. Sharma. 2013. Optimum sowing dates and varieties for seed productivity of pole Frenchbean (*Phaseolus vulgaris* L.) under north western Himalayas. *African Journal of Agricultural Research* 8:6196-6201.
- Singh, S. P., H. Teran, M. Lema, D. M. Webster, C. A. Strausbaugh, P. N. Miklas, H. F. Schwartz and M. A. Brick. 2007. Seventy-five years of breeding dry bean of the Western USA. *Crop Science* 47: 1-9.
- Szilagyi. 2003. Influence of drought on seed yield components in common bean. *Bulgarian Journal of Plant Physiology Special Issue* 320-330.
- Tosquy-Valle, O. H., E. López-Salinas, N. Francisco-Nicolás, J. A. Acosta-Gallegos y B. Villar-Sánchez. 2014. Genotipos de frijol negro opaco resistentes a sequía terminal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5: 1205-1217.
- West, C., G. E Briggs and F. Kidd. 1920. Methods and significant relations in the quantitative analysis of plant growth. *New Phytologist* 19: 200-207.
- Yoldas, F. and D. Esiyok. 2007. Effects of sowing dates and cultural treatments on growth, quality and yield of processing beans. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 10: 2470-2474.

## **CAPÍTULO 4. VARIACIÓN EN LA TASA DE CRECIMIENTO DEL CULTIVO Y SUS COMPONENTES MORFOLÓGICOS Y FISIOLÓGICOS EN FRIJOL BAJO CONDICIONES DE SECANO**

### **4.1 INTRODUCCIÓN**

En la actualidad el mejoramiento genético tiene como objetivo primordial mejorar la productividad de los cultivos, a una tasa que sobrepase las ganancias adquiridas en el pasado. Diversos estudios señalan que parte de la solución a este desafío en la producción de biomasa mediante el aumento en la captura de luz y la eficiencia en el uso de la radiación, modificar la bioquímica del fotosistema y asignar mayor proporción de asimilados a la parte de interés económico de la planta (Blum, 2013). La translocación y asignación del carbono asimilado son determinantes principales de la productividad de la planta y el rendimiento del cultivo (Gifford *et al.*, 1984). La productividad es afectada por ambas: la distribución de carbono translocado al nuevo crecimiento del área foliar y por la acumulación de carbono en los órganos reproductores; el primero afecta la intercepción de luz para la producción de biomasa, mientras que el segundo altera el índice de cosecha. Como consecuencia de esto, para elevar el rendimiento se requiere un incremento balanceado en la fuente de carbono que es asignado a estos dos sitios (Geiger y Giaquinta, 1982). En la práctica, los altos rendimientos de cultivos económicamente importantes son el resultado de ambos, mayor producción de materia seca en hojas así como de un incremento de la acumulación en los órganos reproductores (Ho, 1988).

La extensión del ciclo biológico del cultivo ha sido la forma más simple para aumentar la fotosíntesis, la biomasa y el rendimiento; una duración más larga del ciclo simplemente aumenta la cantidad de radiación solar disponible durante el periodo de crecimiento (Richards, 2000), por ejemplo, en arroz, la biomasa aumentó 0.2 t ha<sup>-1</sup> por cada día que se extendió la duración del cultivo (Akita, 1989). Existe amplia variación genética para modificar el periodo entre la siembra y la antesis en la mayoría de los cultivos; especies como maíz, soya, trigo y arroz pueden crecer en latitudes de 50° con respecto al ecuador o en altitudes aún mayores (Richards, 2000). El estudio de la variación en caracteres fisiológicos y morfológicos de la planta, en condiciones de campo, podría ser útil para identificar atributos que ayuden en la selección de cultivares mejor adaptados a las variaciones térmicas e hídricas durante el ciclo del cultivo.

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo estudiar la variabilidad en crecimiento o acumulación de biomasa aérea, desarrollo del área foliar y la tasa de crecimiento del cultivo, y sus componentes fisiológicos y morfológicos, en un grupo de variedades de frijol del tipo ‘Flor de Mayo’ y frijol negro del sur de Veracruz, en condiciones de temporal.

## **4.2 MATERIALES Y MÉTODOS**

### **4.2.1 Sitio experimental**

El presente estudio se llevó a cabo en el Campo Experimental del Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México (19° 21’ N, 98° 55’ O y 2250 msnm) en el ciclo de primavera-verano 2013. El clima predominante es templado del tipo Cb (w0) (w) (i’) g con un promedio de precipitación y temperatura de 630 mm y 15.2 °C al año, respectivamente (García, 1973). El suelo utilizado fue de textura arcillosa con un pH de 8.2, contenido de materia orgánica de 2.1 % (Walkey-Black), conductividad eléctrica de 0.50 dS m<sup>-1</sup>, contenido de nitrógeno de 0.2 % (MicroKjeldhal), contenido de fósforo de 9.5 mg kg<sup>-1</sup> (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; Olsen) y 1.7 cmol kg<sup>-1</sup> de potasio en promedio de las profundidades 0-20, 20-40, 40-60 y 60-80 cm.

### **4.2.2 Material genético**

Se incluyeron ocho variedades comerciales de frijol del tipo “Flor de Mayo”, una variedad criolla colectada en el estado de Michoacán (Michoacán 128), y tres cultivares de color negro (Negro Cotaxtla 91, Negro Veracruz y Criollo San Andrés) todos de hábito de crecimiento tipo 3 (Cuadro 4.1).



**Cuadro 4.1 Material genético de frijol utilizado en el experimento.**

Variedad	año de liberación o colecta	Días a floración	Rendimiento de semilla (g m <sup>-2</sup> )
FM Anita <sup>%</sup>	2002	44-62	301 <sup>§</sup>
FM Corregidora <sup>%</sup>	2000	56	210 <sup>§</sup>
FM 2000 <sup>%</sup>	2001	45-50	210 <sup>§</sup>
Negro Veracruz <sup>#</sup>	2012	37	116 <sup>¥</sup>
Criollo San Andrés <sup>&amp;</sup>	2012	36	113 <sup>¥</sup>
Negro Cotaxtla 91 <sup>#</sup>	2012	37	110 <sup>¥</sup>
FM M38 <sup>%</sup>	1994	50-57	97 <sup>¥</sup>
Michoacán 128 <sup>€</sup>	1974	47-53	95 <sup>¥</sup>
FM Sol <sup>%</sup>	1996	45-51	87 <sup>¥</sup>
FM Bajío <sup>%</sup>	1989	45-47	83 <sup>¥</sup>
FM Noura <sup>%</sup>	2006	47-50	76 <sup>¥</sup>
FM RMC <sup>%</sup>	1981	44-55	75 <sup>¥</sup>

Variedades mejoradas de frijol, INIFAP (Rosales-Serna *et al.*, 2004) para áreas de temporal y humedad favorable en altiplano Mexicano<sup>%</sup> y el Estado de Veracruz<sup>#</sup>; <sup>€</sup>Material criollo proporcionado por el Dr. Salvador Miranda Colín, Profesor Investigador, Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Genética, Colegio de Postgraduados; <sup>&</sup>Variedad criolla procedente del sur de Veracruz, colectada por el M.C. Aurelio Morales Rivera. <sup>¥</sup>Rendimiento de semilla en condiciones de secano, en Rodríguez Clara, Veracruz (Morales-Rivera *et al.*, 2015), <sup>§</sup>Rendimiento de semilla en promedio de riego y temporal en Montecillo, Texcoco, Estado de México (Barrios-Gómez *et al.*, 2010).

### 4.2.3 Diseño experimental

Se utilizó un diseño de bloques completos con seis repeticiones; la unidad experimental consistió de cuatro surcos de 5 m de longitud, separados a 0.8 m; la siembra se realizó el 24 de abril del 2013. Se utilizó una dosis de fertilización de 80-40-00, con urea como fuente de nitrógeno y superfosfato de calcio triple como fuente de fósforo; se aplicó la mitad del nitrógeno y todo el fósforo al momento de la siembra y la segunda mitad de nitrógeno a los 50 días después de la siembra (dds). Se utilizó una densidad de población aproximada de 148,000 plantas ha<sup>-1</sup>. Se realizaron dos labores de cultivo; la primera a los 40 dds y la segunda a los 50 dds. Se aplicaron seis riegos de auxilio durante el ciclo biológico del cultivo; el primero 2 dds y después uno cada semana hasta que se estableció el periodo de lluvias. Para el control de malezas de hoja ancha se aplicó Flex® (Fomesafen) a los 31 dds y para el control de plagas como mosquita blanca (*Bemisia tabaci*) y conchuela, (*Epilachna varivestis*), se aplicó Engeo® (Lambdacihalotrina y Tiametoxam) y Monitor® (Metamidofos) a una dosis de 1 L ha<sup>-1</sup> a los 62 y 69 dds. Adicionalmente, se realizó la

aplicación de un fertilizante foliar líquido (\*Nutriplant plus®) a los 62 dds, debido a que las plantas en general presentaban síntomas de amarillamiento, por el exceso de humedad en el suelo. No se detectó la presencia de enfermedades foliares durante el ciclo de cultivo.

#### 4.2.4 Variables medidas y calculadas

**Días a inicio de floración (IF);** se determinó cuando el 50 % de las plantas presentes en cada unidad experimental mostraban la primera flor abierta. Esta etapa comprendió el periodo de 43-55 dds.

**Días a antesis (A);** se determinó cuando el 50 % de las plantas en cada unidad experimental presentaban flores abiertas. Esta etapa comprendió el periodo de 55-69 dds.

**Días a madurez fisiológica (MF);** cuando el 90 % de las vainas de las plantas habían adquirido un color paja y una consistencia que favorecía el desgrane (López-Castañeda y Kohashi-Shibata, 1985). Esta etapa comprendió el periodo de 69-85 dds.

Se realizaron muestreos periódicos de plantas (26, 43, 55, 69, 85, 97 y 134 dds) en un área de 0.4 m<sup>2</sup> (0.5 x 0.8 m<sup>2</sup>) para determinar la acumulación de materia seca en la parte aérea o biomasa aérea y otros componentes del análisis de crecimiento.

**Índice de área foliar (IAF);** se calculó como el cociente entre área foliar total (AFT, m<sup>2</sup>) de las plantas y el área de suelo ocupada por las mismas (AS, m<sup>2</sup>) (IAF=AFT/0.4); el AFT (m<sup>2</sup>) se determinó con un integrador de área foliar marca LI-COR, modelo 3000 en todas las plantas cosechadas en un área de 0.4 m<sup>2</sup> en los muestreos realizados a los 26, 43 y 55 dds; en los muestreos subsiguientes (69, 85 y 97 dds), el AFT se determinó al multiplicar el área foliar específica [AFE=área foliar (largo x ancho x 0.62, m<sup>2</sup>)/peso seco (g), determinada en tres hojas completamente expandidas de una submuestra de dos plantas] x [PST, peso seco (g) total de la muestra] x [PPSTHV, porcentaje del peso seco (g) de todas las hojas verdes presentes en la muestra] y dividirlo entre el área de suelo de la muestra (0.4 m<sup>2</sup>).

**Biomasa aérea (BMA, g m<sup>-2</sup>);** se cortaron al ras del suelo todas las plantas presentes en un área de 0.4 m<sup>2</sup>; las plantas se separaron en sus componentes vegetativos y reproductivos en cada muestreo y se colocaron en una estufa (Marca RIOSSA) a una temperatura de 75 °C durante 72 h; la BMA se calculó la sumar el peso seco de todos los órganos aéreos de las plantas.

\*Consultar diccionario de especialidades agroquímicas 2015

**Tasa de crecimiento del cultivo (TCC, g m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>);** se calculó como el incremento en la cantidad de BMA producida entre periodos consecutivos durante el ciclo del cultivo, donde W<sub>1</sub>, W<sub>2</sub>, representan la biomasa del cultivo producida a los tiempos t<sub>1</sub> y t<sub>2</sub>, en las fechas correspondientes a los 26-43, 43-55, 55-69, 69-85, 85-97 y 97-134 dds (Hunt, 1978), de acuerdo a la ecuación siguiente:

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

**Tasa de asimilación neta (TAN, g m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>);** es la tasa de incremento de la materia seca por unidad de área de la superficie foliar y representa una medida de la tasa de fotosíntesis en la hojas, menos las pérdidas por respiración de la materia seca en la planta completa (Watson, 1947); la TAN también es considerada como un índice de eficiencia productiva de las plantas calculada en relación al área foliar total (Hunt, 2003) como sigue:

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

donde, W<sub>1</sub>, W<sub>2</sub>, representan la materia seca de la parte aérea del cultivo en los tiempos t<sub>1</sub> y t<sub>2</sub>; log<sub>e</sub> AF<sub>1</sub> y log<sub>e</sub> AF<sub>2</sub>, logaritmo de base 10 del área foliar del cultivo AF<sub>1</sub> y AF<sub>2</sub>, área foliar determinados en tiempos t<sub>1</sub> y t<sub>2</sub>, respectivamente.

**Cociente de área foliar (CAF; 10<sup>-2</sup> m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>);** se define como el cociente entre el área foliar total y el peso seco total de la planta completa (Hunt, 1978) y se calcula de acuerdo con la expresión siguiente:

$$CAF = \frac{AFT}{PSPA}$$

donde, AFT es el área foliar total (m<sup>2</sup>) y PSPA es el peso seco de la parte aérea de la planta (g).

**Área foliar específica (AFE; m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>);** es la cantidad de área foliar del cultivo expuesta por unidad de peso de la hoja (una medida de la densidad de la hoja o el grosor relativo) (Hunt, 1978), que se determinó al dividir el área foliar total (AFT; m<sup>2</sup>) de todas las plantas cosechadas en un área de 0.4 m<sup>2</sup> entre el peso seco del área foliar (PSAF, g), para los muestreos realizados a los 26, 43 y 55 dds; en los muestreos subsecuentes (69, 85 y 97 dds), el AFE se calculó al determinar el área de tres hojas completamente expandidas, multiplicando el largo (L) por el ancho (A) por un factor de

corrección ( $L \times A \times 0.62$ ,  $m^2$ ) (Barrios-Gómez, 2012) y dividirla entre el PSAF, de acuerdo a la ecuación siguiente:

$$AFE = \frac{AFT}{PSAF}$$

**Cociente de peso seco de hojas (CPSH;  $kg\ kg^{-1}$ );** es un índice de foliosidad de la planta en relación al peso seco total de la planta (Hunt, 2003). Se determinó al dividir el PSAF entre el PSPA de todas las plantas cosechadas en un área de  $0.4\ m^2$ , de acuerdo a la ecuación siguiente:

$$CPSH = \frac{PSAF}{PSPA}$$

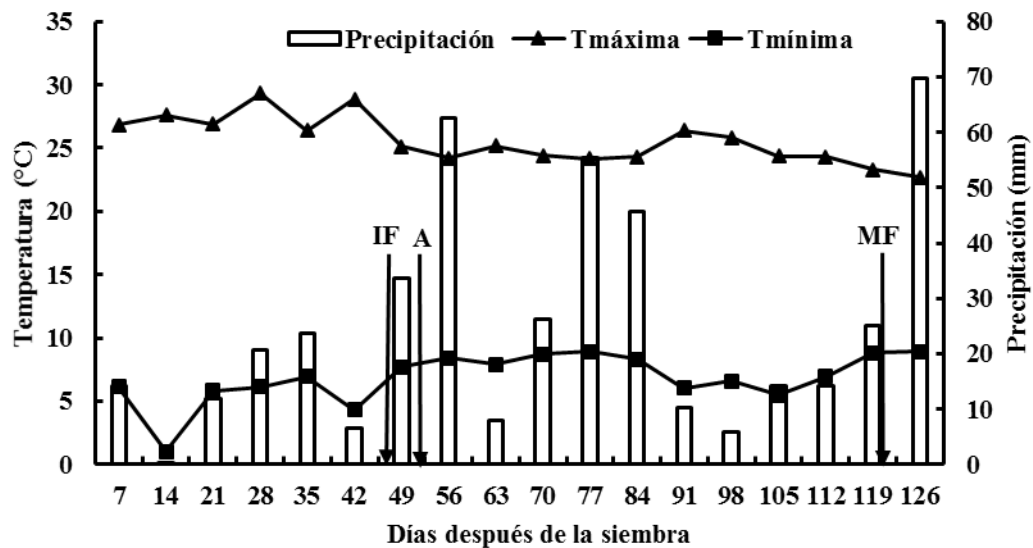
#### **4.2.5 Análisis estadístico**

Los datos se analizaron estadísticamente con el programa SAS versión 9.4, para Windows (SAS, 2014) y se empleó la diferencia mínima significativa (LSD,  $P \leq 0.05$ ), para la comparación de medias.

### **4.3 RESULTADOS**

#### **4.3.1 Datos meteorológicos**

Los datos de temperatura máxima y mínima del aire, y precipitación pluvial (mm) durante el experimento, se obtuvieron de la estación meteorológica de la Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México, localizada a una distancia aproximada de 3 km. La temperatura máxima tuvo valores promedio semanales por arriba de los  $25\ ^\circ C$  durante el ciclo de cultivo, mientras que la mínima se mantuvo por arriba de los  $5\ ^\circ C$ , excepto durante la etapa de plántula (14 dds) y previo al inicio de floración (42 dds) (Figura 4.1). Se observó una amplia variación en la distribución semanal acumulada de la precipitación, la cantidad de lluvia registrada durante el ciclo fue de 448 mm, presentándose una disminución de la precipitación 11 días después de la antesis (63 dds), posteriormente en la etapa de crecimiento y desarrollo de vainas y semillas (Figura 4.1).



**Figura 4.9** Temperatura máxima y mínima media semanal, y precipitación acumulada semanalmente durante el ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México. IF= Inicio de la floración, A= Antesis, MF= Madurez fisiológica.

#### 4.3.2 Análisis estadístico

El análisis de varianza detectó diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre los cultivares del tipo 'Flor de Mayo' y los negros del sur de Veracruz, para el índice de área foliar a los 26 y 97 dds, biomasa aérea a los 26 ddss, tasa de crecimiento del cultivo a los 55-69 dds, tasa de asimilación neta a los 26-43, 43-55, 55-69 y 69-85 dds, área foliar específica a los 55 y 85 dds, y cociente de peso seco de hojas a los 97 dds; diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) para el índice de área foliar a los 43 y 55 dds, biomasa aérea a los 43, 55, 69, 85 y 97 dds, tasa de crecimiento del cultivo a los 26-43 y 43-55 dds, cociente de área foliar a los 26-43, 43-55, 55-69, 69-85 y 85-97 dds, área foliar específica a los 26, 43 y 69 dds, cociente de peso seco de hojas a los 69 y 85 dds (Cuadro 4.1A). No se observaron diferencias significativas entre grupos de variedades para el índice de área foliar a los 69 y 85 dds, biomasa aérea a los 134 dds, tasa de crecimiento del cultivo 69-85, 85-97 y 97-134 dds, tasa de asimilación neta a los 85-97 dds, área foliar específica a los 97 dds y cociente de peso seco de hojas a los 26, 43 y 55 dds (Cuadro 4.1A).

La variación en las características de crecimiento determinadas entre todos los genotipos fue muy amplia; se observaron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre genotipos para el índice de área foliar a los 43 y 85 dds, cociente de área foliar a los 43-55 dds, y cociente de peso seco de

hojas a los 43 dds; diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) para el índice de área foliar a los 55 y 69 dds, biomasa aérea a los 43, 55, 69, 85 y 97 dds, tasa de crecimiento del cultivo 26-43, 43-55 y 85-97 dds, tasa de asimilación neta a los 26-43, 43-55, 55-69 y 69-85 dds, cociente de área foliar a los 26-43, 55-69, 69-85 y 85-97, área foliar específica a los 26, 43, 55, 69, 85 y 97 dds, y cociente de peso seco de hoja a los 26, 55, 69, 85 y 97 dds (Cuadro 4.2A). No hubo diferencias significativas entre genotipos para el índice de área foliar a los 26 y 97 dds, biomasa aérea a los 26 y 134 dds, tasa de crecimiento del cultivo a los 55-69, 69-85 y 97-134 dds, y tasa de asimilación neta a los 85-97 dds (Cuadro 4.2A). Los rangos de variación en tasa de crecimiento del cultivo (1.74-7.87) y tasa de asimilación neta (1.6 a 6.9) fueron mayores que el cociente de peso seco de hojas (1.1-3.2), biomasa aérea (1.3-2.4), área foliar específica (1.2-1.7).

### **4.3.3 Análisis del crecimiento**

#### **4.3.3.1 Índice de área foliar y acumulación de biomasa aérea**

Las variedades del tipo ‘Flor de Mayo’ alcanzaron mayor índice de área foliar que los negros en la etapa vegetativa (26 dds), inicio de floración (43 dds) y antesis (55 dds), y durante la etapa reproductiva de formación de la semilla (97 dds), al finalizar el ciclo del cultivo los negros tuvieron mayor índice de área foliar que los frijoles del tipo ‘Flor de Mayo’; el índice de área foliar en la etapa de crecimiento y desarrollo de las vainas y la semilla (69 y 85 dds) fue similar para ambos tipos de frijoles (Figura 4.2). Al comparar los frijoles de color negro, se observó que la variedad Criollo San Andrés tuvo mayor índice de área foliar que el Negro Veracruz y Negro Cotaxtla 91 durante la floración (55 y 69 dds) y en la etapa final de formación de semillas (97 dds) (Figura 4.3). Las variedades del tipo ‘Flor de Mayo’ FM RMC, FM Anita, FM M38, FM Corregidora, FM Sol y FM Bajío; FM 2000, FM Sol, FM Corregidora, Michoacán 128, FM Noura, FM Anita y FM Bajío; FM 2000, FM RMC y Michoacán 128, y Michoacán 128, FM Noura, FM M38, FM Sol y FM Corregidora tuvieron mayor índice de área foliar que las demás variedades a los 43, 55, 69 y 85 dds, respectivamente (Cuadro 4.3A, Figura 4.4).

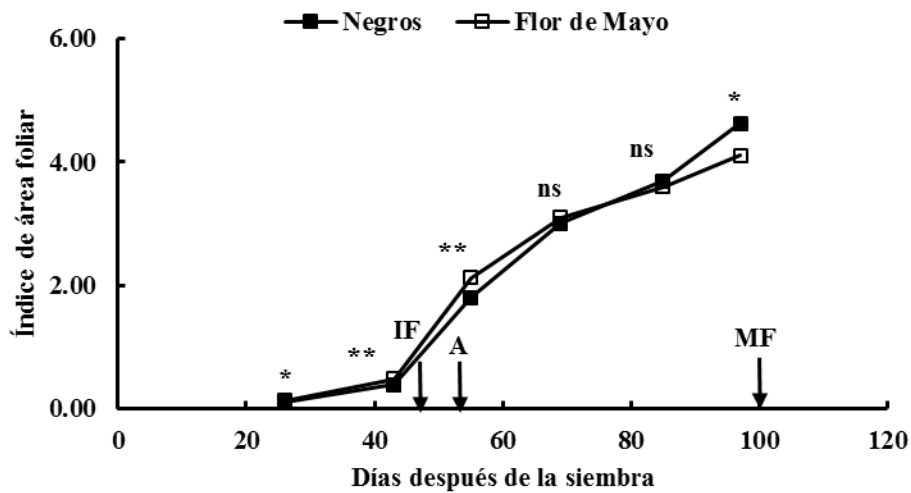


Figura 4.10 Índice de área foliar en promedio para las variedades del tipo ‘Flor de Mayo’ y negros del sur de Veracruz. Ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México. IF= Inicio de la floración, A= Antesis, MF= Madurez fisiológica. \*\*( $P \leq 0.01$ ), \*( $P \leq 0.05$ ), ns= No significativo.

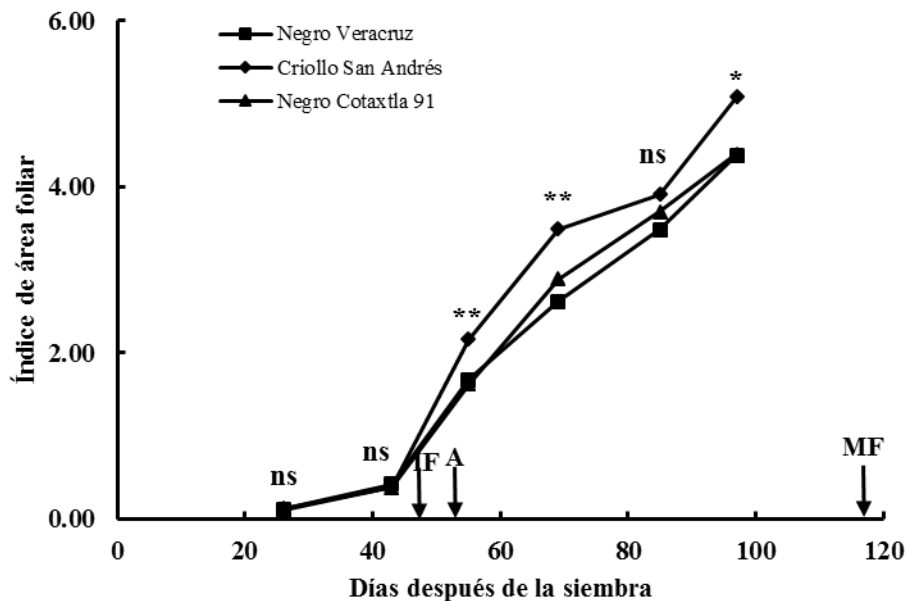
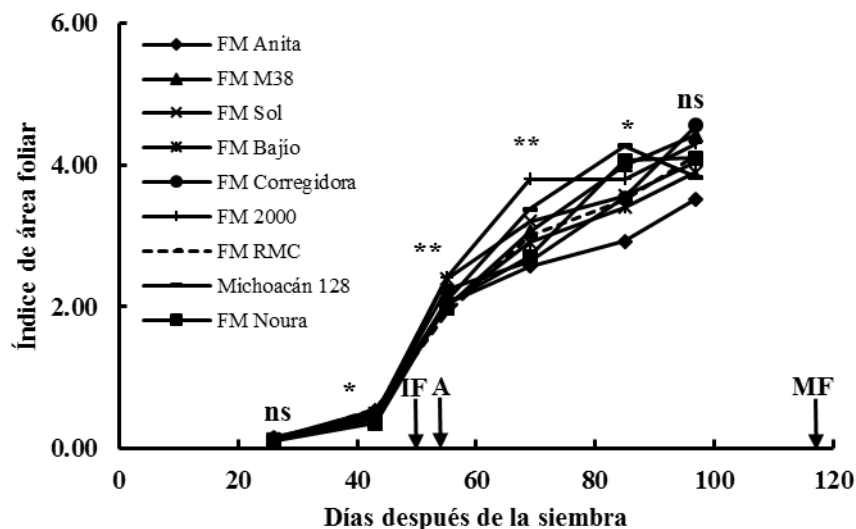


Figura 4.11 Índice de área foliar para las variedades del sur de Veracruz. Ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México. IF= Inicio de la floración, A= Antesis, MF= Madurez fisiológica. \*\*( $P \leq 0.01$ ), \*( $P \leq 0.05$ ), ns= No significativo.



**Figura 4.12** Índice del área foliar para las variedades del tipo ‘Flor de Mayo’. Ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México. IF= Inicio de la floración, A= Antesis, MF= Madurez fisiológica. \*\*( $P \leq 0.01$ ), \*( $P \leq 0.05$ ), ns= No significativo.

La acumulación de biomasa aérea fue mayor en las variedades del tipo ‘Flor de Mayo’ que en las variedades del sur de Veracruz, durante el ciclo completo de las plantas (Figura 4.5). Los cultivares criollo San Andrés y Negro Veracruz produjeron mayor biomasa aérea que el Negro Cotaxtla 91 a los 69 dds, y el criollo San Andrés superó al Negro Veracruz y Negro Cotaxtla 91 a los 85 y 97 dds (Figura 4.6). Las variedades del tipo ‘Flor de Mayo’ con mayor acumulación de biomasa aérea fueron FM Bajío, FM Corregidora, FM Sol, FM RMC y FM Anita (43 dds); FM 2000 (55 dds); FM RMC, FM Sol, FM Anita, FM Bajío y FM 2000 (69 y 85 dds), mientras que a los 97 dds FM Sol, FM Anita, FM Corregidora y FM 2000 (Cuadro 4.4A, Figura 4.7).



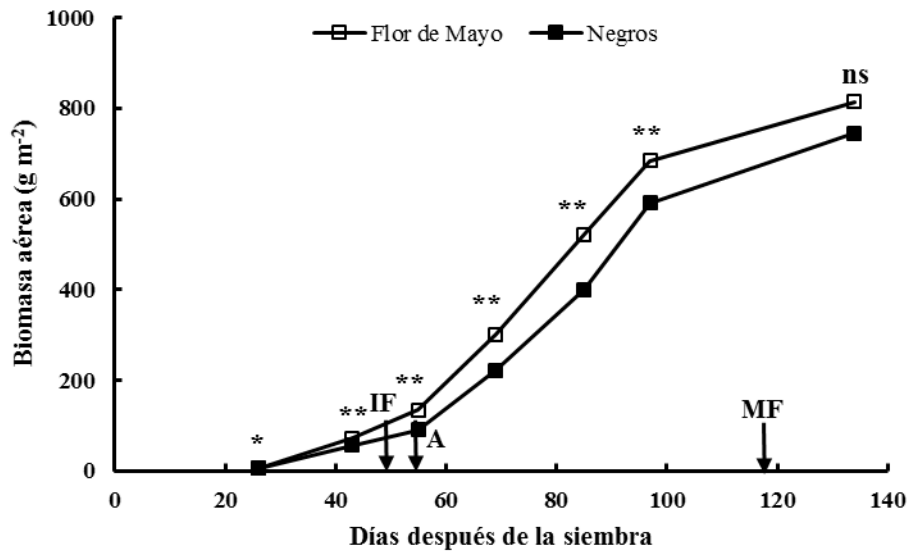


Figura 4.13 Biomasa aérea en promedio de las variedades del tipo ‘Flor de Mayo’ y negros del sur de Veracruz. Ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México. IF= Inicio de la floración, A= Antesis, MF= Madurez fisiológica. **\*\***( $P \leq 0.01$ ), **\***( $P \leq 0.05$ ), ns= No significativo.

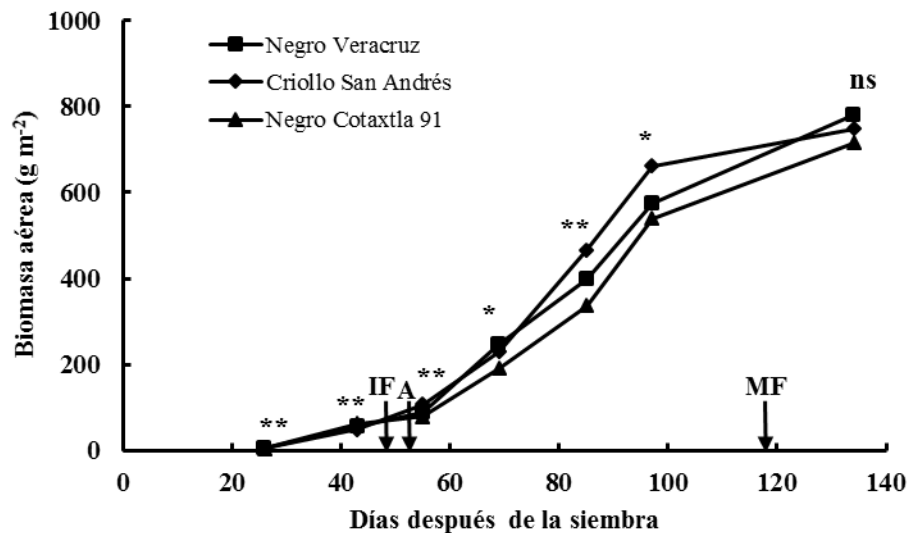
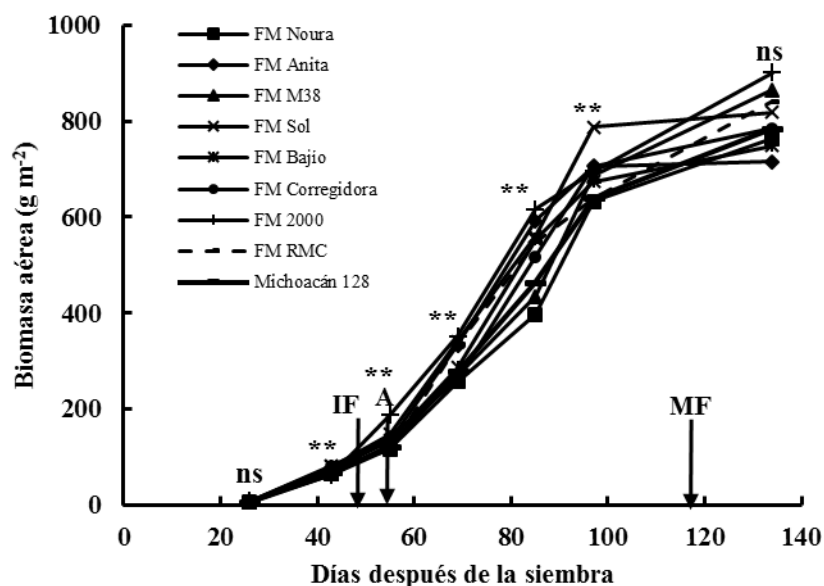


Figura 4.14 Biomasa aérea para las variedades del sur de Veracruz. Ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México. IF= Inicio de la floración, A= Antesis, MF= Madurez fisiológica. **\*\***( $P \leq 0.01$ ), **\***( $P \leq 0.05$ ), ns= No significativo.



**Figura 4.15** Biomasa aérea para las variedades del tipo ‘Flor de Mayo’. Ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México. IF= Inicio de la floración, A= Antesis, MF= Madurez fisiológica. \*\*( $P \leq 0.01$ ), \*( $P \leq 0.05$ ), ns= no significativo.

#### 4.3.3.2 Tasa de crecimiento del cultivo

La tasa de crecimiento del cultivo fue mayor en las variedades del tipo ‘Flor de Mayo’ que en las variedades del sur de Veracruz, durante la fase vegetativa (26-43 dds) y las etapas de inicio de floración y antesis (43-55 y 55-69 dds), mientras que las variedades del tipo ‘Flor de Mayo’ y los negros tuvieron la misma tasa de crecimiento del cultivo en la etapa de formación y crecimiento de vainas y semillas (69-85 dds), y durante la etapa final de formación de la semilla (85-97 dds) (Figura 4.8). El Negro Cotaxtla 91 y Negro Veracruz tuvieron mayor tasa de crecimiento del cultivo que el Criollo San Andrés a los 26-43 dds; sin embargo, el Criollo San Andrés superó al Negro Veracruz y Negro Cotaxtla 91 en la tasa de crecimiento del cultivo al inicio de la floración y a antesis (Figura 4.9). Las variedades del tipo de ‘Flor de Mayo’ con mayor tasa de crecimiento del cultivo fueron FM Sol, FM Bajío, FM Corregidora, FM RMC y FM Anita; FM 2000; FM Noura, FM M38, FM Sol, Michoacán 128 y FM Corregidora, a los 26-43, 43-55 y 85-97 dds, respectivamente (Cuadro 4.5A, Figura 4.10).

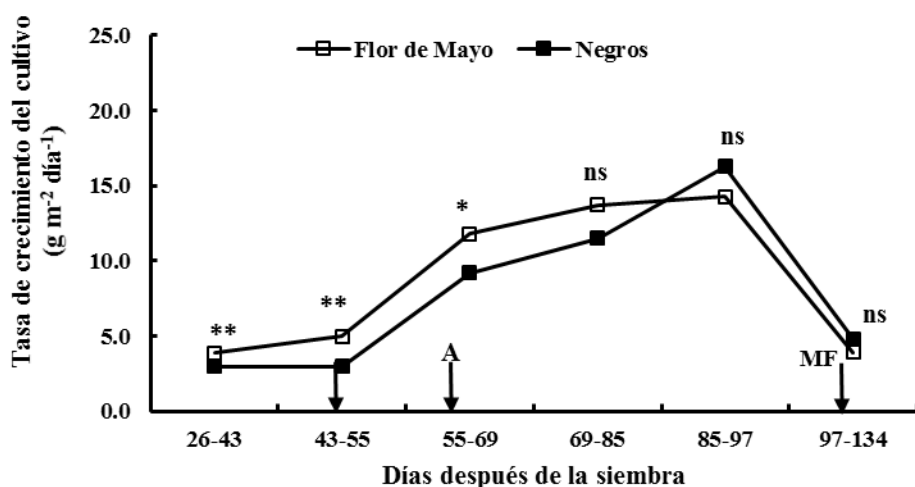


Figura 4.16 Tasa de crecimiento del cultivo en promedio de las variedades del tipo ‘Flor de Mayo’ y negros del sur de Veracruz. Ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México. IF= Inicio de la floración, A= Antesis, MF= Madurez fisiológica. \*\*( $P \leq 0.01$ ), \*( $P \leq 0.05$ ), ns= no significativo.

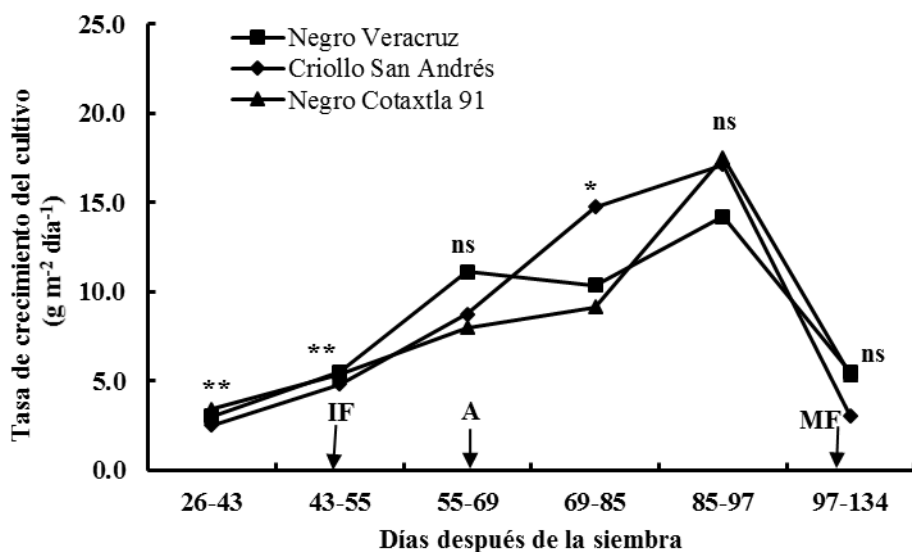
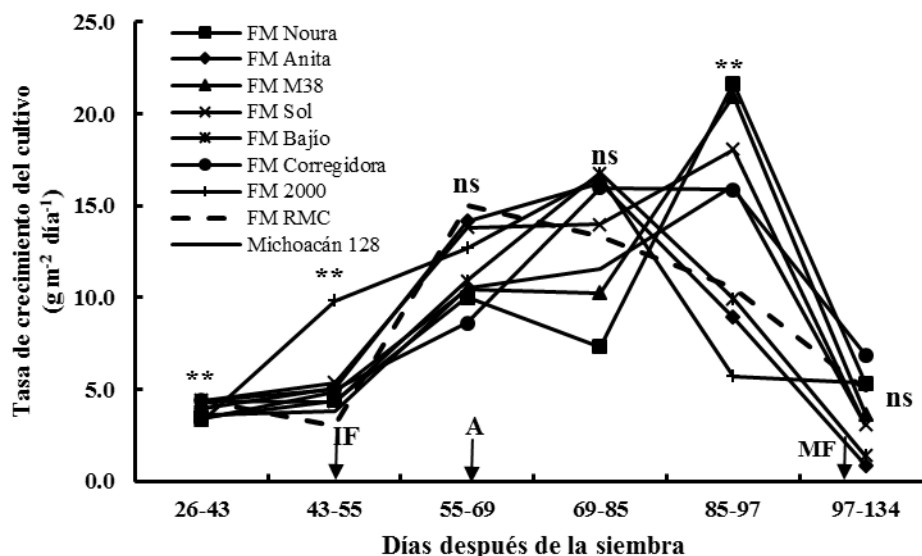
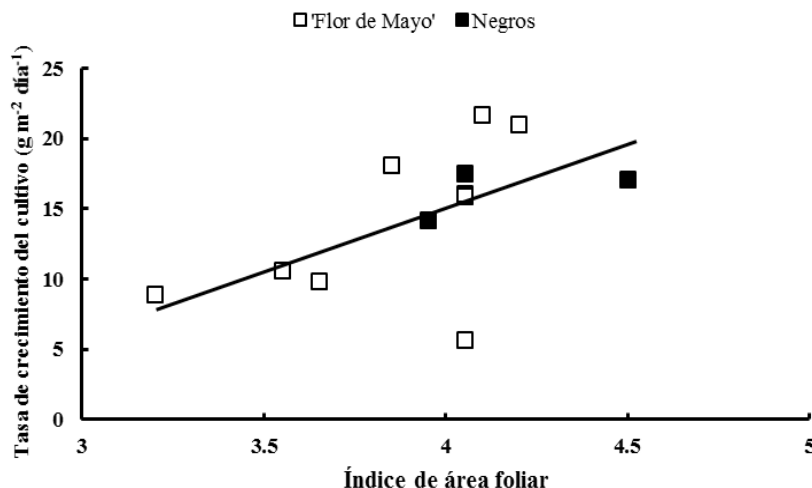


Figura 4.17 Tasa de crecimiento del cultivo para las variedades del sur de Veracruz. Ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México. IF= Inicio de la floración, A= Antesis, MF= Madurez fisiológica. \*\*( $P \leq 0.01$ ), \*( $P \leq 0.05$ ), ns= no significativo.



**Figura 4.18** Tasa de crecimiento del cultivo para las variedades del tipo ‘Flor de Mayo’ (c). Ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México. IF= Inicio de la floración, A= Antesis, MF= Madurez fisiológica. \*\*( $P \leq 0.01$ ), \*( $P \leq 0.05$ ), ns= no significativo.

La cantidad de radiación interceptada por los cultivos está determinada por el índice de área foliar y por la cantidad de radiación incidente, lo cual se traduce en el crecimiento del dosel vegetal, incrementando la fotosíntesis y producción de biomasa aérea. La variación en los valores máximos de la tasa de crecimiento del cultivo se relacionó positiva y significativamente con la variación en los valores máximos del índice de área foliar ( $TCC = 8.6$  (IAF) -  $18.9$ ,  $r = 0.58$ ,  $P \leq 0.01$ ) en la etapa final de la formación del rendimiento de semilla del cultivo (85-97 dds). Las variedades con mayor índice de área foliar tuvieron mayor tasa de crecimiento del cultivo; los cultivares del tipo ‘Flor de Mayo’ FM Sol, FM Corregidora y FM Noura, mostraron mayor expansión del área foliar y mayor crecimiento (Figura 4.11).



**Figura 4.19** Relación entre los valores máximos del índice de área foliar (85-97 dds) y sus correspondientes valores de la tasa de crecimiento del cultivo (85-97 dds), para las variedades del tipo 'Flor de Mayo' y negros del sur de Veracruz. Ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México.

#### 4.3.3.3 Tasa de asimilación neta

La tasa de asimilación neta presentó valores más altos durante la etapa de crecimiento vegetativo (26-43 dds), disminuyendo drásticamente en la etapa de inicio de floración y manteniendo valores bajos hasta la madurez fisiológica (Figura 4.12); los cultivares del tipo 'Flor Mayo' tuvieron mayor tasa de asimilación neta que las variedades del sur de Veracruz, en la etapa vegetativa (26-43 dds), al inicio de la floración (43-55 dds), antesis (55-69 dds) y durante la formación de las vainas y las semillas (69-85 dds). Posteriormente no se observaron diferencias significativas entre cultivares en la etapa de formación de la semilla (85-97 dds); el Negro Cotaxtla 91 tuvo mayor tasa de asimilación neta que el Negro Veracruz y el Criollo San Andrés en la etapa vegetativa (26-43 dds) y al inicio de la floración (43-55 dds) (Figura 4.13). Las variedades FM Bajío, FM Noura, FM Sol, FM Corregidora, Michoacán 128 y FM RMC; FM 2000 y FM Sol; FM RMC, FM Anita, FM Sol y FM Bajío; FM Anita, FM Bajío, FM Corregidora, FM 2000 y FM Sol tuvieron mayor tasa de asimilación neta que los demás materiales genéticos durante la etapa vegetativa (26-43 dds), al inicio de la floración (43-55 dds), en la antesis (55-69 dds) y durante la etapa de formación de la semilla (69-85 dds) (Cuadro 4.6A, Figura 4.14).

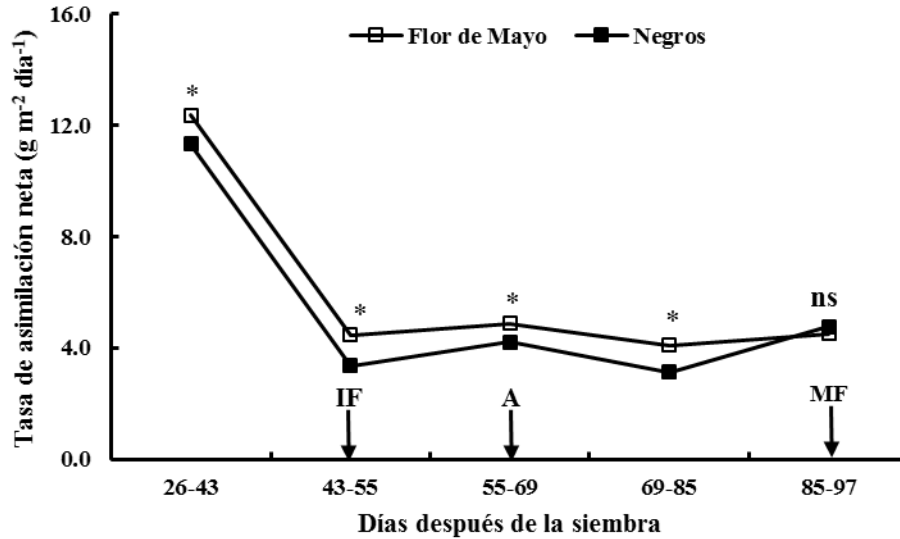


Figura 4.20 Tasa de asimilación neta en promedio de las variedades del tipo ‘Flor de Mayo’ y negros del sur de Veracruz. Ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México. IF= Inicio de la floración, A= Antesis, MF= Madurez fisiológica. \*\*( $P \leq 0.01$ ), \*( $P \leq 0.05$ ), ns= no significativo.

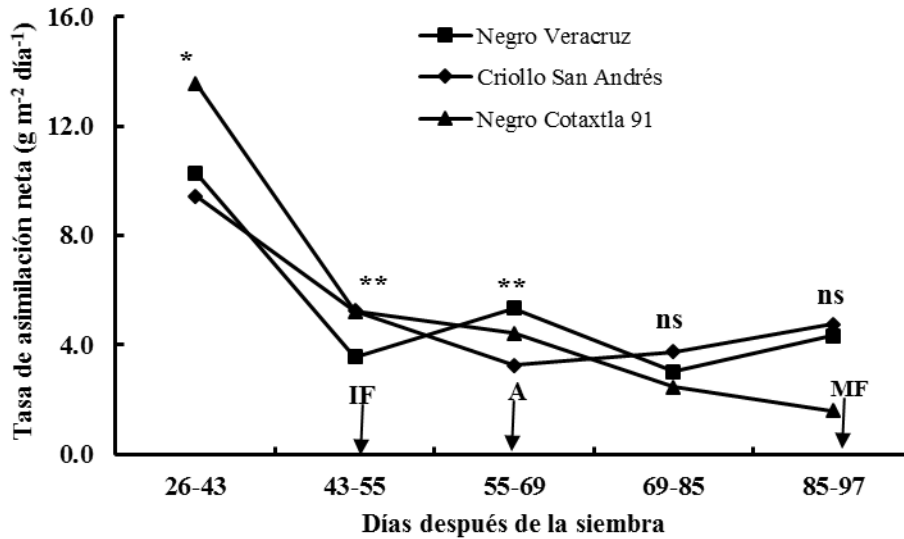
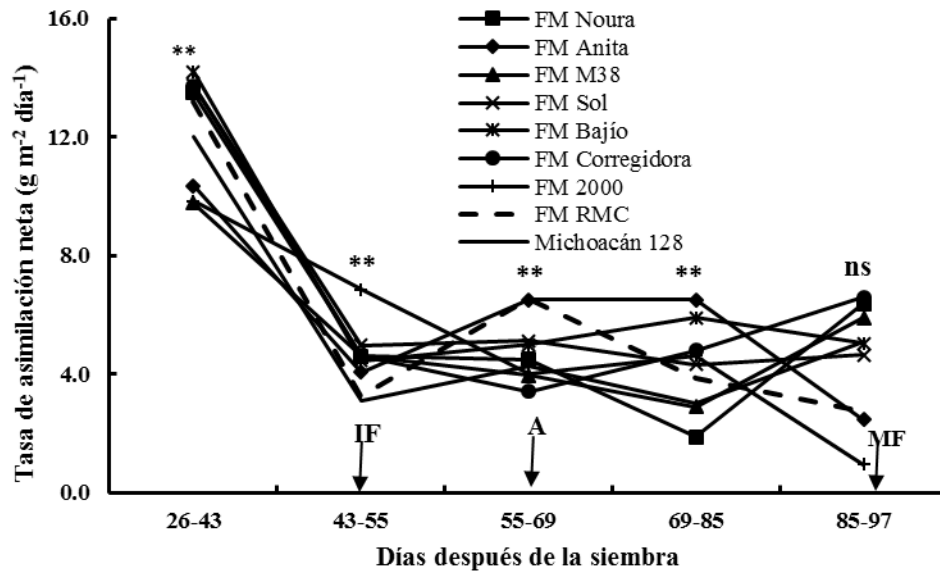
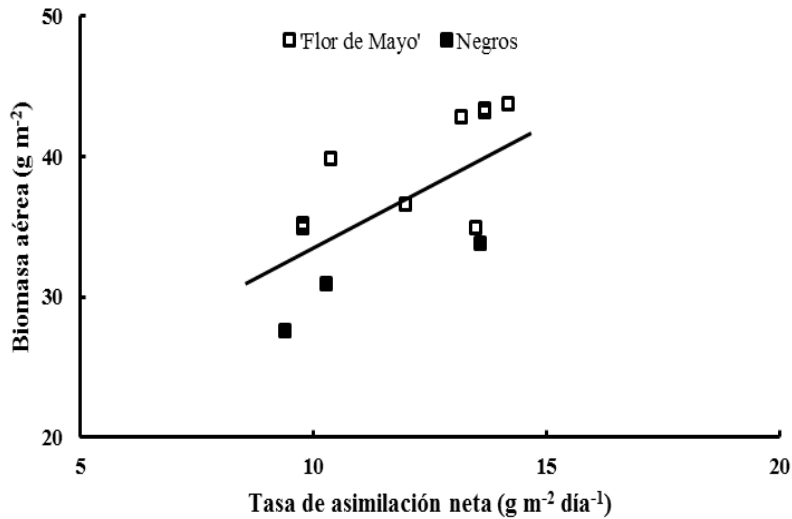


Figura 4.21 Tasa de asimilación neta para las variedades del sur de Veracruz. Ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México. IF= Inicio de la floración, A= Antesis, MF= Madurez fisiológica. \*\*( $P \leq 0.01$ ), \*( $P \leq 0.05$ ), ns= no significativo.



**Figura 4.22** Tasa de asimilación neta para las variedades del tipo ‘Flor de Mayo’. Ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México. IF= Inicio de la floración, A= Antesis, MF= Madurez fisiológica. \*\*( $P \leq 0.01$ ), \*( $P \leq 0.05$ ), ns= no significativo.

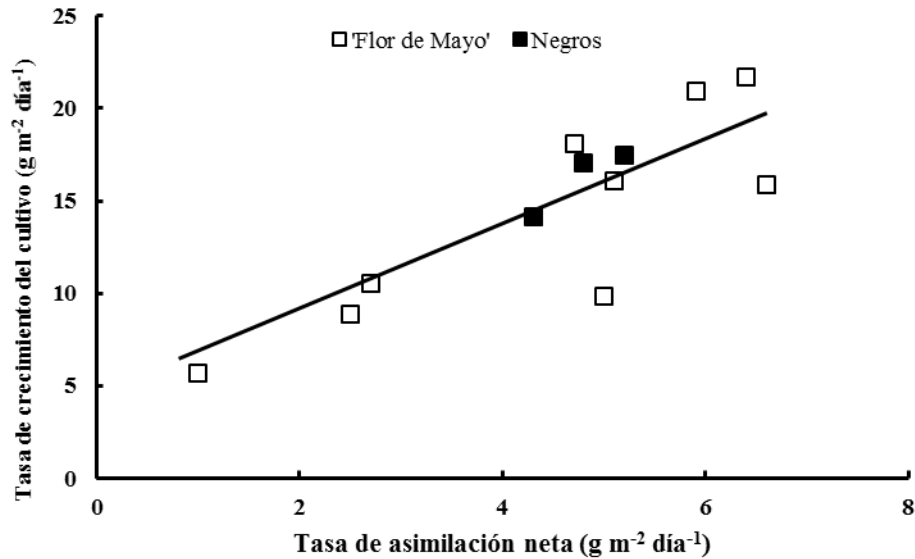
La tasa de asimilación neta es la responsable del suministro de asimilados para el mantenimiento de los procesos fisiológicos de la planta y la expansión de nuevo tejido. Una forma de demostrar que la tasa de asimilación neta tiene relación con la acumulación de materia seca es a través de la relación existente entre ambas características; en el presente trabajo se determinó que la variación en los valores máximos en la tasa de asimilación neta estuvo positiva y significativamente relacionada con la variación en los valores máximos de la acumulación de biomasa aérea ( $BMA = 1.9 (TAN) + 14.4$ ,  $r=0.67$ ,  $P \leq 0.01$ ) (Figura 4.15), en las etapas iniciales de crecimiento del cultivo (26-43 dds); las variedades con mayor tasa de asimilación neta acumularon mayor biomasa aérea; entre éstas, las variedades del tipo ‘Flor de Mayo’ FM Sol, FM RMC, FM Corregidora y FM Bajío mostraron mayor tasa de asimilación neta y produjeron mayor cantidad de biomasa aérea (Figura 4.15).



**Figura 4.23 Relación entre los valores máximos de la tasa de asimilación neta (26-43 dds) y sus correspondientes valores de la biomasa aérea (26-43 dds), para las variedades del tipo ‘Flor de Mayo’ y negros del sur de Veracruz. Ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México.**

La tasa de asimilación neta depende de la cantidad de radiación interceptada por las hojas y de la eficiencia con que es utilizada para producir asimilados, los cuales, son utilizados por las plantas para su crecimiento. Se observó que la variación en los valores máximos de la tasa de asimilación neta se relacionó estrechamente con los valores máximos de la variación en la tasa de crecimiento del cultivo ( $TCC = 2.5 (TAN) + 3.4$ ,  $r=0.84$ ,  $P \leq 0.01$ ) durante la etapa de formación de la semilla (85-97 dds); los cultivares con alta tasa de asimilación neta tuvieron alta tasa de crecimiento del cultivo, por ejemplo, las variedades del tipo ‘Flor de Mayo’ FM Corregidora y FM Noura, mostraron mayor tasa de asimilación neta y tuvieron mayor tasa de crecimiento del cultivo (Figura 4.16).





**Figura 4.24 Relación entre los valores máximos de la tasa de asimilación neta (85-97 dds) y sus correspondientes valores de tasa de crecimiento del cultivo (85-97 dds), para las variedades del tipo 'Flor de Mayo' y negros del sur de Veracruz. Ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México.**

#### 4.3.3.4 Cociente de área foliar

El cociente de área foliar tendió a aumentar hasta la antesis, para después disminuir hasta la madurez fisiológica; las variedades del sur de Veracruz tuvieron mayor cociente de área foliar que las variedades del tipo 'Flor de Mayo', en la etapa vegetativa (26-43 dds), inicio de floración (43-55 dds), antesis (55-69 dds), y en la etapa de crecimiento y formación de vainas y semilla (69-85 y 85-97 dds) (Figura 4.17). Las variedades Negro Cotaxtla 91 y Criollo San Andrés mostraron mayor cociente de área foliar que el Negro Veracruz en la etapa de antesis (55-69 dds) y durante la formación de las vainas y semilla (69-85 dds) (Figura 4.18). Las variedades del tipo 'Flor de Mayo' FM Noura, FM Anita, FM Corregidora, FM 2000, FM M38 y Michoacán 128; FM M38, Michoacán, FM Noura y FM Corregidora; Michoacán 128, FM Noura y FM M38; FM Corregidora, FM 2000, FM RMC, FM Noura, FM M38 y Michoacán 128 desarrollaron mayor cociente de área foliar que las demás variedades en la etapa vegetativa (26-43 dds); en la floración (55-69 dds); durante la formación de las vainas y las semillas (69-85 dds), y durante la etapa final de formación de la semilla (85-97 dds), respectivamente (Cuadro 4.7A, Figura 4.19).

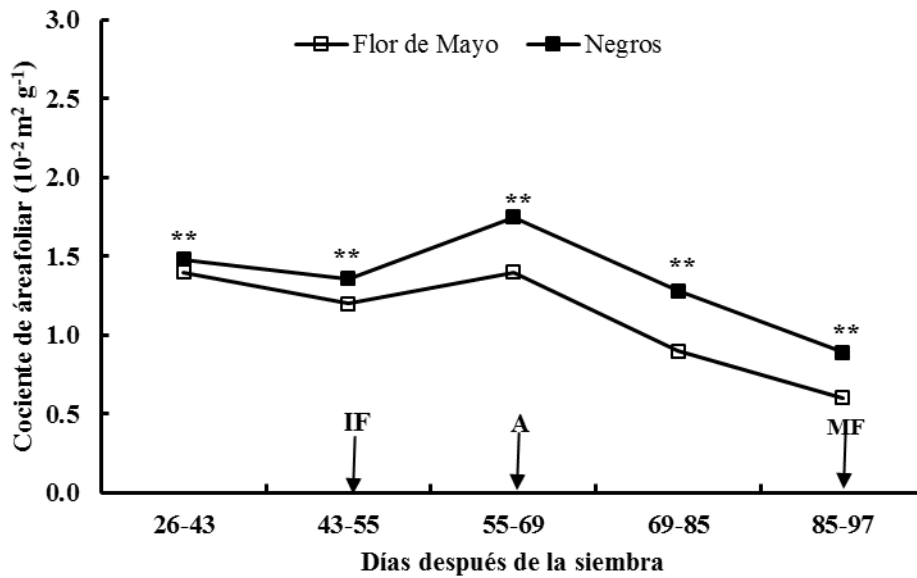


Figura 4.25 Cociente de área foliar en promedio de las variedades del tipo ‘Flor de Mayo’ y negros del sur de Veracruz. Ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México. IF= Inicio de la floración, A= Antesis, MF= Madurez fisiológica. \*\*( $P \leq 0.01$ ), \*( $P \leq 0.05$ ), ns= no significativo.

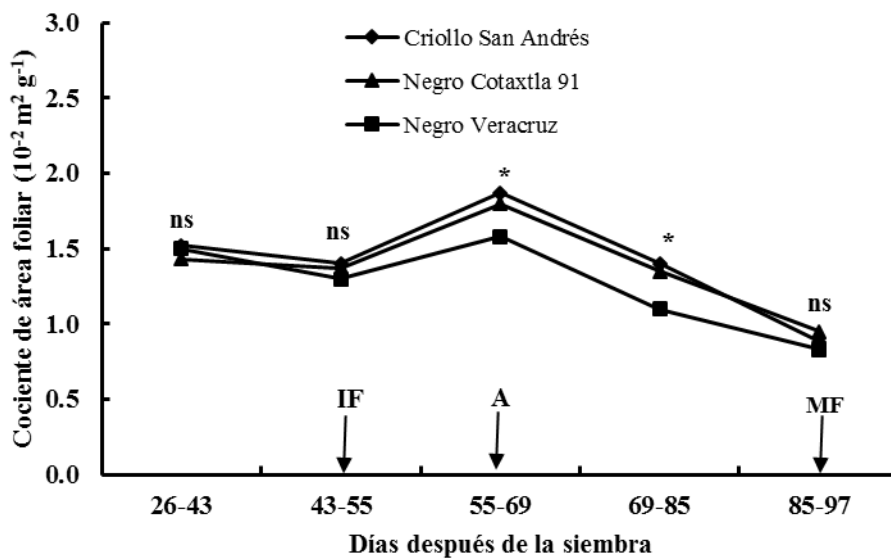
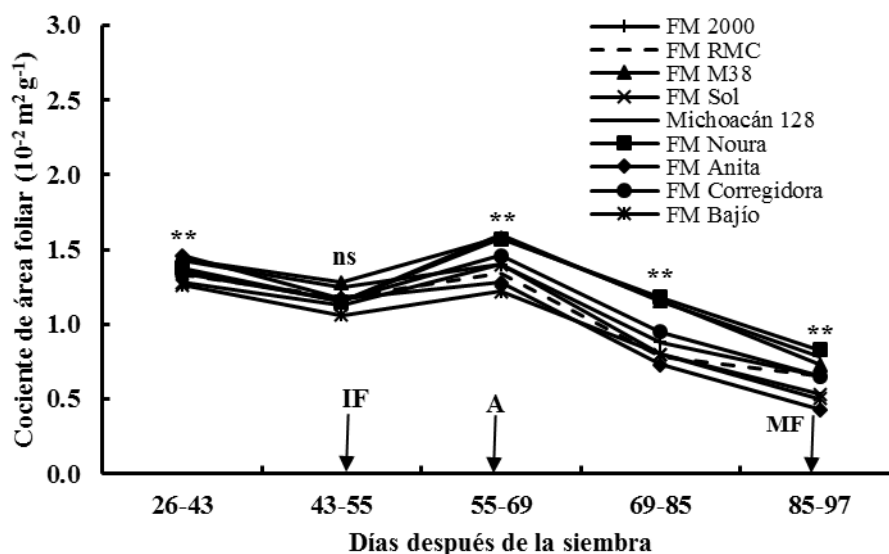
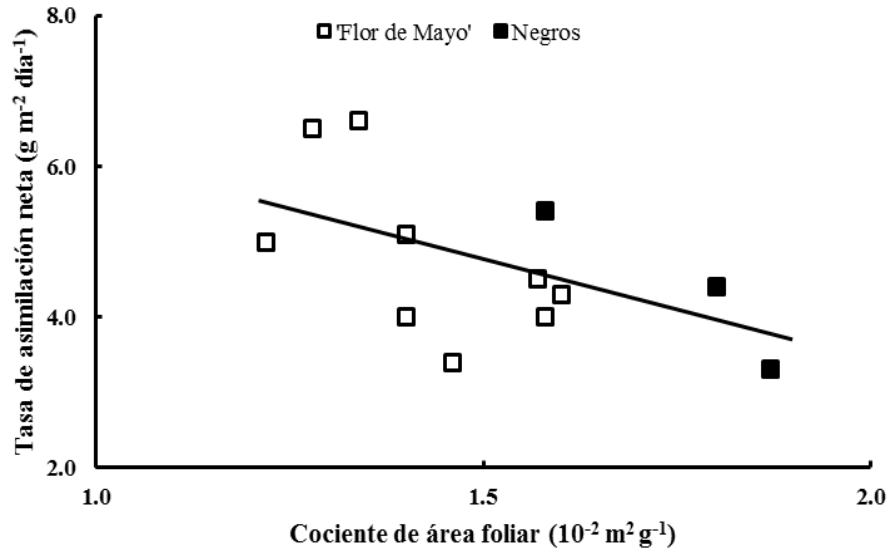


Figura 4.26 Cociente de área foliar para las variedades del sur de Veracruz. Ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México. IF= Inicio de la floración, A= Antesis, MF= Madurez fisiológica. \*\*( $P \leq 0.01$ ), \*( $P \leq 0.05$ ), ns= no significativo.



**Figura 4.27** Cociente de área foliar para las variedades del tipo ‘Flor de Mayo’. Ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México. IF= Inicio de la floración, A= Antesis, MF= Madurez fisiológica. \*\*( $P \leq 0.01$ ), \*( $P \leq 0.05$ ), ns= no significativo.

El cociente de área foliar es el componente morfológico de la tasa de crecimiento que describe la magnitud de área foliar con respecto a la magnitud de la materia seca acumulada en la planta; se determinó que la variación en los valores máximos de cociente de área foliar estuvo relacionada negativa y significativamente con la variación en los valores correspondientes de la tasa de asimilación neta ( $TAN = -3.2 (CAF) + 9.5$ ,  $r=0.59$ ,  $P \leq 0.01$ ) (Figura 4.20), en la etapa de floración (55-69 dds); las variedades del tipo ‘Flor de Mayo’ FM RMC y FM Corregidora tuvieron los más bajos cocientes de área foliar y las más altas tasa de asimilación neta (Figura 4.20).



**Figura 4.28** Relación entre los valores máximos del cociente de área foliar (55-69 dds) y sus correspondientes valores de la tasa de asimilación neta (55-69 dds), para las variedades del tipo ‘Flor de Mayo’ y negros del sur de Veracruz. Ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México.

#### 4.3.3.5 Área foliar específica

El área foliar específica de manera similar al cociente de área foliar tendió a aumentar hasta la antesis, para después disminuir hasta la madurez fisiológica. Las variedades con semilla de color negro del sur de Veracruz, tuvieron mayor área foliar específica que las variedades de tipo ‘Flor de Mayo’, en las etapas vegetativa (26 dds), inicio de floración (43 dds), antesis (55 dds), y durante la etapa de crecimiento y formación de vainas y semillas (69, 85 y 97 dds) (Figura 4.21); el Criollo San Andrés exhibió mayor área foliar específica que el Negro Veracruz y el Negro Cotaxtla 91 durante la etapa vegetativa (26 dds), al inicio de la floración (43 dds), y durante la etapa de formación de vainas y semillas (69 dds) (Figura 4.22). Las variedades del tipo ‘Flor de Mayo’ FM Corregidora, FM 2000, FM Anita, FM Bajío y FM M38; FM Bajío, FM M38, FM Noura, Michoacán 128 y FM Sol; Michoacán 128, FM Bajío, FM Anita, FM 2000 y FM RMC; FM M38, FM Noura, FM 2000, FM Corregidora y FM Bajío, y FM 2000, FM Bajío, FM Corregidora, FM RMC, Michoacán 128, FM Sol y FM Anita tuvieron mayor área foliar específica que las demás variedades en la etapa vegetativa (26 dds), al inicio de la floración (43 dds), antesis (55 dds), y durante la etapa de formación de vainas y semillas (69, 85 y 97 dds), respectivamente (Cuadro 4.8A, Figura 4.23).

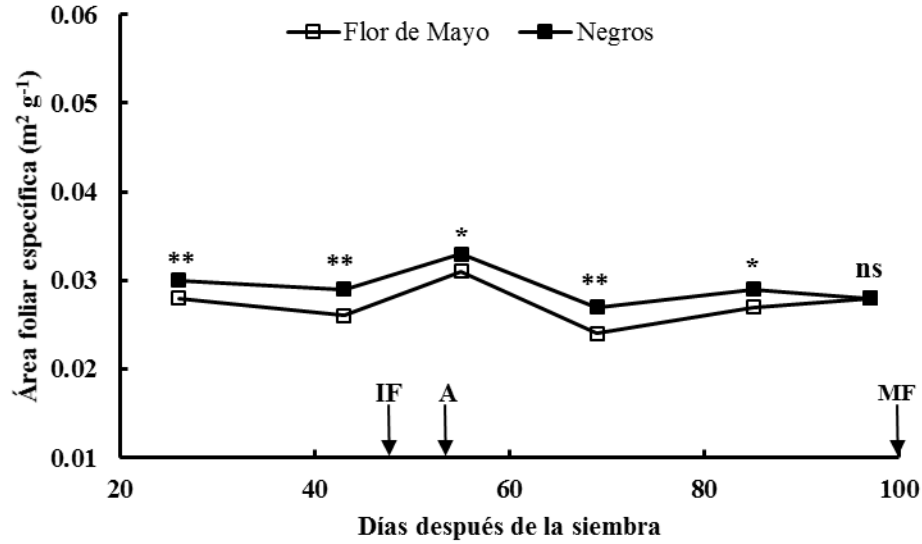


Figura 4.29 Área foliar específica en promedio de las variedades del tipo ‘Flor de Mayo’ y negros del sur de Veracruz. Ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México. IF= Inicio de la floración, A= Antesis, MF= Madurez fisiológica. \*\*( $P \leq 0.01$ ), \*( $P \leq 0.05$ ), ns= no significativo.

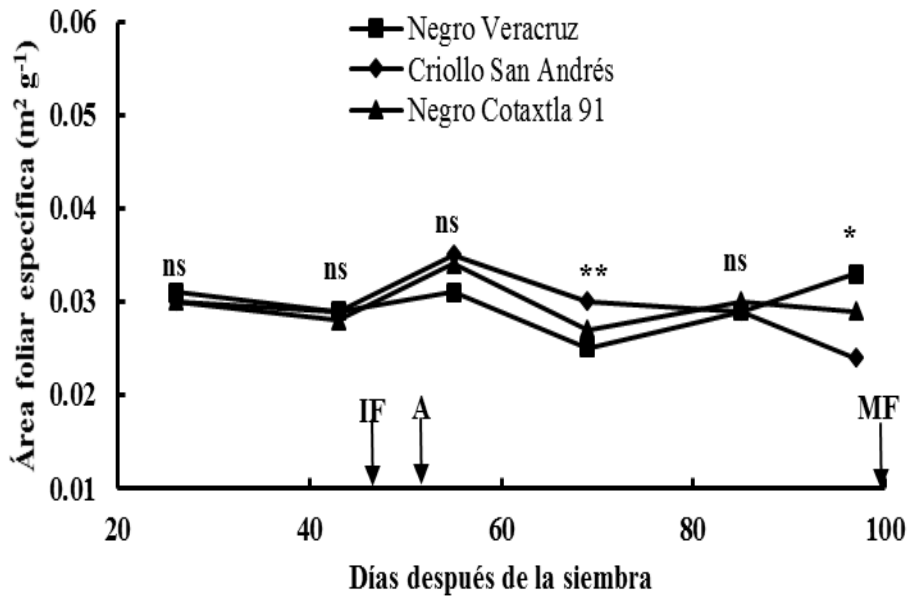
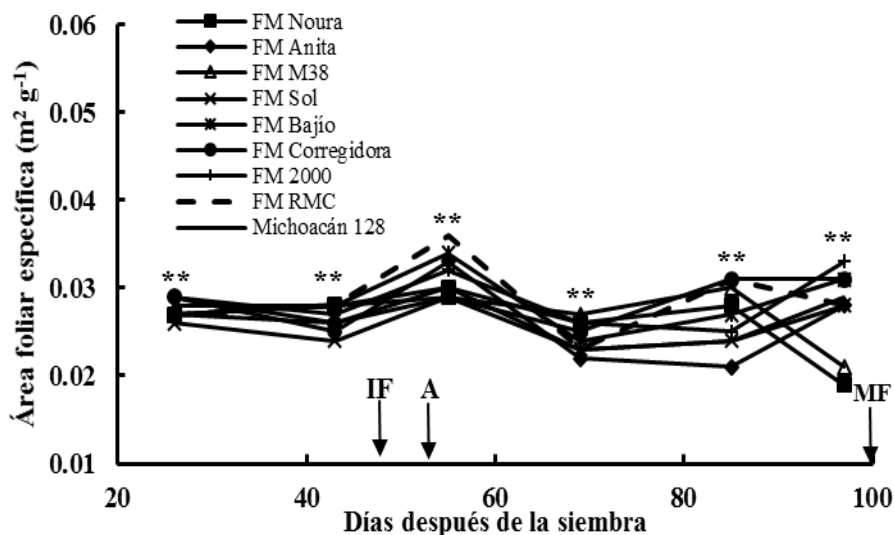


Figura 4.30 Área foliar específica para las variedades del sur de Veracruz. Ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México. IF= Inicio de la floración, A= Antesis, MF= Madurez fisiológica. \*\*( $P \leq 0.01$ ), \*( $P \leq 0.05$ ), ns= no significativo.



**Figura 4.31** Área foliar específica para las variedades del tipo ‘Flor de Mayo’. Ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México. IF= Início de la floración, A= Antesis, MF= Madurez fisiológica. **\*\***( $P \leq 0.01$ ), **\***( $P \leq 0.05$ ), ns= no significativo.

#### 4.3.3.6 Cociente de peso seco de hojas

El cociente de peso seco hojas presentó un patrón similar al observado para la tasa de asimilación neta; mostró su valor más alto durante la tapa vegetativa, disminuyendo drásticamente al inicio de la floración y con una clara tendencia a continuar disminuyendo sus valores hasta la madurez fisiológica; las variedades con semilla de color negro tuvieron mayor cociente de peso seco de hojas que las variedades de Tipo ‘Flor de Mayo’ en las etapas crecimiento y formación de vainas, y semillas (69, 85 y 97 dds) (Figura 4.24). Las variedades Negro Veracruz y Criollo San Andrés generaron mayor cociente de peso seco de hojas que la variedad Negro Cotaxtla 91 al inicio de floración (43 dds) y en la etapa de crecimiento y formación de vainas y semilla, el Negro Cotaxtla 91 acumuló mayor cociente de peso seco de hojas que el Negro Veracruz y el Criollo San Andrés (Figura 4.25). Las variedades del tipo ‘Flor de Mayo’ con mayor cociente de peso seco de hojas fueron Michoacán 128, FM Sol, FM Noura, FM M38, FM Anita y FM Corregidora; FM Corregidora, Michoacán 128, FM Noura, FM RMC y FM Sol; FM Corregidora, FM Noura, FM M38 y Michoacán 128; FM Noura, en la etapa vegetativa (26 dds), en la etapa de antesis (55 dds), y durante el crecimiento y formación de vainas y semillas (69 y 97 dds) (Cuadro 4.9A, Figura 4.26), respectivamente.

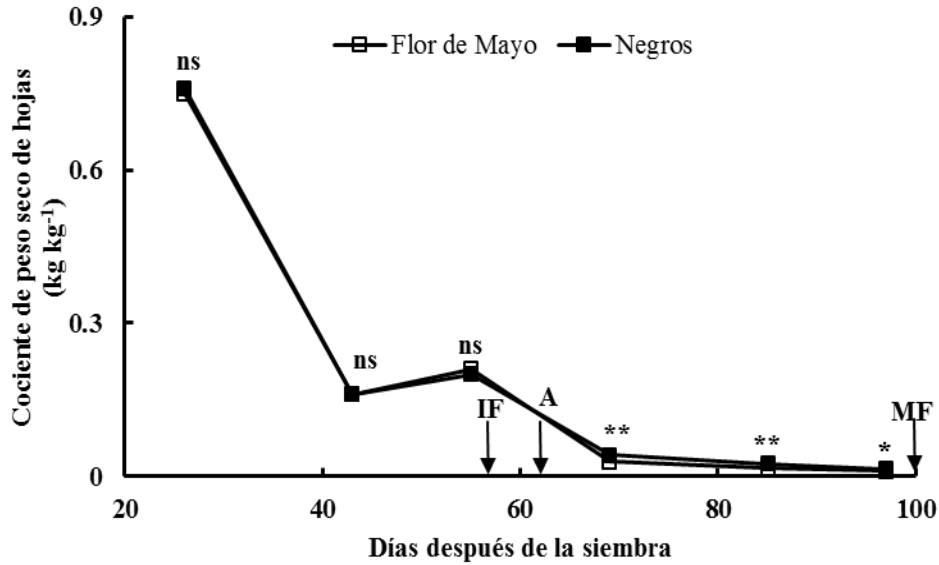


Figura 4.32 Cociente de peso seco de hojas en promedio de las variedades del tipo ‘Flor de Mayo’ y negros del sur de Veracruz. Ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México. IF= Inicio de la floración, A= Antesis, MF= Madurez fisiológica. \*\*( $P \leq 0.01$ ), \*( $P \leq 0.05$ ), ns= no significativo.

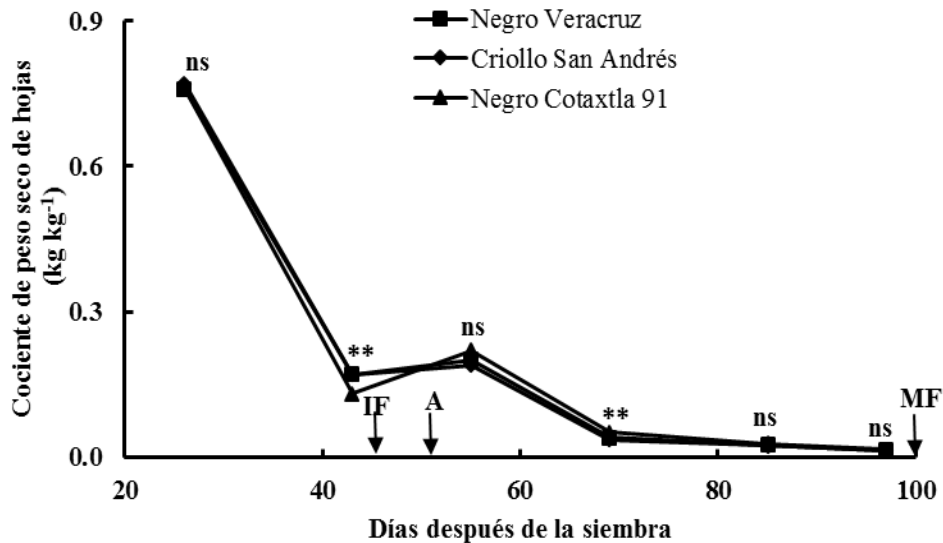
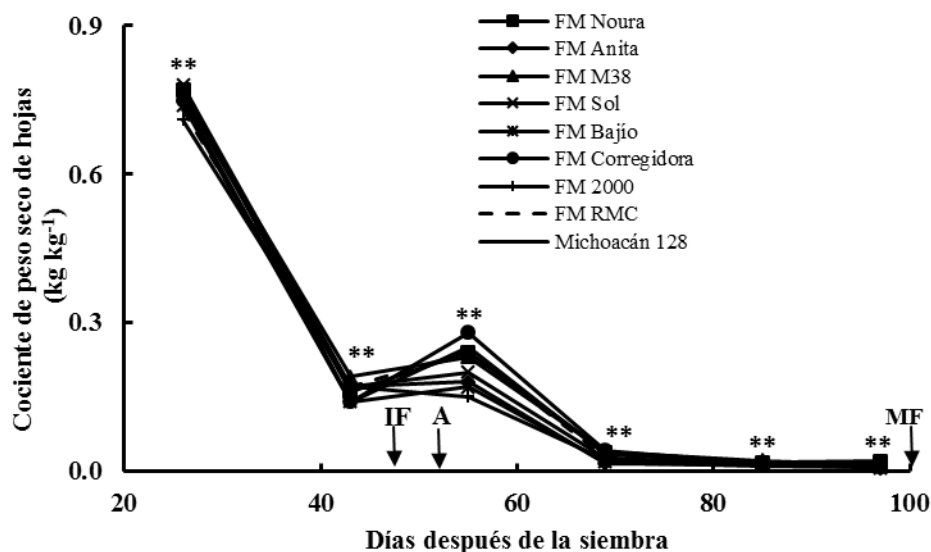


Figura 4.33 Cociente de peso seco de hojas para las variedades del sur de Veracruz. Ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México. IF= Inicio de la floración, A= Antesis, MF= Madurez fisiológica. \*\*( $P \leq 0.01$ ), \*( $P \leq 0.05$ ), ns= no significativo.



**Figura 4.34** Cociente de peso seco de hojas para las variedades del tipo ‘Flor de Mayo’. Ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México. IF= Inicio de la floración, A= Antesis, MF= Madurez fisiológica. \*\*( $P \leq 0.01$ ), \*( $P \leq 0.05$ ), ns= no significativo.

#### 4.4 DISCUSIÓN

En México, el frijol se siembra principalmente en áreas de secano, donde el cultivo está expuesto a factores bióticos y abióticos, que disminuyen el crecimiento, afectan al desarrollo, y reducen el rendimiento y calidad de la semilla. En frijol, el desarrollo del área foliar y la acumulación de materia seca son muy sensibles al déficit hídrico; se ha observado que la expansión del área foliar tiene mayor influencia en la producción de materia seca que la tasa de asimilación neta (Heath y Gregory, 1938); la tasa de asimilación neta es función de la fotosíntesis, particularmente durante las primeras semanas después de la emergencia de las plántulas y posteriormente, la expansión del área foliar tiene un papel predominante en la tasa de asimilación neta como factor de crecimiento en la planta (Potter y Jones, 1977).

##### 4.4.1 Índice de área foliar y acumulación de biomasa aérea

El presente estudio se realizó en condiciones de secano, mostrando una amplia variación en el crecimiento y desarrollo de las plantas durante el ciclo biológico; se determinó que las variedades del tipo ‘Flor de Mayo’ y las variedades con semilla de color negro tuvieron un comportamiento diferente en las características de acumulación de biomasa aérea, expansión del área foliar y



características del área foliar; las variedades del tipo ‘Flor de Mayo’ generaron 15, 19 y 14 % mayor índice de área foliar que las variedades del sur de Veracruz, en las etapas vegetativa, inicio de la floración y antesis. Sin embargo, al finalizar el ciclo del cultivo, las variedades con semilla de color negro mostraron 11 % mayor índice de área foliar que las variedades del tipo ‘Flor de Mayo’; resultados similares se observaron en los cultivares de hábito de crecimiento tipo III, Carioca y Puebla 152, bajo condiciones de riego en Seropédica, Brasil, donde las plantas provenientes de semillas pequeñas tuvieron menor índice de área foliar que las plantas de semillas grandes hasta la antesis; posteriormente, durante la formación de la semilla, las plantas de semillas chicas desarrollaron mayor índice de área foliar que las plantas de semillas grandes (Rodrigues *et al.*, 2005). En México también se ha observado que las variedades criollas con semilla de color negro tuvieron mayor índice de área foliar en las etapas de inicio de floración, inicio de formación de vaina, inicio de llenado de grano y en la etapa intermedia de llenado de grano que las variedades con testa de semilla de color claro, bajo condiciones de secano en promedio de seis localidades en Zacatecas (Acosta-Díaz *et al.*, 2008).

El incremento en peso seco o acumulación de biomasa aérea a lo largo de su ciclo de crecimiento, también fue mayor en las variedades de tipo ‘Flor de Mayo’ que en los materiales del sur de Veracruz; la acumulación promedio de peso seco desde la etapa vegetativa hasta la madurez fisiológica fue de 6.2 a 684 g m<sup>-2</sup> para los genotipos de tipo ‘Flor de Mayo’ y 5.2 a 592 g m<sup>-2</sup> para los cultivares de semilla de color negro; esto representa 16 y 13 % mayor acumulación de biomasa aérea en los cultivares del tipo ‘Flor de Mayo’ que los negros en la etapa vegetativa y la madurez fisiológica, respectivamente. Barrios-Gómez *et al.* (2010) reportaron una acumulación de biomasa aérea final, en la madurez fisiológica de 485 g m<sup>-2</sup> en promedio de tres ambientes, para un grupo de variedades del tipo ‘Flor de Mayo’, con 107 días a madurez fisiológica, que representa 29 % menor biomasa aérea final que la acumulación de materia seca aérea obtenida en el presente estudio, con 120 días a madurez fisiológica. Las diferencias observadas entre los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación y los obtenidos por Barrios-Gómez *et al.* (2010) con relación a biomasa aérea final, se deben a que en el presente estudio el número de días a madurez fisiológica (120 días) fue mayor al obtenido por dichos autores (107 días) y consecuentemente las plantas tuvieron un periodo de tiempo más largo para la acumulación de materia seca. Otros estudios, también muestran el efecto del ambiente de crecimiento en la acumulación de biomasa aérea final; Acosta-Díaz *et al.* (2007), determinaron que un grupo de

cuatro variedades de frijol del tipo ‘Flor de Junio’, produjo un promedio de 241 g m<sup>-2</sup> de biomasa aérea en condiciones de secano en Cieneguillas, Zacatecas, México, con un periodo de crecimiento de 95 días a madurez fisiológica; un grupo de ocho genotipos que incluyó cultivares del tipo ‘Pinto’, ‘Negro’ y ‘Bayo’ en condiciones de riego en Texcoco, Estado de México, produjo una biomasa aérea de 584 g m<sup>-2</sup> con un periodo de crecimiento de 103 días (Acosta-Díaz *et al.*, 2009), y en un estudio que incluyó a Cacahuate 72, Michoacán 12-A-3 y Bayo Madero, en condiciones de secano en Montecillo, Texcoco, Estado de México, se determinó una biomasa aérea final promedio de 481 g m<sup>-2</sup>, con 110 días a madurez fisiológica (Escalante-Estrada *et al.*, 2014).

#### 4.4.2 Tasa de crecimiento del cultivo

La tasa de crecimiento del cultivo de las variedades del tipo ‘Flor de Mayo’ fue 23, 40 y 22 % mayor que la de las variedades del sur de Veracruz, en la etapa vegetativa, inicio de floración y antesis, con un valor máximo de 12 g m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup> en antesis (55-69 dds). Resultados similares obtuvieron Ressia *et al.* (2003) en el cultivar de soya Don Mario DM4700 en promedio (12 g m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>) de tres sistemas de labranza en etapa de antesis, en la Provincia de Buenos Aires, Argentina. En estudios previos, Escalante-Estrada *et al.* (2014) y Barrios-Gómez *et al.* (2011), reportaron tasas de crecimiento de cultivo máximas de 8 y 9 g m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup> en antesis en diferentes cultivares de frijol bajo condiciones de temporal en Montecillo, Texcoco, Estado de México; Apáez-Barrios *et al.* (2011) determinaron tasas de crecimiento del cultivo máximas de 3.2 g m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup> en frijol chino con espaldera convencional durante el periodo de crecimiento de las vainas y la formación de la semilla, en condiciones de clima cálido en Cocula, Guerrero, México y 2.5 g m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup> en condiciones de clima templado en temporal en Montecillo, Texcoco, Estado de México.

La mayor tasa de crecimiento del cultivo obtenida por las variedades del sur de Veracruz, fue de 16.3 g m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup> en la etapa de formación de semilla (85-97 dds), sin embargo, este valor no fue estadísticamente diferente al de las variedades del tipo ‘Flor de Mayo’; valores similares de la tasa de crecimiento del cultivo (17 g m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>) en la etapa de antesis bajo condiciones de riego, se observaron en un grupo de ocho variedades de frijol que incluyó los tipos ‘Flor de Mayo’, ‘Flor de Junio’ y Michoacán 128, en Montecillo, Texcoco, México (Barrios-Gómez *et al.*, 2011). Escalante-Estrada (1999) reportó tasas de crecimiento de cultivo máximas de 14.5 y 20.1 g m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup> en la etapa vegetativa y en inicio de floración en dos genotipos (híbridos) de girasol AB-E353 y Sungro

380, utilizados como testigo, bajo condiciones de temporal en Tomejil, provincia de Sevilla, España.

La tasa de crecimiento del cultivo se relacionó positivamente con el índice de área foliar como resultado de un aumento en la magnitud del área foliar y la cantidad de luz interceptada o de un aumento en la actividad fotosintética de la planta, al considerar que la tasa de crecimiento del cultivo es el producto del índice de área foliar y la tasa de asimilación neta (Warren Wilson, 1981). Aunque es difícil demostrar una relación estrecha entre la magnitud del índice de área foliar y la acumulación de biomasa aérea o rendimiento, se ha determinado que en frijol común bajo condiciones de secano, el índice de área foliar estuvo correlacionado positivamente con el rendimiento de variedades criollas de grano negro y claro en etapas previas a la madurez fisiológica en diversas localidades de Zacatecas, México (Acosta-Díaz *et al.*, 2008). Estos resultados concuerdan con los expuestos por Norman y Arkebauer (1991) quienes indican que el crecimiento acumulado en la planta depende del carbono total fijado por la fotosíntesis y la fracción de ese carbono que puede ser convertido a materia seca.

#### **4.4.3 Tasa de asimilación neta**

La tasa de asimilación neta de las variedades del tipo 'Flor de Mayo' fue 8, 24, 14 y 26 % más alta que en las variedades del sur de Veracruz, en las etapas vegetativa (26-43 dds), inicio de la floración (43-55 dds), antesis (55-69 dds), y en la etapa de crecimiento y formación de vaina y semillas (69-85 dds). El máximo valor de la tasa de asimilación neta se presentó en la etapa vegetativa (26-43 dds) para ambos grupos de variedades;  $12.3 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  para las variedades del tipo 'Flor de Mayo' y  $11.3 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  para las del sur de Veracruz, posteriormente disminuyó conforme transcurrió el ciclo biológico; Barrios-Gómez *et al.* (2011), reportaron tasas de asimilación neta máximas de 5 y  $3 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$  en antesis en diferentes cultivares de frijol bajo condiciones de riego y temporal en Montecillo, Texcoco, Estado de México. Apérez-Barrios *et al.* (2011) determinaron tasas de asimilación neta máximas de  $0.051 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$  en frijol chino con espaldera convencional desde la emergencia hasta los 29 días después de la siembra, en condiciones de clima cálido en Cocula, Guerrero, México y  $0.050 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$  en condiciones de clima templado en temporal en Montecillo, Texcoco, Estado de México. Geiger *et al.* (1989) señalaron que los valores más altos en la tasa de fotosíntesis de plantas de frijol se alcanzaron en las tres primeras semanas después de la siembra y después disminuyeron debido a la senescencia y edad de la hoja. Rodrigues *et al.*

(2005) señalan que una de las características importantes para la tasa de asimilación neta es el tamaño de la semilla, donde las plantas de frijol provenientes de semillas pequeñas presentan tasas relativas de crecimiento y asimilación neta superiores, debido a su mayor actividad fotosintética y menor respiración. Estos autores, determinaron tasas de asimilación neta máximas de  $4.8 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$  en promedio de seis cultivares de frijol de semilla chica, y  $4 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$  en semillas grandes, durante el periodo vegetativo (19 días después de la siembra), bajo condiciones de riego en Seropédica, Brasil.

La tasa de asimilación neta se relacionó positivamente con la acumulación de biomasa aérea y la tasa de crecimiento del cultivo; la tasa de asimilación neta es el resultado del balance neto entre las ganancias de carbono por la tasa de fotosíntesis y las pérdidas de carbono, debido a las tasas de respiración de hojas, tallos y raíces (Poorter, 1989).

La relación entre la tasa de asimilación neta y la tasa de crecimiento del cultivo mostró que los genotipos con mayor actividad fotosintética produjeron mayor biomasa aérea; otros estudios realizados en garbanzo bajo condiciones de riego y sequía mostraron una relación positiva y significativa entre la tasa fotosintética y la producción de biomasa, donde los cultivares con mayor acumulación de biomasa aérea tuvieron mayor tasa fotosintética tanto en condiciones de riego como en sequía; adicionalmente se observó que los genotipos sobresalientes en tasa de fotosíntesis y acumulación de biomasa aérea, presentaron alta capacidad de ajuste osmótico en condiciones de déficit hídrico (Kruoma, 2010).

#### **4.4.4 Cociente de área foliar, área foliar específica y cociente de peso seco de hojas**

El cociente de área foliar representa la proporción de material fotosintéticamente activo con respecto al material que realiza el proceso de respiración en la planta; el área foliar específica y el cociente de peso seco del área foliar son subdivisiones del cociente de área foliar y representan el área foliar promedio producida por unidad de peso seco de la hoja (el grosor relativo o densidad de la hoja) y un índice de la abundancia de follaje de la planta expresado con base a peso seco, respectivamente (Hunt, 1978). En el presente trabajo de investigación se determinó que las variedades del tipo 'Flor de Mayo' tuvieron menor cociente de área foliar, área foliar específica y cociente de peso seco de hojas que las variedades del sur de Veracruz, caracteres morfológicos del área foliar, indicativos de una menor proporción de tejido fotosintéticamente activo por unidad de peso seco total de la planta, hojas de menor tamaño por unidad de peso seco del área foliar (hojas

más chicas y de mayor grosor o mayor densidad) y menor abundancia del peso seco del follaje con respecto al peso total de la planta que las variedades del sur de Veracruz (Hunt, 1978; López-Castañeda *et al.*, 1995). Otros trabajos de investigación reportaron cocientes de área foliar máximos de  $0.020 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$  en temporal y  $0.023 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$  en riego, antes del inicio de la floración en promedio de genotipos del tipo ‘Flor de Mayo’, ‘Flor de Junio’ y Michoacán 128, en Montecillo, Texcoco, Estado de México (Barrios-Gómez *et al.*, 2011); se observó que la morfología de la hoja es una característica importante, de la cual depende que el tejido fotosintético tenga la capacidad de incrementar el nitrógeno foliar, la clorofila, la fotosíntesis y una mayor eficiencia en el uso del agua (Sefton *et al.*, 2001); también se señala que los cambios en la estructura de la hoja son importantes para que las plantas se adapten a ambientes con deficiencias hídricas (Niinemets, 2001). En cacahuete (*Arachis hypogea* L.) se reportaron valores de área foliar específica de  $168 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$  en promedio de cuatro cultivares en cuatro diferentes fechas, en dos localidades de Queensland, Australia, bajo condiciones de temporal (Rao y Wright, 1994).

La tasa de asimilación neta se relacionó negativamente con el cociente de área foliar, mostrando que la mayor actividad fotosintética de las plantas de frijol se alcanzó con menor área foliar por unidad de materia seca presente en la planta; cuando las plantas crecen en condiciones óptimas, las especies de hábitats productivos fértiles tienden a mostrar una mayor tasa relativa de crecimiento inherente que las especies de ambientes menos favorables; bajo éstas condiciones, las especies de rápido crecimiento producen relativamente más área foliar y menos masa de raíces, lo cual contribuye enormemente a su mayor ganancia de carbono por unidad de peso seco de la planta (Lambers y Poorter, 1992). Al considerar que el cociente de área foliar es afectado por la asignación de biomasa, composición química y anatomía de la hoja (Lambers y Poorter, 1992); un incremento aparente en la tasa de asimilación neta tiene influencia positiva en la tasa relativa de crecimiento, sin embargo, debido a la correlación negativa entre la tasa de asimilación neta y el cociente de área foliar, un incremento en la tasa de asimilación neta deberá también disminuir el cociente de área foliar, y esto a su vez, tendrá un efecto negativo, entonces enmascarando la correlación entre la tasa de asimilación neta y la tasa relativa de crecimiento (Poorter y Remkes, 1990). Konings (1989) y Poorter (1989) ofrecen dos explicaciones para la correlación negativa entre la tasa de asimilación neta y el cociente de área foliar: primeramente, un incremento en la tasa de asimilación neta puede requerir un aumento en la tasa de fotosíntesis, lo cual puede lograrse a través de una mayor asignación de carbono en el aparato fotosintético con la consecuente disminución en el área foliar

específica, y en segundo lugar, el balance entre la cantidad de raíces y la cantidad de área foliar podría influir en el estatus hídrico foliar y por lo tanto la tasa de fotosíntesis (Poorter y Remkes, 1990).

#### **4.5 CONCLUSIONES**

Los cultivares de frijol del tipo ‘Flor de Mayo’ mostraron mayor índice de área foliar durante la mayor parte del ciclo biológico y biomasa aérea durante todo el ciclo de crecimiento que las variedades del sur de Veracruz; las variedades del tipo ‘Flor de Mayo’ también desarrollaron mayores tasas de crecimiento del cultivo y de asimilación neta en comparación con los negros del sur de Veracruz, durante la mayor parte del ciclo biológico.

Los frijoles del tipo ‘Flor de Mayo’ mostraron menor cociente de área foliar, área foliar específica y cociente de peso seco de hojas que los frijoles negros, caracteres morfológicos que se reflejaron en una menor tasa de asimilación neta en los frijoles negros que en los frijoles del tipo ‘Flor de Mayo’.

Las variedades FM RMC, FM Anita, FM Corregidora, FM Sol y Criollo San Andrés tuvieron mayor índice de área foliar y acumulación de materia seca que las otras variedades.

Las variedades Criollo San Andrés, FM Anita, FM Corregidora, FM Sol, FM RMC y Michoacán 128 tuvieron mayor tasa de crecimiento del cultivo y tasa de asimilación neta que los demás genotipos.

#### **4.6 LITERATURA CITADA**

- Acosta-Díaz, E., M. D. Amador-Ramírez, J. S. Padilla-Ramírez, J. P. Gómez-Delgado y H. Valadez-Montoya. 2007. Biomasa y rendimiento de frijol tipo flor de junio bajo riego y sequía. *Agricultura Técnica en México* 33: 153-162.
- Acosta-Díaz, E. A., J. A. Acosta-Gallegos, M. D. Amador-Ramírez y J. S. Padilla-Ramírez. 2008. Relación entre índice de área foliar y rendimiento en frijol bajo condiciones de secano. *Agricultura Técnica en México* 34: 13-20.
- Acosta-Díaz, E., J. A. Acosta-Gallegos, C. Trejo-López, J. S. Padilla-Ramírez and M. D. Amador-Ramírez. 2009. Adaptation traits in dry bean cultivars grown under drought stress. *Agricultura Técnica en México* 35: 416-425.
- Akita, S. 1989. Improving yield potential in tropical rice. In: *Progress in irrigated rice research*. Los Baños: IRRI. Pp. 41-73.

- Apáez-Barrios, P., J. A. S. Escalante-Estrada y M. T. Rodríguez-González. 2011. Crecimiento y rendimiento del frijol chino en función del tipo de espaldera y clima. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 13: 307-315.
- 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.
- Barrios-Gómez, E. J., C. López-Castañeda, J. A. Acosta-Gallegos, J. Canul-Ku. 2011. Efecto del estrés hídrico en el crecimiento y desarrollo de frijol. *Investigación Agropecuaria* 8: 1-15.
- Barrios-Gómez, E. J., C. López-Castañeda, J. Kohashi-Shibata, J. A. Acosta-Gallegos, S. Miranda-Colín, J. Canul Ku y N. Mayek-Pérez. 2012. Comparación de las estructuras morfológicas en raíz e hipocótilo en frijol. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3: 655-669.
- Blum, A. 2013. Heterosis, stress, and the environment: a possible road map towards the general improvement of crop yield. *Journal of Experimental Botany* 64: 4829-4837.
- Escalante-Estrada, J. A. 1999. Área foliar, senescencia y rendimiento del girasol de humedad residual en función del nitrógeno. *Terra Latinoamericana* 17: 149-157.
- Escalante-Estrada, J. A. S., Ma. T. Rodríguez-González, Y. I. Escalante-Estrada. 2014. Tasa de crecimiento de biomasa y rendimiento de frijol en función del nitrógeno. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 2: 1-8.
- García, Enriqueta. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 2d. ed. Universidad Nacional Autónoma de México. 245 p.
- Geiger, D. R. and R. T. Giaquinta. 1982. Translocation of photosynthate. *In: Govindjee (ed). Photosynthesis 2, Development, Carbon Metabolism and Plant Productivity. Academic Press New York: Pp. 345-383.*
- Geiger, R. D., Wen-Jang Shieh and R. M. Saluke. 1989. Carbon partitioning among leaves, fruits, and seeds during development of *Phaseolus vulgaris* L. *Plant Physiology* 91: 291-297.
- Gifford, R. M., J. H. Thorne, W. D. Hitz and R. T. Giaquinta. 1984. Crop productivity and photoassimilate partitioning. *Science* 225: 801-808.
- Heath, O. V. S and F. G. Gregory. 1938. The constancy of the mean net assimilation rate and its ecological importance. *Annals of Botany* 2: 811-818.
- Ho, L. C. 1988. Metabolism and compartmentation of imported sugars in sink organs in relation to sink strength. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 39: 355-378.
- Hunt, R. 1978. *Plant growth analysis*. Edward Arnold Publishers, London. 67 p.

- Hunt, R. 2003. Growth analysis, individual plants. *In*: B. Thomas, D. J. Murphy and D. Murray (eds). Encyclopaedia of applied plant sciences. Pp. 588-596.
- Konings, H. 1989. Physiological and morphological differences between plants with a high NAR or a high LAR as related to environmental conditions. *In*: H. Lambers, M. L. Cambridge, H. Konings, T. L. Pons (eds). Causes and Consequences of variation in growth rate and productivity of higher plants, SPB Academic Publishing, The Hague, This volume, pp. 101-123.
- Krouma, A. 2010. Plant water relations and photosynthetic activity in three Tunisian chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes subjected to drought. Turkish Journal of Agriculture and Forestry 34: 257-264.
- Lambers, H. and H. Poorter. 1992. Inherent variation in growth rate between higher plants: A search for physiological causes and ecological consequences. Advances in Ecological Research 23: 187-261.
- López-Castañeda, C. y J. Kohashi-Shibata. 1985. Efecto de la poda en la producción de semilla de un frijol (*Phaseolus vulgaris* L) de hábito indeterminado y de guía larga. Agrociencia 60: 37-60.
- López-Castañeda, C., R. A. Richards, and G. D. Farquhar. 1995. Variation in early vigor between wheat and barley. Crop Science 35: 472-479.
- Morales-Rivera, A., C. López-Castañeda, J. Kohashi-Shibata, S. Miranda-Colín y A. García-Esteva. 2015. Comparación de los componentes del rendimiento en variedades de frijol en condiciones de acidez y humedad residual del suelo en el sur de Veracruz. Terra Latinoamericana 33: 309-319.
- Niinemets, Ülo. 2001. Global-scale climatic controls of leaf dry mass per area, density, and thickness in trees and shrubs. Ecology 82: 453-469.
- Norman, J. M., and T. J. Arkebauer. 1991. Predicting canopy photosynthesis and light use efficiency from leaf characteristics. *In*: K. J. Boote and R. S. Loomis (ed.) Modelling crop photosynthesis-from biochemistry to canopy. Crop Science Society of America and American Society of Agronomy 19: 75-94.
- Potter, J. R. and J. W. Jones. 1977. Leaf Area partitioning as an important factor in growth. Plant Physiology 59: 10-14.
- Poorter, H. 1989. Plant growth analysis: towards a synthesis of the classical and the functional approach. Physiologia Plantarum 75: 237-244.
- Poorter, H. and C. Remkes. 1990. Leaf area ratio and net assimilation rate of 24 wild species differing in relative growth rate. Oecologia 83: 553-559.
- Rao, N. R. C. and G. C. Wright. 1994. Stability of the relationship between specific leaf area and carbon isotope discrimination across environments in peanut. Crop Science 34: 98-103.



- Ressia, J. M., L. Lázaro, L. C. Lett, G. O. Mendivil, G. R. Portela y R. H. Balbuena. 2003. Sistemas de labranza e inoculación en soja: Efectos sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo. *Agrociencia* 37: 167-176.
- Richards, R. A. 2000. Selectable traits to increase crop photosynthesis and yield of grain crops. *Journal of Experimental Botany* 51: 447-458.
- Rodrigues, L. E., S. A. Silva, A. A. Paulo and T. M. Grandi. 2005. Effects of the size of sown seed on growth and yield of common bean cultivars of different seed sizes. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 17: 273-281.
- Rosales-Serna, R., J. A. Acosta-Gallegos, J. S. Murruaga-Martínez, J. M. Hernández-Casillas, G. Esquivel-Esquivel y P. Pérez Herrera. 2004. Variedades mejoradas de frijol del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Libro Técnico 6. 148 p.
- SAS (Statistical Analysis System), Versión 9.4 para Windows 2014. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Sefton, C., K. Montagu, B. Atwell and J. P. Conroy. 2001. Anatomical variation in juvenile eucalyptus leaves accounts for differences in specific leaf area and CO<sub>2</sub> assimilation rates. *Science Access* 3: 18-23.
- Warren Wilson, J. 1981. Analysis of Growth, photosynthesis and light interception for single plants and stands. *Annals of Botany* 48: 507-512.
- Watson, D. J. 1947. Comparative physiological studies in the growth of field crops. I: Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. *Annals of Botany* 11: 41-76.
- Yan, W. and D. H. Wallace. 1995. Breeding for negatively associated traits. *Plant Breeding Reviews* 13: 141-177.

## **CAPÍTULO 5. VARIACIÓN EN CRECIMIENTO DEL ÁREA FOLIAR Y RAÍCES, RENDIMIENTO Y SUS COMPONENTES, Y EFICIENCIA TRANSPIRATORIA EN FRIJOL BAJO RIEGO Y SEQUÍA EN INVERNADERO**

### **5.1 INTRODUCCIÓN**

La sequía es el principal factor limitante del rendimiento en ambientes de secano; el efecto del déficit hídrico en la planta depende de la variedad, la etapa fenológica en la cual se presente y la duración y severidad del estrés. El déficit de humedad del suelo durante la fase reproductiva tiene su efecto más adverso en el rendimiento del cultivo (Costa-Franca *et al.*, 2000). Diversos estudios muestran que el déficit hídrico durante el desarrollo reproductivo del frijol de secano, puede disminuir el número de flores, vainas y semillas por vaina (Xia, 1997); la sequía puede reducir el número total de flores hasta en 47 %, afectando el número de vainas por planta en algunas variedades de frijol (Nuñez-Barríos *et al.*, 2005). El número de vainas por planta también puede variar entre cultivares de secano en respuesta al déficit de agua; se ha observado que el aborto de vainas bajo condiciones de estrés hídrico puede variar de 21 a 65 % (Mwanamwenge *et al.*, 1999). El número de vainas y semillas por planta son los componentes del rendimiento más afectados por el estrés hídrico durante la floración y pueden reducir el rendimiento de semilla hasta 70 %, dependiendo de la duración e intensidad del periodo de estrés (López *et al.*, 1996; Assefa *et al.*, 2013).

El conocimiento de los factores limitantes al crecimiento de las raíces es muy importante, si se tiene interés en maximizar el uso del agua y los nutrientes e incrementar los rendimientos; las limitaciones que las raíces pueden encontrar para su crecimiento en el suelo son la profundidad de la raíz, enfermedades radicales, deficiencias de nutrientes, toxicidad y dureza del suelo; el entendimiento de estas limitaciones, puede conducir a la identificación más precisa de los caracteres a utilizar en la selección y mejoramiento (Richards, 2008). La capacidad del sistema radical para penetrar en un suelo en condiciones de desecación se considera como uno de los principales mecanismos de resistencia a sequía en la planta de frijol (Beebe *et al.*, 2008). Las características de crecimiento de las raíces de las plantas asociadas con el mantenimiento de la productividad bajo sequía, incluye raíces de diámetro reducido (finas), mayor longitud específica y considerable densidad de raíces, especialmente a profundidades del suelo con disponibilidad de

humedad; en ambientes con sequía terminal, diámetros de xilema pequeños en las raíces seminales tienen como objetivo economizar agua en estratos profundos del suelo, para su utilización durante el periodo de formación de la semilla, al resultar en rendimientos más altos (Comas *et al.*, 2013). Una rápida recuperación del crecimiento de la raíz seguido del rehumedecimiento del suelo, puede mejorar la productividad de la planta bajo periodos de sequía; el control genético de esta característica puede hacerse posible a través del mejoramiento (Comas *et al.*, 2013).

La eficiencia en el uso del agua o eficiencia transpiratoria (p. ej. la cantidad de materia seca producida por unidad de agua utilizada en la transpiración de la planta) se considera como un determinante importante del rendimiento bajo condiciones de estrés hídrico, e incluso como un componente de la resistencia a sequía del cultivo (Blum, 2009). La selección para alta eficiencia en el uso del agua en el mejoramiento para ambientes con déficit hídrico, parece ser el criterio de selección más apropiado, para la mayoría de condiciones con rendimiento reducido y resistencia a sequía reducida; en tanto que la bioquímica de la fotosíntesis no puede mejorarse genéticamente, mayor eficiencia transpiratoria genotípica y uso eficiente del agua son determinados principalmente por las características de la planta que reducen la transpiración y evapotranspiración, procesos que son cruciales para la producción de la planta (Blum, 2009). Al considerar que la producción de biomasa está estrechamente asociada a la transpiración, el mejoramiento para maximizar la captura de humedad en el suelo para la transpiración es el objetivo más importante para mejorar el rendimiento bajo condiciones de estrés hídrico (Blum, 2009). Una mayor eficiencia genética en el uso del agua también puede lograrse con la manipulación del dosel del cultivo, para reducir la pérdida de agua por evaporación directa de la superficie del suelo debajo de las plantas (Richards *et al.*, 1993); la selección para aumentar la tasa de aparición de las hojas y la elongación del tallo, y el retraso de la senescencia podrían ayudar a mejorar el estatus hídrico de la planta bajo sequía (Bolaños *et al.*, 1993); un rápido desarrollo radical y raíces más profundas ayudan a un mayor acceso al agua en estratos más profundos del subsuelo, permitiendo a las plantas mantener su rendimiento en áreas de secano con limitaciones de humedad (Paez-García *et al.*, 2015).

El desarrollo del área foliar en la planta es crucial para la intercepción de luz y producción de materia seca, y puede tener una influencia substancial en el rendimiento; el área foliar es también importante determinante de la pérdida de agua (Hissene *et al.*, 2016). Reyes-Matamoros *et al.* (2014) determinaron que el área foliar disminuyó 23 y 60 % con tratamientos de 75 y 50 % de

humedad aprovechable del suelo en comparación con el testigo (100 % de humedad aprovechable) en condiciones de invernadero; Lanna *et al.* (2016) al evaluar la respuesta a sequía de dos genotipos de frijol contrastantes en su resistencia a sequía en invernadero en etapa de plántula, observaron que ambos genotipos tuvieron mayor área foliar en riego que en sequía. En plantas de haba sometidas a tres diferentes niveles de déficit hídrico en el suelo, se observó que después de un periodo de 46 días, el área foliar total de las plantas con riego fue el doble del área foliar de las plantas en sequía; se observó también que el área foliar total se relacionó lineal y significativamente con el potencial hídrico promedio de la planta; las diferencias entre tratamientos de humedad del suelo en el área foliar total fueron principalmente producidas por los mecanismos que determinan el tamaño de la hoja, más que por aquellos mecanismos asociados con la producción y el mantenimiento foliar, llámese producción foliar, exposición foliar y muerte de la hoja; la producción o exposición foliar no fue sensitiva al estrés hídrico antes de la floración; los valores de potencial hídrico para reducir las tasas de producción y exposición foliar fueron más negativos en el nivel de humedad más bajo; finalmente, observaron que la muerte de la hoja fue afectada por la sequía antes que la producción y exposición foliar (Karamanos, 1978). Es claro que la sequía afecta a los diferentes órganos aéreos y raíces de las plantas; este efecto en el rendimiento y sus componentes es mayor durante la floración y el periodo de formación de la semilla. El objetivo de este estudio fue evaluar la variabilidad genética en el crecimiento del área foliar y el sistema radical, rendimiento de semilla y sus componentes, fenología de la planta, y eficiencia transpiratoria en un grupo de variedades de frijol del tipo 'Flor de Mayo' y frijol negro del sur de Veracruz, en condiciones de riego y sequía en invernadero.

## **5.2 MATERIALES Y MÉTODOS**

### **5.2.1 Sitio experimental**

El presente estudio se llevó a cabo en condiciones de riego y sequía en tubos de PVC, en el Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Estado de México (19° 21' N, 98° 55' O y 2250 msnm), en el ciclo primavera-verano 2014. El clima predominante en esta localidad es templado del tipo Cb (w0) (w) (i') g con un promedio anual de precipitación y temperatura de 630 mm y 15.2 °C, respectivamente (García, 1973). Se utilizó un suelo de textura franco-arenoso (63 % arena,

27 % limo y 9.8 % arcilla), con capacidad de campo (CC) de 41.6 % y porcentaje de marchitamiento permanente (PMP) de 28.2 %.

### 5.2.2 Material genético

Se incluyeron ocho variedades comerciales de frijol del tipo ‘Flor de Mayo’, dos variedades con semilla de color negro (Negro Cotaxtla 91 y Negro Veracruz), y dos variedades criollas: Michoacán 128 (con características similares a las variedades del tipo ‘Flor de Mayo’) y Criollo San Andrés (con semilla de color negro). Todos los materiales genéticos utilizados son de hábito de crecimiento tipo III (Cuadro 5.1).

**Cuadro 5.1 Material genético utilizado en el experimento.**

Variedad	Año de liberación o colecta	Días a floración	Rendimiento de semilla (g m <sup>-2</sup> )
FM Anita <sup>%</sup>	2002	44-62	301 <sup>§</sup>
FM Corregidora <sup>%</sup>	2000	56	210 <sup>§</sup>
FM 2000 <sup>%</sup>	2001	45-50	210 <sup>§</sup>
Negro Veracruz <sup>#</sup>	2012	37	116 <sup>¥</sup>
Criollo San Andrés <sup>&amp;</sup>	2012	36	113 <sup>¥</sup>
Negro Cotaxtla 91 <sup>#</sup>	2012	37	110 <sup>¥</sup>
FM M38 <sup>%</sup>	1994	50-57	97 <sup>¥</sup>
Michoacán 128 <sup>€</sup>	1974	47-53	95 <sup>¥</sup>
FM Sol <sup>%</sup>	1996	45-51	87 <sup>¥</sup>
FM Bajío <sup>%</sup>	1989	45-47	83 <sup>¥</sup>
FM Noura <sup>%</sup>	2006	47-50	76 <sup>¥</sup>
FM RMC <sup>%</sup>	1981	44-55	75 <sup>¥</sup>

<sup>%</sup>Variedades mejoradas de frijol, INIFAP (Rosales-Serna *et al.*, 2004) para áreas de temporal y humedad favorable en el Altiplano Mexicano (tipo ‘Flor de Mayo’) y el <sup>#</sup>Estado de Veracruz; <sup>€</sup>Material criollo del Estado de Michoacán proporcionado por el Dr. Salvador Miranda Colín, Profesor Investigador, Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Genética, Colegio de Postgraduados; <sup>&</sup>Variedad criolla procedente del sur de Veracruz, colectada por el Ing. Aurelio Morales Rivera. <sup>¥</sup>Rendimiento de semilla en condiciones de secano, en Rodríguez Clara, Veracruz (Morales-Rivera *et al.*, 2015), <sup>§</sup>Rendimiento de semilla en promedio de riego y temporal en Montecillo, Texcoco, Estado de México (Barrios-Gómez *et al.*, 2010).

### 5.2.3 Diseño experimental y tratamientos de humedad edáfica

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones en riego (R) y tres repeticiones en sequía (S); la unidad experimental consistió de una planta individual por tubo de

PVC de 1 m de alto y 4" de diámetro. Se colocó una bolsa cilíndrica de plástico de las mismas dimensiones en cada tubo de PVC y se procedió a llenarla con suelo previamente desinfectado con Furadan® (Carbofuran) y Quatz IV® (Sulfosuccinato) a dosis de 1 ml por tubo; el suelo se llevó a CC y se determinó el peso inicial a CC (PICC) en cada unidad experimental. La siembra se realizó el 12 de abril de 2014, al utilizar una semilla (250 mg) de cada variedad por unidad experimental. Se aplicó una dosis de fertilización de 40-40-00 en la siembra y 40-00-00 a los 35 días después de la siembra.

En el tratamiento de riego (R) se pesaron los tubos cada tercer día, para calcular la cantidad de agua evapotranspirada ( $E_T$ ) y agregar el agua requerida, para llevar el suelo de cada tubo al PICC y mantener el nivel de humedad cercano a CC desde la siembra hasta la madurez fisiológica de las plantas; en el tratamiento de sequía (S) se procedió de igual manera que en R; se agregó agua a los tubos, para llevar al suelo a CC y se mantuvo el contenido hídrico edáfico cercano a CC hasta los 45 días después de la siembra (dds) (cerca de la etapa de inicio de floración); a partir de esta fecha se suspendió la aplicación de agua y sólo se registró el peso de los tubos hasta la madurez fisiológica. La cantidad de  $E_T$  (g de agua) en cada tubo se calculó como la diferencia entre el peso inicial del tubo a CC (kg) – peso del tubo en cada fecha de pesada (kg). La transpiración por planta ( $T$ ) se calculó como la diferencia entre la  $E_T$  – evaporación directa del suelo ( $E_S$ ) estimada en tubos testigo sin planta en cada pesada; la transpiración total acumulada se calculó al sumar la  $T$  obtenida en cada pesada desde la siembra hasta la madurez fisiológica. Las plantas se mantuvieron debajo de una cubierta de polietileno a una altura de 2.5 m, para evitar la caída de lluvia en el experimento y permitir que las plantas estuvieran expuestas a la temperatura ambiental. Se aplicó Nugor® (Dimetoato) a una dosis de 1 L ha<sup>-1</sup> a los 23 y 30 dds, para el control de mosquita blanca.

#### 5.2.4 Variables medidas

**Área foliar (AF, cm<sup>2</sup>);** se determinó el área (cm<sup>2</sup>) de cada hoja simple y trifoliolada completamente expandida en el vástago, y en las ramas en crecimiento de cada planta individual, al multiplicar el largo (cm) x ancho (cm) x 0.62, cada cinco días desde los 18 hasta los 88 dds.

**Días a floración (F);** se determinó cuando cada planta individual mostró flores abiertas.

**Días a madurez fisiológica (MF);** se determinó cuando el 90 % de las vainas en cada planta individual habían adquirido un color paja (López-Castañeda y Kohashi-Shibata, 1985).

**Vainas normales por planta (VN P<sup>-1</sup>);** se contó el número total de vainas normales en cada planta individual, al considerar como vaina normal aquella que tenía al menos una semilla normal con el tamaño y color característico de cada genotipo (López-Castañeda y Kohashi-Shibata, 1985).

**Semillas normales por planta (SN P<sup>-1</sup>);** se contó el número de semillas normales producidas en las vainas normales en cada planta individual.

**Rendimiento de semilla por planta (RS, g);** se determinó al pesar todas las semillas normales producidas por la planta.

**Biomasa aérea final (BMAF, g);** es la suma de la materia seca presente en la planta en la madurez fisiológica y el peso seco de todos los órganos vegetativos (peciolos, folíolos y ramas) y reproductores (botones, flores y vainas) que sufrieron abscisión durante el ciclo biológico de las plantas.

**Índice de cosecha modificado (ICm);** se calculó al dividir el rendimiento de semilla (RS) entre la biomasa aérea final (BMAF) [ICm= (RS/BMAF)\*100] (Kohashi-Shibata *et al.*, 1980).

**Longitud máxima de raíz (LMR, cm);** se determinó al medir la longitud total desde la región nodal hasta el ápice de la raíz más larga en todo el perfil de suelo.

**Biomasa de raíces (BMR, g);** se determinó al separar las raíces presentes en los estratos de suelo de 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 y 80-100 cm, y obtener el peso seco en una estufa (Marca RIOSSA) a una temperatura de 70 °C durante 48 h.

**Biomasa total de raíces (BMTR, g);** se calculó al sumar el peso seco de las raíces extraídas de los diferentes estratos del suelo.

**Biomasa total de la planta (BMT, g);** se obtuvo al sumar la BMAF y la biomasa total de raíces (BMTR) (BMT=BMAF+BMTR).

**Transpiración total por planta (T<sub>T</sub>, kg);** se calculó al sumar la transpiración determinada entre mediciones consecutivas durante el ciclo biológico de las plantas.

**Eficiencia transpiratoria para producir biomasa total de la planta (ET<sub>BMT</sub>, g de BMT/kg de H<sub>2</sub>O transpirada);** se calculó al dividir la biomasa total entre la cantidad de agua transpirada por la planta al final del ciclo biológico.

### 5.2.5 Análisis estadístico

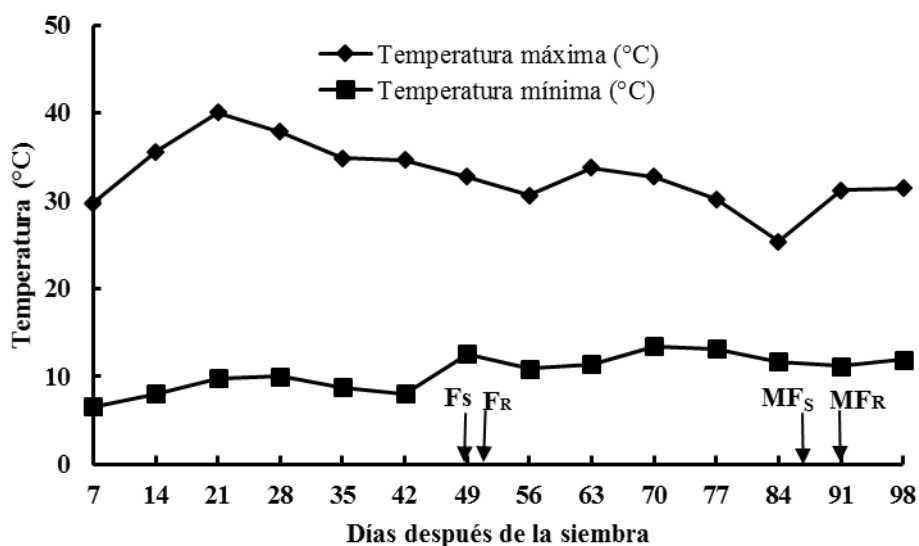
Se realizó un análisis de varianza para la comparación de los genotipos en cada experimento en forma individual (riego y sequía) y un análisis de varianza combinado de riego y sequía, para

determinar la respuesta de los genotipos en los diferentes ambientes de humedad del suelo (interacción genotipo x ambiente), al utilizar el programa SAS versión 9.4 para Windows (SAS, 2014). Se calculó la diferencia mínima significativa (DMS,  $P \leq 0.05$ ), para la comparación de medias.

## 5.3 RESULTADOS

### 5.3.1 Datos meteorológicos

Los datos de temperatura máxima y mínima del aire se registraron diariamente durante el ciclo de cultivo con un termómetro de columna de mercurio de máxima y mínima, marca Taylor (Figura 5.1). La temperatura máxima y mínima promedio durante el ciclo de las plantas fue 33 y 11 °C, respectivamente; la máxima varió entre 25 y 40 °C durante la mayor parte del ciclo biológico, con una tendencia a disminuir hacia la madurez fisiológica, mientras que la mínima varió entre 7 y 13 °C, con una tendencia a aumentar después de la floración (Figura 5.1).

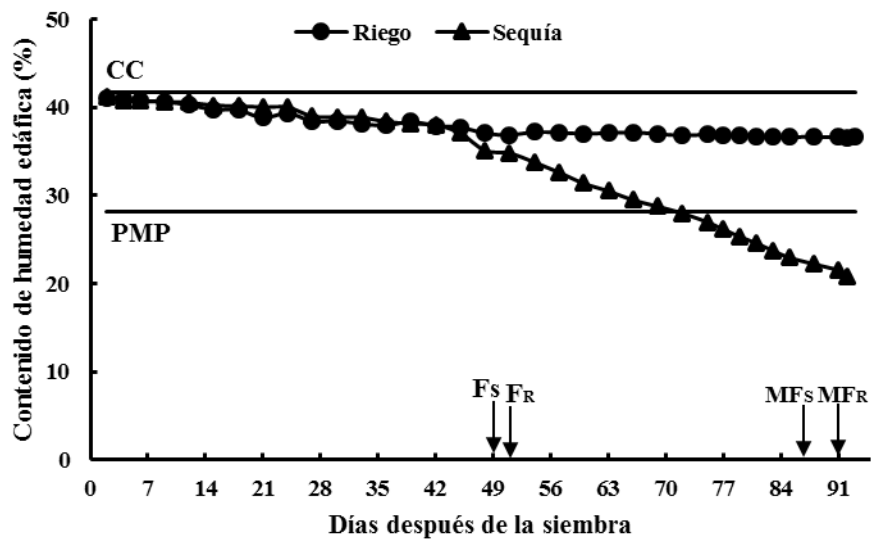


**Figura 5.35** Temperatura máxima y mínima del aire promedio semanal. Ciclo primavera-verano 2014. Montecillo, Texcoco, Estado de México. Fs = Número de días a floración en sequía; FR = Número de días a floración en riego; MF<sub>R</sub>= Número de días a madurez fisiológica en riego; MF<sub>S</sub>= Número de días a madurez fisiológica en sequía.



### 5.3.2 Contenido de humedad edáfica

El contenido hídrico del suelo en riego se mantuvo muy cerca de CC desde la siembra hasta la madurez fisiológica, sin que las plantas experimentaran estrés hídrico, mientras que en sequía la aplicación de agua se suspendió a los 45 dds y el contenido hídrico del suelo fue disminuyendo durante el ciclo biológico de las plantas, alcanzando un nivel muy inferior al PMP, durante el periodo de formación de la semilla y la etapa de madurez fisiológica (Figura 5.2).



**Figura 5.36** Contenido de humedad edáfica en riego y sequía. Ciclo primavera-verano 2014. Montecillo, Texcoco, Estado de México. CC= Capacidad de campo; PMP= Porcentaje de marchitamiento permanente; Fs = Número de días a floración en sequía; Fr = Número de días a floración en riego; MFR= Número de días a madurez fisiológica en riego; MFS= Número de días a madurez fisiológica en sequía.

### 5.3.3 Análisis estadístico

#### 5.3.3.1 Riego

El análisis estadístico de los datos detectó diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) entre variedades para el área foliar a los 28 y 33 dds, y diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) a los 18, 23, 38, 43, 48 y 53 dds (Cuadro 5.1A); diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) para rendimiento de semilla, biomasa aérea final, vainas normales planta<sup>-1</sup>, semillas normales planta<sup>-1</sup>, número de días a floración y madurez fisiológica, y diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) para el índice de

cosecha *modificado* (Cuadro 5.2A); diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) para biomasa de raíz en los estratos de 0-20, 20-40 y 40-60 cm, biomasa total de raíces, biomasa total de la planta (biomasa de raíces + biomasa aérea final), cociente raíz/parte aérea y longitud máxima de raíz (Cuadro 5.3A); diferencias ( $P \leq 0.01$ ) en eficiencia transpiratoria para biomasa total de la planta (Cuadro 5.4A). No se detectaron diferencias significativas entre variedades para el área foliar desde los 58 a los 93 dds (Cuadro 5.1A) y para la transpiración total por planta (Cuadro 5.4A).

### 5.3.3.2 Sequía

Se detectaron diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) entre variedades para el área foliar desde los 18 a los 28 dds, y diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) desde los 33 a los 48 dds (Cuadro 5.1A); diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) para la biomasa aérea final, vainas normales planta<sup>-1</sup>, semillas normales planta<sup>-1</sup>, índice de cosecha *modificado*, días a floración y madurez fisiológica, y diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) para rendimiento de semilla (Cuadro 5.2A); diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) para la biomasa total de raíces, biomasa total de la planta (biomasa de raíces + biomasa aérea final) y longitud máxima de raíz en el perfil del suelo, y diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) para biomasa de raíces en los estratos de 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 y 80-100 cm y cociente raíz/parte aérea (Cuadro 5.3A); diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) en la eficiencia transpiratoria para producir biomasa total de la planta (biomasa de raíces + biomasa aérea final) y transpiración total por planta (Cuadro 5.4A). No se detectaron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) entre variedades para área foliar desde 53 a 88 dds (Cuadro 5.1A).

### 5.3.3.3 Riego vs. Sequía

El análisis estadístico combinado de riego y sequía mostró diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) entre niveles de humedad del suelo para el área foliar a los 48 dds y desde los 58 hasta 68 dds, y diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) a los 53 dds y desde los 73 a los 88 dds (Cuadro 5.1A); diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) en rendimiento de semilla, biomasa aérea final, vainas normales planta<sup>-1</sup>, semillas normales planta<sup>-1</sup>, índice de cosecha *modificado*, días a floración y madurez fisiológica (Cuadro 5.2A); diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) para biomasa de raíces en los estratos de 0-20, 20-40 y 40-60 cm, biomasa total de raíces, biomasa total de la planta (biomasa de raíces + biomasa aérea final), cociente raíz/parte aérea y longitud máxima de raíz en el perfil del suelo, y diferencias ( $P \leq 0.05$ ) en la biomasa de raíces en el estrato de 60-80 cm (Cuadro 5.3A); diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) en la eficiencia transpiratoria para la biomasa

total de la planta y transpiración total (Cuadro 5.4A). No hubo diferencias significativas en el área foliar desde los 18 a 43 dds y a los 93 dds (Cuadro 5.1A).

#### **5.3.3.4 Interacción variedades x niveles de humedad del suelo**

El análisis estadístico para la diferencia riego – sequía detectó diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) entre genotipos para la biomasa aérea final, y diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) para el rendimiento de semilla, número de vainas normales planta<sup>-1</sup> y número de días a madurez fisiológica (Cuadro 5.2A); diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) para biomasa total de raíces, biomasa total de la planta (biomasa aérea final + biomasa de raíces) y longitud máxima de raíz en el perfil del suelo, y diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) para la biomasa de raíces en los estratos de 0-20 y 20-40 cm (Cuadro 5.3A); y diferencias altamente significativas ( $P \leq 0.01$ ) para la eficiencia transpiratoria para producir biomasa total de la planta (Cuadro 5.4A). No se detectaron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) para el número de semillas normales planta<sup>-1</sup>, índice de cosecha modificado y número de días a antesis (Cuadro 5.2A); para la biomasa de raíces en el estrato de 40-60 cm del suelo y cociente raíz/parte aérea (Cuadro 5.3A); y para la transpiración total por planta (Cuadro 5.4A).

### **5.3.4 Comparación de medias**

#### **5.3.4.1 Riego**

##### **5.3.4.1.1 Rendimiento de semilla y sus componentes, y fenología de la planta**

En riego, las variedades FM M38, FM Sol y FM RMC alcanzaron los mayores rendimientos de semilla; lo que estuvo acompañado de alta producción de biomasa aérea final, mayor índice de cosecha *modificado*, alargamiento del periodo de floración y madurez fisiológica; FM M38 además de presentar alto promedio en estos componentes del rendimiento y fenología; adicionalmente, tuvo elevado número de semillas planta<sup>-1</sup>; FM Sol también tuvo alto número de vainas normales planta<sup>-1</sup> (Cuadro 5.2). Asimismo, las variedades FM Anita, FM Noura, Negro Veracruz, Michoacán 128, FM Bajío y Negro Cotaxtla 91 tuvieron promedios de índice de cosecha *modificado* y número de vainas normales planta<sup>-1</sup>; índice de cosecha *modificado* y número de días a floración; índice de cosecha *modificado* y número de días a madurez fisiológica; número de vainas normales planta<sup>-1</sup>; índice de cosecha *modificado*; y número de días a floración, similares a los de las variedades sobresalientes FM M38, FM Sol y FM RMC (Cuadro 5.2).

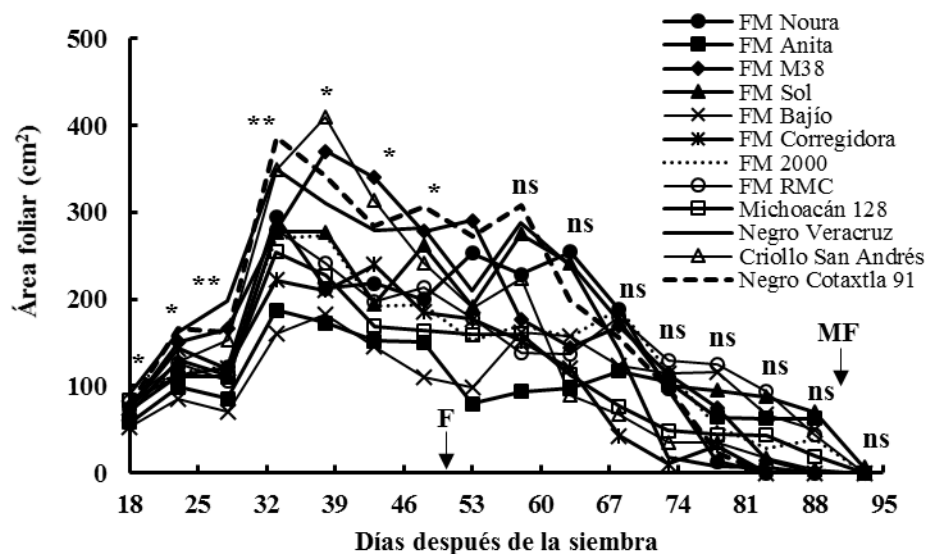
**Cuadro 5.2 Rendimiento de semilla y sus componentes, y fenología de la planta en riego. Ciclo primavera-verano 2014. Montecillo, Texcoco, Estado de México.**

Variedades	RS	BMAF	IC <sub>m</sub>	VN P <sup>-1</sup>	SN P <sup>-1</sup>	F	MF
FM M38	19	33	58	11	77	52	95
FM Sol	19	35	53	17	56	53	94
FM RMC	16	32	51	11	41	53	95
FM Anita	15	27	53	17	59	48	86
FM Noura	13	26	56	8	31	51	92
FM 2000	13	28	44	11	31	49	91
Negro Veracruz	14	26	54	10	46	49	93
Michoacán 128	12	25	46	19	57	50	91
FM Bajío	11	22	51	15	43	48	85
FM Corregidora	11	23	47	9	41	50	90
Negro Cotaxtla 91	10	22	40	13	58	51	90
Criollo San Andrés	10	23	42	13	57	50	92
<b>Media general</b>	<b>13</b>	<b>27</b>	<b>49</b>	<b>13</b>	<b>49</b>	<b>50</b>	<b>91</b>
<b>DMS(P&lt;0.05)</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>9</b>	<b>2</b>	<b>15</b>	<b>2</b>	<b>2</b>

RS = Rendimiento de semilla (g); BMAF = Biomasa aérea final (g); IC<sub>m</sub> = Índice de cosecha *modificado* (%); VN P<sup>-1</sup> = Vainas normales planta<sup>-1</sup>; SN P<sup>-1</sup> = Semillas normales planta<sup>-1</sup>; F = Número de días a floración; MF = Número de días a madurez fisiológica.

#### 5.3.4.1.2 Área foliar

En riego los datos promedio del área foliar durante el ciclo biológico de las plantas se presentan en el Cuadro del Apéndice (5.5A) y en la Figura 5.3. Se observó que las variedades FM M38, Negro Veracruz y Negro Cotaxtla 91 mantuvieron un área foliar mayor que las otras variedades entre los 18 y 53 dds; FM Sol, FM RMC, FM Noura, FM 2000, Michoacán 128, FM Corregidora y Criollo San Andrés, produjeron un área foliar similar a las variedades FM 38, Negro Veracruz y Negro Cotaxtla 91 entre los 23, 48 y 53 dds; a los 18 y 53 dds; a los 53 dds; a los 18 dds; a los 18 dds; a los 23, 43 y 53 dds; y desde los 38 a 53 dds, respectivamente (Figura 5.3).



**Figura 5.37** Área foliar durante el ciclo biológico en riego. Ciclo primavera-verano 2014. Montecillo, Texcoco, Estado de México. F= Número de días a floración; MF= Número de días a madurez fisiológica. \*\*( $P \leq 0.01$ ), \*( $P \leq 0.05$ ), ns= No significativo.

### 5.3.4.1.3 Biomasa total de raíces, biomasa total de la planta, cociente raíz/parte aérea y longitud máxima de raíz

En riego la mayor acumulación de materia seca en el sistema radical se observó en el estrato más cercano a la superficie (0-20 cm); el peso seco de raíces disminuyó en los estratos inferiores, al presentar su promedio más bajo en el estrato de 60-80 cm (Cuadro 5.3). La proporción de materia seca acumulada en la raíz representó el 5 % de la biomasa total de la planta y la longitud máxima de raíz fue de 56 cm en promedio de todos los genotipos (Cuadro 5.3). Las variedades FM RMC, Negro Veracruz, Negro Cotaxtla 91 y Criollo San Andrés produjeron mayor peso seco de raíz que las otras variedades en el estrato de 0-20 cm; FM RMC y Negro Veracruz también tuvieron mayor peso seco de raíz que las demás variedades en los estratos de 20-40 y 40-60 cm (Cuadro 5.3). Las variedades FM RMC y Negro Veracruz produjeron la mayor cantidad de biomasa total de raíz; FM RMC tuvo alta biomasa total de la planta y longitud máxima de raíz, mientras que Negro Veracruz tuvo alto cociente de raíz/parte aérea y longitud máxima de raíz; las variedades FM M38 y FM Sol, Criollo San Andrés, y FM Sol, FM 2000, Michoacán 128, Negro Cotaxtla 91 y Criollo San Andrés

tuvieron una biomasa total de la planta, cociente raíz/parte aérea, y longitud máxima de raíz similar a FM RMC, Negro Veracruz y FM RMC y Negro Veracruz, respectivamente (Cuadro 5.3).

**Cuadro 5.3 Biomasa de raíces en diferentes estratos del suelo, biomasa total de raíces, cociente raíz/parte aérea, longitud máxima de raíz y biomasa total de la planta en riego. Ciclo primavera-verano 2014. Montecillo, Texcoco, Estado de México.**

Variedades	Estrato del suelo				BMTR (g)	Raíz/parte aérea	LMR (cm)	BMT (g)
	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	60-80 cm				
FM M38	0.80	0.44	0.11	-	1.4	0.04	52	34.6
FM Sol	0.84	0.54	0.25	-	1.6	0.05	60	36.8
FM RMC	1.10	0.74	0.48	0.14	2.4	0.07	63	34.3
FM Anita	0.54	0.40	0.20	-	1.1	0.04	62	27.9
FM Noura	0.50	0.26	0.15	-	0.9	0.04	61	26.6
FM 2000	0.86	0.51	0.18	0.06	1.6	0.06	62	29.5
Negro Veracruz	1.20	0.67	0.45	-	2.3	0.09	53	28.3
Michoacán 128	0.55	0.40	0.17	0.13	1.2	0.05	61	26.0
FM Bajío	0.56	0.31	0.22	-	1.1	0.05	43	23.2
FM Corregidora	0.66	0.32	0.15	-	1.1	0.05	46	24.2
Negro Cotaxtla 91	0.91	0.42	0.05	-	1.4	0.06	60	23.3
Criollo San Andrés	0.97	0.51	0.28	0.05	1.8	0.08	63	24.3
<b>Media general</b>	<b>0.79</b>	<b>0.46</b>	<b>0.22</b>	<b>0.09</b>	<b>1.5</b>	<b>0.06</b>	<b>56</b>	<b>28.0</b>
DMS(P≤0.05)	0.29	0.11	0.17	-	0.4	0.01	7	4.2

BMTR = Biomasa total de raíces; LMR = Longitud máxima de raíz; BMT = Biomasa total de la planta.

La variación en peso seco de raíz en los diferentes estratos del suelo fue substancial; las mayores diferencias se observaron en los estratos de 0-60 cm, siendo las variedades FM RMC y Negro Veracruz, las que tuvieron mayor peso seco de raíz en los estratos de 0-60 cm; Negro Cotaxtla 91 y Criollo San Andrés tuvieron un peso seco de raíz similar a FM RMC y Negro Veracruz en el estrato de 0-20 cm (Figura 5.4). Las variedades FM RMC, FM 2000, Michoacán 128 y Criollo San Andrés, fueron las únicas que produjeron biomasa de raíces en el estrato de 60-80 cm (Figura 5.4).

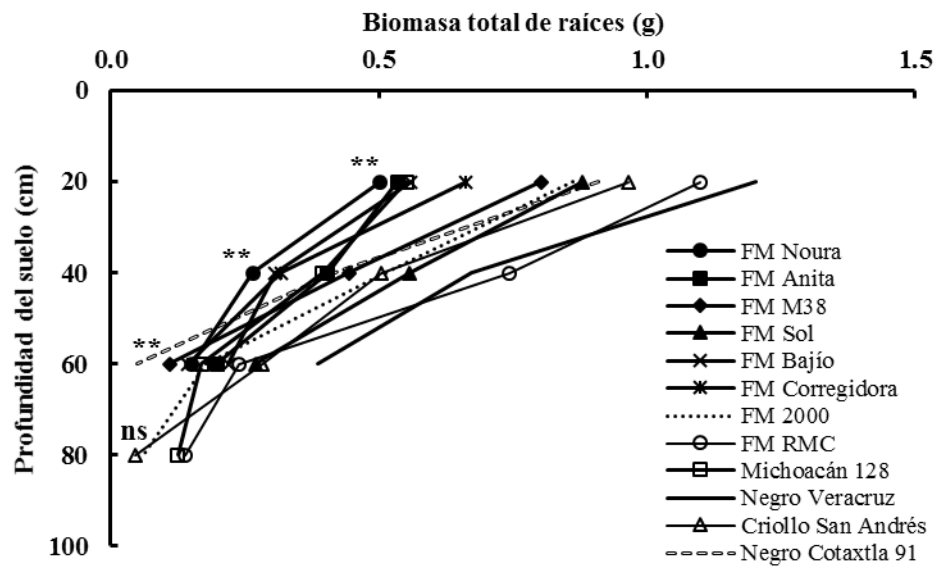


Figura 5.38 Biomasa total de raíces en los estratos de 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 y 80-100 cm del suelo en riego. Ciclo primavera-verano 2014. Montecillo, Texcoco, Estado de México. \*\* ( $P \leq 0.01$ ), \* ( $P \leq 0.05$ ), ns.= No significativo.

#### 5.3.4.1.4 Transpiración total y eficiencia transpiratoria de la planta

En riego las variedades FM M38, FM Sol, Negro Veracruz y Negro Cotaxtla 91 presentaron en promedio mayor eficiencia transpiratoria para biomasa total de la planta completa (Cuadro 5.4). No se observaron diferencias significativas entre variedades para la transpiración total por planta.

**Cuadro 5.4 Eficiencia transpiratoria para producir biomasa total ( $ET_{BMT}$ ) y transpiración total ( $T_T$ ) de la planta en riego. Ciclo primavera-verano 2014. Montecillo, Texcoco, Estado de México.**

Variedades	$ET_{BMT}$ ( $g\ k^{-1}$ )	$T_T$ (kg)
FM M38	4.1	8.6
FM Sol	3.9	9.2
FM RMC	3.8	9.1
FM Anita	3.3	8.5
FM Noura	3.5	7.7
FM 2000	3.6	8.4
Negro Veracruz	4.5	9.2
Michoacán 128	3.0	8.7
FM Bajío	3.1	7.7
FM Corregidora	2.9	9.3
Negro Cotaxtla 91	4.1	7.7
Criollo San Andrés	2.8	8.7
<b>Media general</b>	<b>3.5</b>	<b>8.5</b>
DMS( $P \leq 0.05$ )	0.6	1.6

### 5.3.4.2 Sequía

#### 5.3.4.2.1 Rendimiento de semilla y sus componentes, y fenología de la planta

En sequía las variedades FM M38, FM Sol, FM Anita, FM Noura, FM 2000, Michoacán 128, FM Bajío y FM Corregidora; FM M38, FM Sol, FM RMC, FM Anita, FM Noura, Michoacán 128 y FM Corregidora; FM M38; FM Anita, Michoacán 128, FM Bajío y Criollo San Andrés; Michoacán 128, FM Bajío, Negro Cotaxtla 91 y Criollo San Andrés produjeron mayor rendimiento de semilla, biomasa aérea final, índice de cosecha *modificado*, vainas normales planta<sup>-1</sup> y semillas normales planta<sup>-1</sup>, que las otras variedades (Cuadro 5.5). Las variedades FM M38 y FM RMC; y FM M38, FM Sol, FM RMC, FM Noura y Negro Cotaxtla 91 tuvieron mayor número de días a floración y madurez fisiológica que las demás variedades (Cuadro 5.5).



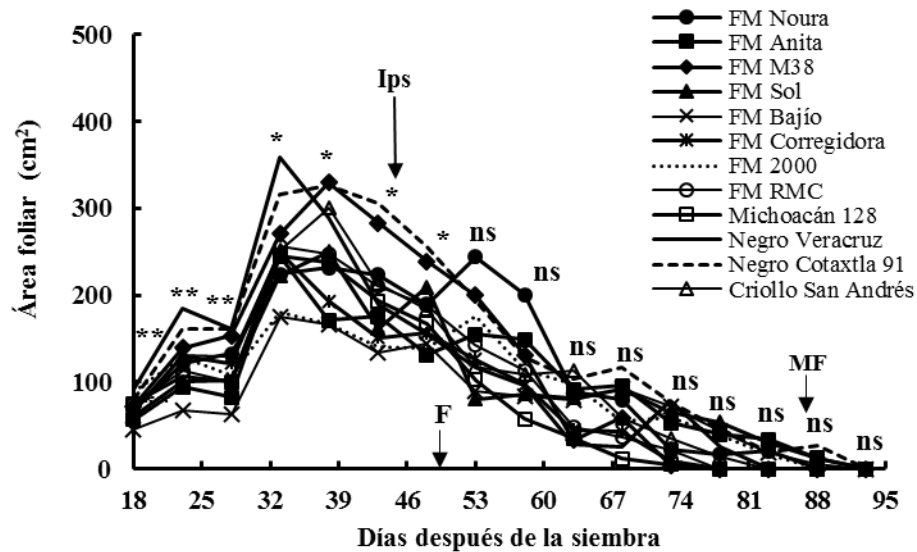
**Cuadro 5.5 Rendimiento de semilla y sus componentes, y fenología de la planta en sequía. Ciclo primavera-verano 2014. Montecillo, Texcoco, Estado de México.**

Variedades	RS	BMAF	IC <sub>m</sub>	VN P <sup>-1</sup>	SN P <sup>-1</sup>	F	MF
FM M38	10	20	52	7	31	52	91
FM Sol	10	21	43	8	23	50	89
FM RMC	7	21	33	7	23	52	92
FM Anita	8	18	47	11	27	47	86
FM Noura	8	18	39	6	24	51	92
FM 2000	8	16	45	7	16	46	87
Negro Veracruz	6	17	40	6	24	48	86
Michoacán 128	8	20	36	11	38	50	83
FM Bajío	8	17	53	12	36	47	83
FM Corregidora	8	18	39	7	23	49	86
Negro Cotaxtla 91	7	17	41	7	38	50	90
Criollo San Andrés	6	13	44	11	40	48	87
<b>Media general</b>	<b>8</b>	<b>18</b>	<b>43</b>	<b>8</b>	<b>28</b>	<b>49</b>	<b>86</b>
DMS(P≤0.05)	2	3	4	2	7	2	3

RS = Rendimiento de semilla (g); BMAF = Biomasa aérea final (g); IC<sub>m</sub> = Índice de cosecha *modificado* (%); VN P<sup>-1</sup> = Vainas normales planta<sup>-1</sup>; SN P<sup>-1</sup> = Semillas normales planta<sup>-1</sup>; F = Número de días a floración; MF = Número de días a madurez fisiológica.

#### 5.3.4.2.2 Área foliar

En sequía los datos promedio del área foliar se presentan en el Cuadro del apéndice (5.6A) y Figura 5.5. Se determinó que la variedad Negro Cotaxtla 91 mantuvo un área foliar por planta mayor que las demás variedades entre los 18 y 48 dds; también los cultivares FM M38, FM Sol, FM RMC, FM Noura, FM 2000, Negro Veracruz, Michoacán 128 y Criollo San Andrés tuvieron un área foliar similar a Negro Cotaxtla 91 entre los 28 y 48 dds; a los 38 y 48 dds; a los 38 y 48 dds; a los 28 y 48 dds; a los 18 dds; desde los 18 hasta 38 dds; a los 38 dds; y a los 48 dds (Figura 5.5).



**Figura 5.39** Área foliar durante el ciclo biológico en sequía. Ciclo primavera-verano 2014. Montecillo, Texcoco, Estado de México. F= Número de días a floración; MF= Número de días a madurez fisiológica; Ips = Inicio del periodo de sequía. \*\*( $P \leq 0.01$ ), \*( $P \leq 0.05$ ), ns= No significativo.

### 5.3.4.2.3 Biomasa total de raíces, biomasa total de la planta, cociente raíz/parte aérea y longitud máxima de raíz

En sequía al igual que en riego, la mayor acumulación de materia seca de la raíz se observó en el estrato más cercano a la superficie del suelo (0-20 cm) con una reducción del peso seco de raíz en los estratos inferiores del suelo (Cuadro 5.6); otras diferencias entre riego y sequía fueron que el peso seco de raíz en los diferentes estratos fue mayor en sequía que en riego; en sequía se produjeron raíces en el estrato de 80-100 cm a diferencia de riego que en este estrato del suelo no produjo raíces y que el promedio de la longitud máxima de la raíz fue mayor en sequía (83 cm) que en riego (56 cm). La proporción de materia seca acumulada en la raíz representó el 15 % de la biomasa total de la planta (Cuadro 5.6). Las variedades FM M38, FM Sol, FM RMC y FM 2000; FM M38, FM RMC, FM Anita, Negro Cotaxtla 91 y Criollo San Andrés; Criollo San Andrés; FM M38, FM Anita, FM Noura FM 2000, Negro Veracruz y Criollo san Andrés; y Negro Cotaxtla 91 tuvieron mayor peso seco de raíz que las otras variedades en los estratos de 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 y 80-100 cm, respectivamente. Las variedades FM M38, FM Sol, FM RMC, FM 2000, Negro Cotaxtla 91 y Criollo San Andrés; FM M38, FM Sol y FM RMC; FM 2000 y Criollo San Andrés;

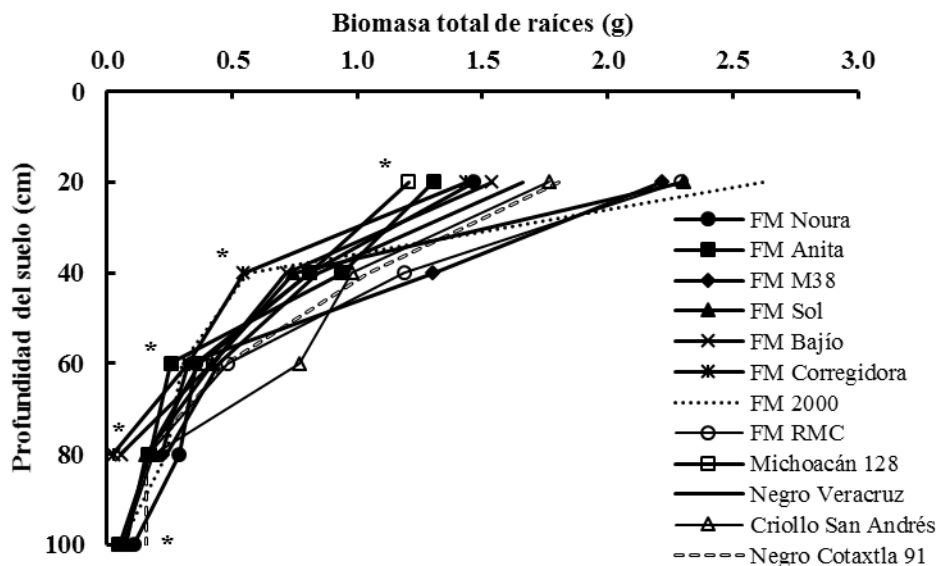
y FM Sol, FM Anita, FM Noura, FM 2000, Negro Cotaxtla 91 y Criollo San Andrés tuvieron mayor biomasa total de raíces, biomasa total de la planta, cociente raíz/parte aérea y longitud máxima de raíz que las demás variedades, respectivamente (Cuadro 5.6).

**Cuadro 5.6 Biomasa de raíces en diferentes estratos del suelo, biomasa total de raíces, cociente raíz/parte aérea, longitud máxima de raíz y biomasa total de la planta en sequía. Ciclo primavera-verano 2014. Montecillo, Texcoco, Estado de México.**

Variedades	Estrato del suelo					BMTR (g)	Raíz/parte aérea	LMR (cm)	BMT (g)
	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	60-80 cm	80-100 cm				
FM M38	2.22	1.30	0.33	0.22	-	4.1	0.21	78	23.9
FM Sol	2.30	0.74	0.42	0.16	0.06	3.7	0.17	93	25.2
FM RMC	2.30	1.19	0.24	0.16	-	3.9	0.19	66	24.9
FM Anita	1.30	0.94	0.25	0.17	0.02	2.7	0.15	95	20.7
FM Noura	1.46	0.81	0.36	0.29	0.09	3.0	0.16	97	21.4
FM 2000	2.62	0.56	0.30	0.24	0.04	3.7	0.24	92	19.4
Negro Veracruz	1.66	0.84	0.39	0.24	-	3.1	0.18	63	20.6
Michoacán 128	1.20	0.81	0.37	0.16	-	2.6	0.13	66	22.1
FM Bajío	1.54	0.72	0.42	0.06	-	2.7	0.16	72	19.4
FM Corregidora	1.44	0.54	0.33	0.03	-	2.3	0.13	74	20.8
Negro Cotaxtla 91	1.81	1.04	0.48	0.15	0.16	3.5	0.2	92	20.9
Criollo San Andrés	1.76	0.98	0.77	0.19	0.04	3.7	0.29	92	17.1
<b>Media general</b>	<b>1.80</b>	<b>0.87</b>	<b>0.39</b>	<b>0.17</b>	<b>0.06</b>	<b>3.2</b>	<b>0.18</b>	<b>83</b>	<b>21.3</b>
DMS(P≤0.05)	0.65	0.39	0.27	0.12	0.04	0.8	0.07	7	2.2

BMTR = Biomasa total de raíces; LMR = Longitud máxima de raíz; BMT = Biomasa total de la planta.

La variación en peso seco de raíz en los diferentes estratos del suelo fue muy amplia, sobre todo en los estratos de 0-80 cm; FM M38 y Criollo San Andrés tendieron a producir mayor peso seco de raíz en los estratos de 0-80 cm (Figura 5.6). Las variedades FM Sol, FM Anita, FM Noura, FM 2000, Negro Cotaxtla 91 y Criollo San Andrés produjeron raíces en el estrato de 80-100 cm (Figura 5.6).



**Figura 5.40** Biomasa de raíces en los estratos de 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 y 80-100 cm del suelo en sequía. Ciclo primavera-verano 2014. Montecillo, Texcoco, Estado de México. \*\* ( $P \leq 0.01$ ), \* ( $P \leq 0.05$ ).

#### 5.3.4.2.4 Transpiración total y eficiencia transpiratoria de la planta

Las variedades FM RMC, Negro Veracruz, FM Corregidora y Negro Cotaxtla 91 tuvieron mayor eficiencia transpiratoria para producir biomasa total de la planta que las demás variedades (Cuadro 5.7). Fue notorio observar que estas variedades presentaron alta eficiencia transpiratoria y baja transpiración total por planta (Cuadro 5.7).

**Cuadro 5.7 Eficiencia transpiratoria para producir biomasa total (ET<sub>BMT</sub>) y transpiración total (T<sub>T</sub>) de la planta en sequía. Ciclo primavera-verano 2014. Montecillo, Texcoco, Estado de México.**

Variedades	ET <sub>BMT</sub> (g kg <sup>-1</sup> )	T <sub>T</sub> (kg)
FM M38	7.1	3.4
FM Sol	7.5	3.4
FM RMC	10.6	2.3
FM Anita	6.1	3.4
FM Noura	6.7	3.4
FM 2000	7.3	2.7
Negro Veracruz	11.3	2.3
Michoacán 128	7.6	3.0
FM Bajío	6.1	3.3
FM Corregidora	13.2	1.6
Negro Cotaxtla 91	11.7	1.6
Criollo San Andrés	5.9	3.0
<b>Media general</b>	<b>8.3</b>	<b>2.8</b>
DMS(P≤0.05)	1.9	0.8

### 5.3.4.3 Riego vs. Sequía

#### 5.3.4.3.1 Rendimiento de semilla y sus componentes, y fenología de la planta

Las deficiencias hídricas del suelo tuvieron un efecto diferencial entre el rendimiento de semilla y sus componentes; la sequía redujo el rendimiento de semilla, biomasa aérea final, índice de cosecha modificado, número de vainas normales planta<sup>-1</sup> y semillas normales planta<sup>-1</sup> 38, 33, 12, 38 y 43 % con respecto a riego; el déficit hídrico edáfico también disminuyó el número de días a antesis y madurez fisiológica uno y un día, respectivamente (Cuadro 5.8).

**Cuadro 5.8 Rendimiento de semilla y sus componentes, y fenología de la planta en promedio de variedades para riego y sequía. Ciclo primavera-verano 2014. Montecillo, Texcoco, Estado de México.**

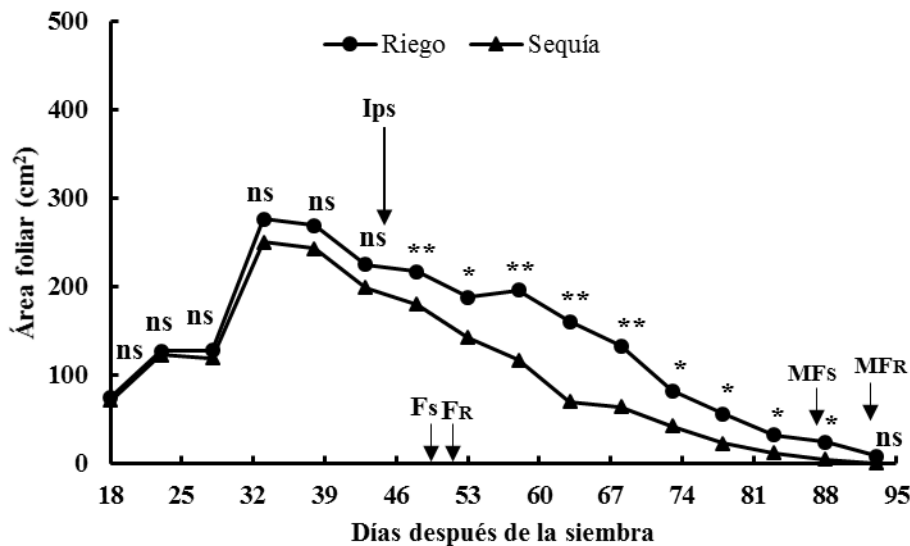
Niveles de humedad	RS	BMAF	IC <sub>m</sub>	VN P <sup>-1</sup>	SN P <sup>-1</sup>	F	MF
Riego	13	27	49	13	49	50	91
Sequía	8	18	43	8	28	49	86
<b>DMS(P≤0.05)</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>0.5</b>	<b>0.8</b>

RS = Rendimiento de semilla (g); BMAF = Biomasa aérea final (g); IC<sub>m</sub> = Índice de cosecha *modificado* (%); VN P<sup>-1</sup> = Vainas normales planta<sup>-1</sup>; SN P<sup>-1</sup> = Semillas normales planta<sup>-1</sup>; F = Número de días a floración; MF = Número de días a madurez fisiológica.

### 5.3.4.3.2 Área foliar

Los datos promedio de variedades para el área foliar obtenidos durante el ciclo biológico en riego y sequía se presentan en el Cuadro del Apéndice (5.7A) y en la Figura 5.7.

El área foliar por planta en riego fue similar al área foliar en sequía durante la etapa vegetativa desde los 18 a los 43 dds; sin embargo, a partir de los 48 dds, el área foliar empezó a declinar hasta la madurez fisiológica por efecto del déficit hídrico, el cual se inició con la suspensión de agua en el tratamiento de sequía a los 45 dds (Figura 5.7). En sequía la floración y madurez fisiológica (F=49 y MF=86 dds) ocurrieron antes que en riego (F=50 y MF=91 dds); estas diferencias en los procesos fenológicos de las plantas coincidieron con el periodo en el que el déficit hídrico disminuyó el área foliar de la planta en sequía (Figura 5.7).



**Figura 5.41** Área foliar durante el ciclo biológico en riego y sequía. Ciclo primavera-verano 2014. Montecillo, Texcoco, Estado de México. Fs= Número de días a floración en sequía; FR = Número de días a floración en riego; MFs = Madurez fisiológica en sequía; MFR = Madurez fisiológica en riego; Ips = Inicio del periodo de sequía. \*\*( $P \leq 0.01$ ), \*( $P \leq 0.05$ ), ns= No significativo.

### 5.3.4.3.3 Biomasa total de raíces, biomasa total de la planta, cociente raíz/parte aérea y longitud máxima de raíz

En riego la biomasa total de la planta fue 25 % mayor que en sequía, mientras que la biomasa total de raíces en sequía fue 113 % mayor que en riego; la diferencia en la asignación de materia

seca en sequía a la raíz, se reflejó en el cociente raíz/parte aérea que en condiciones de déficit hídrico (0.18) fue tres veces mayor que en riego (0.06) (Cuadro 5.9).

**Cuadro 5.9 Biomasa de raíces en diferentes estratos del suelo, biomasa total de raíces, cociente raíz/parte aérea, longitud máxima de raíz y biomasa total de la planta en promedio de variedades para riego y sequía. Ciclo primavera-verano 2014. Montecillo, Texcoco, Estado de México.**

Niveles de humedad	Estrato del suelo					BMTR (g)	Raíz/parte aérea	LMR (cm)	BMT (g)
	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	60-80 cm	80-100 cm				
Riego	0.79	0.46	0.22	0.09	-	1.5	0.06	56	28
Sequía	1.80	0.87	0.39	0.17	0.06	3.2	0.18	83	21
DMS(P≤0.05)	0.15	0.08	0.07	0.08	-	0.2	0.01	2	1

BMTR = Biomasa total de raíces; LMR = Longitud máxima de raíz; BMT = Biomasa total de la planta.

La mayor proporción de la biomasa de raíces se concentró en el estrato más cercano a la superficie del suelo (0-20 cm) tanto en riego (47 %) como en sequía (44 %) (Cuadro 5.9); fue interesante observar que en sequía las plantas produjeron biomasa de raíces en el estrato de 80-100 cm, a diferencia de riego (Figura 5.8) y que esta característica estuvo relacionada con una mayor profundidad de raíz o longitud máxima de raíz alcanzada en el perfil del suelo, que en sequía fue 27 cm mayor que en riego (Cuadro 5.9).

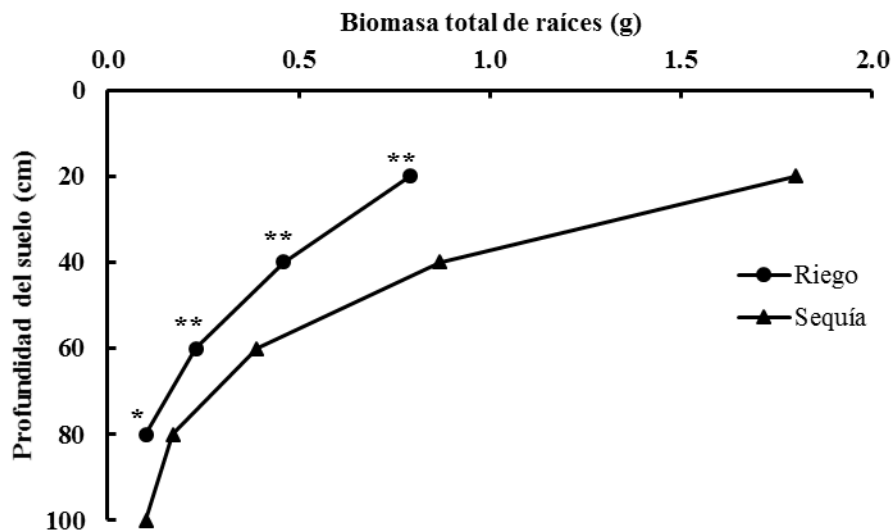


Figura 5.42 Biomasa de raíces en los estratos de 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 y 80-100 cm del suelo en riego y sequía. Ciclo primavera-verano 2014. Montecillo, Texcoco, Estado de México. \*\* ( $P \leq 0.01$ ), \* ( $P \leq 0.05$ ).

#### 5.3.4.3.4 Transpiración total y eficiencia transpiratoria de la planta

La transpiración total por planta en riego (8.5 kg de agua) fue 3 veces mayor que en sequía (2.8 kg de agua); no obstante, estas diferencias en la cantidad de agua utilizada para la transpiración, se determinó que las plantas fueron más eficientes para producir biomasa de la planta completa en condiciones de déficit hídrico que en riego (Cuadro 5.10).

**Cuadro 5.10** Eficiencia transpiratoria para producir biomasa total ( $ET_{BMT}$ ) y transpiración total ( $T_T$ ) de la planta en promedio de variedades para riego y sequía. Ciclo primavera-verano 2014. Montecillo, Texcoco, Estado de México.

Niveles de humedad	$ET_{BMT}$	$T_T$
Riego	3.5	8.5
Sequía	8.3	2.8
DMS( $P \leq 0.05$ )	0.4	0.3



### 5.3.4.4 Interacción variedades x niveles de humedad del suelo (Diferencia riego – sequía)

#### 5.3.4.4.1 Rendimiento de semilla y sus componentes, y fenología de la planta

En el presente estudio, la interacción variedades x niveles de humedad edáfica se analizó en términos de la reducción del rendimiento y sus componentes, al pasar del tratamiento de humedad edáfica favorable (riego) al tratamiento de humedad desfavorable (sequía). Se observó que las variedades FM M38, FM Sol, FM RMC, FM Anita, FM Noura y Negro Veracruz; FM M38, FM Sol, FM RMC, FM Anita, FM 2000, Negro Veracruz y Criollo San Andrés; FM Sol, FM Anita, FM 2000 y Michoacán 128; y Negro Veracruz, Michoacán 128, FM Corregidora y Criollo San Andrés mostraron mayor reducción del rendimiento de semilla, biomasa aérea final, vainas normales planta<sup>-1</sup> y madurez fisiológica al pasar de riego a sequía, respectivamente (Cuadro 5.11). Cabe señalar que las variedades FM M38, FM Sol y FM RMC produjeron el más alto rendimiento de semilla en promedio de riego y sequía, y tuvieron buen comportamiento en riego y sólo, las variedades FM M38 y FM Sol tuvieron alto rendimiento en sequía.

**Cuadro 5.11 Diferencia riego – sequía para rendimiento de semilla y sus componentes, y fenología de la planta. Ciclo primavera-verano 2014. Montecillo, Texcoco, Estado de México.**

Variedades	RS	BMAF	VN P <sup>-1</sup>	MF
FM M38	8	13	4	4
FM Sol	9	13	9	4
FM RMC	10	11	4	3
FM Anita	7	9	7	4
FM Noura	6	7	2	2
FM 2000	5	12	5	4
Negro Veracruz	7	9	4	7
Michoacán 128	4	6	9	8
FM Bajío	3	5	3	3
FM Corregidora	3	5	1	5
Negro Cotaxtla 91	3	5	4	1
Criollo San Andrés	4	9	3	5
<b>Media general</b>	<b>6</b>	<b>9</b>	<b>4</b>	<b>4</b>
DMS(P≤0.05)	4	4	4	3

Diferencia riego – sequía para el RS = Rendimiento de semilla (g); BMAF = Biomasa aérea final (g); VN P<sup>-1</sup> = Vainas normales planta<sup>-1</sup>; MF = Número de días a madurez fisiológica.

#### **5.3.4.4.2 Biomasa total de raíces, biomasa total de la planta, cociente raíz/parte aérea y longitud máxima de raíz**

La diferencia riego – sequía calculada para la biomasa de raíces en los diferentes estratos del suelo, la longitud máxima de raíz y biomasa total por planta mostró que la sequía indujo a una mayor acumulación de biomasa de raíces en los diferentes estratos del suelo con respecto a riego; el mayor aumento se registró en los estratos de 0-20 y 20-40 cm; las variedades FM M38, FM Sol, FM RMC y FM 2000 tuvieron mayor aumento de la biomasa de raíces en sequía en el estrato de 0-20 cm y las variedades FM M38, FM Anita, FM Noura, Negro Cotaxtla 91 y Criollo San Andrés mostraron mayor aumento en la biomasa de raíces en sequía en el estrato de 20-40 cm (Cuadro 5.12). La biomasa total de raíces también aumentó con la sequía; las variedades FM M38, FM Noura, FM 2000, Negro Cotaxtla 91 y Criollo San Andrés mostraron mayor aumento en la biomasa total de raíces que las demás variedades (Cuadro 5.12). La sequía aumentó la longitud máxima de raíz; las variedades FM M38, FM Sol, FM Anita, FM Noura, FM 2000, FM Bajío, FM Corregidora, Negro Cotaxtla 91 y Criollo San Andrés, mostraron mayor aumento en la longitud máxima de raíz (Cuadro 5.12). La sequía disminuyó la biomasa total de la planta (biomasa total de raíces + biomasa aérea final) en todos los genotipos; las variedades FM M38, FM Sol, FM RMC, FM Anita, FM 2000, Negro Veracruz y Criollo San Andrés tuvieron mayor reducción en la biomasa total que las otras variedades (Cuadro 5.12).

**Cuadro 5.12 Diferencia riego – sequía para biomasa de raíces en diferentes estratos del suelo, biomasa total de raíces (BMTR), longitud máxima de raíz (MLR) y biomasa total de la planta (BMT). Ciclo primavera-verano 2014. Montecillo, Texcoco, Estado de México.**

Variedades	Estrato del suelo		BMTR (g)	LMR (cm)	BMT (g)
	0-20 cm	20-40 cm			
FM M38	1.4	0.9	2.7	27	11
FM Sol	1.5	0.1	1.9	32	11
FM RMC	1.2	0.4	1.5	3	9
FM Anita	0.8	0.5	1.5	36	7
FM Noura	1.0	0.5	2.1	36	5
FM 2000	1.8	0.1	2.2	28	10
Negro Veracruz	0.5	0.2	0.8	13	8
Michoacán 128	0.7	0.4	1.4	8	5
FM Bajío	1.0	0.4	1.6	30	4
FM Corregidora	0.8	0.2	1.2	28	3
Negro Cotaxtla 91	0.9	0.6	2.1	38	2
Criollo San Andrés	0.8	0.5	2.0	27	7
<b>Media general</b>	<b>1.0</b>	<b>0.4</b>	<b>1.7</b>	<b>27</b>	<b>7</b>
DMS(P≤0.05)	0.7	0.4	0.7	11	4

#### 5.3.4.4.3 Transpiración total y eficiencia transpiratoria de la planta

La variedad FM Corregidora mostró mayor aumento en la eficiencia transpiratoria para producir biomasa total de la planta que las otras variedades (Cuadro 5.13).

**Cuadro 5.13 Diferencia riego – sequía para la eficiencia transpiratoria para la biomasa total de la planta. Ciclo primavera-verano 2014. Montecillo, Texcoco, Estado de México.**

Variedades	ET <sub>BMT</sub> (g kg <sup>-1</sup> )
FM M38	3.0
FM Sol	4.3
FM RMC	6.9
FM Anita	2.8
FM Noura	2.6
FM 2000	3.8
Negro Veracruz	6.8
Michoacán 128	4.6
FM Bajío	3.0
FM Corregidora	10.3
Negro Cotaxtla 91	7.6
Criollo San Andrés	3.1
<b>Media general</b>	<b>4.8</b>
DMS(P≤0.05)	2.1

#### **5.3.4.5 Relación entre el rendimiento de semilla y sus componentes, y fenología de la planta**

La diferencia riego – sequía para el rendimiento de semilla se relacionó positiva y significativamente con la diferencia riego – sequía para la biomasa aérea final y la diferencia riego – sequía para la biomasa aérea final se relacionó positiva y significativamente con la diferencia riego – sequía para el número de semillas normales planta<sup>-1</sup>; la diferencia riego – sequía para rendimiento de semilla no tuvo correlación significativa con la diferencia riego – sequía, para los otros componentes del rendimiento y fenología de la planta (Cuadro 5.14).

**Cuadro 5.14 Coeficientes de correlación simple entre la diferencia riego – sequía para el rendimiento de semilla y la diferencia riego – sequía para los componentes del rendimiento y la fenología de la planta. Ciclo primavera-verano 2014. Montecillo, Texcoco, Estado de México.**

	RS	BMAF	IC <sub>m</sub>	VN P <sup>-1</sup>	SN P <sup>-1</sup>	F	MF
RS	-	0.79**	0.46ns	0.33ns	0.48ns	0.02ns	0.01ns
BMAF		-	0.15ns	0.34ns	0.55*	0.33ns	0.10ns
IC <sub>m</sub>			-	-0.05ns	-0.06ns	0.10ns	-0.05ns
VN P <sup>-1</sup>				-	0.47ns	0.25ns	0.37ns
SN P <sup>-1</sup>					-	0.35ns	0.17ns
F						-	0.27ns
MF							-

RS = Rendimiento de semilla (g); BMAF = Biomasa aérea final (g); IC<sub>m</sub> = Índice de cosecha *modificado* (%); VN P<sup>-1</sup> = Vainas normales planta<sup>-1</sup>; SN P<sup>-1</sup> = Semillas normales planta<sup>-1</sup>; F = Número de días a floración; MF = Número de días a madurez fisiológica. \*(P≤0.05); \*\*(P≤0.01); ns = No significativo.

## 5.4 DISCUSIÓN

### 5.4.1 Temperatura y contenido hídrico edáfico

La variación en la temperatura máxima (25-40 °C) y mínima (7-13 °C) durante el experimento fue muy amplia; la temperatura mínima en la etapa de emergencia de las plántulas fue inferior a la temperatura base (8 °C) del frijol (Barrios-Gómez y López-Castañeda, 2009) y tendió a incrementarse hacia el final del ciclo del cultivo; la temperatura máxima generalmente fue mayor que la temperatura óptima para el desarrollo del frijol común (24 °C) y alcanzó valores superiores a la temperatura máxima (34.1 °C) (Ferreira *et al.*, 1997), al inicio del ciclo del cultivo, manteniéndose cercana a 31 °C entre la anthesis y la madurez fisiológica.

El contenido de humedad en el suelo en el tratamiento de sequía fue similar al del tratamiento de riego hasta la etapa de inicio de floración, posteriormente, en el tratamiento de sequía la humedad edáfica fue disminuyendo hasta niveles inferiores al punto de marchitamiento permanente, coincidiendo esta disminución con la etapa de formación del rendimiento de semilla, etapa considerada como la más sensitiva a la sequía en frijol (Acosta-Gallegos y Kohashi-Shibata, 1989; Martínez *et al.*, 2007).

## 5.4.2 Riego

### 5.4.2.1 Rendimiento de semilla y sus componentes, y fenología de la planta

El rendimiento promedio de semilla de todos los genotipos en riego fue similar al rendimiento obtenido en frijol del tipo ‘Flor de Junio’ en riego en invernadero en Cieneguillas, Zacatecas, México (Acosta-Díaz *et al.*, 2007) y en invernadero con riego en Montecillo, Texcoco, Estado de México (Castañeda-Saucedo *et al.*, 2009). El número de vainas normales y semillas normales planta<sup>-1</sup> obtenidas en el presente trabajo fueron 69 y 71 % mayores a las obtenidas por Castañeda-Saucedo *et al.* (2009); las diferencias entre el número de vainas normales y semillas normales planta<sup>-1</sup> producidas se deben a diferencias en el hábito de crecimiento; las variedades incluidas en este trabajo son de hábito indeterminado, mientras el cultivar ‘Otomi’ tiene hábito de crecimiento determinado (Castañeda-Saucedo *et al.*, 2009). El índice de cosecha *modificado* promedio de todos los genotipos en riego fue similar al índice de cosecha promedio de seis variedades de frijol de diferente hábito de crecimiento y contrastantes en su respuesta a la sequía, bajo riego en invernadero, en Alemania (Gebeyehu, 2006). El número de días a floración o antesis en promedio de los 12 genotipos fue similar al número de días a floración de la variedad de frijol ‘Prince’ bajo condiciones de riego en invernadero, en Reino Unido (Boutraa y Sanders, 2001); el número de días a madurez fisiológica fue seis días menor al determinado en frijol ‘Flor de Junio’ en riego en invernadero en Cieneguillas, Zacatecas, México (Acosta-Díaz *et al.*, 2007); las diferencias entre el número de días a madurez fisiológica se deben a diferencias en las temperaturas máxima y mínima; las temperaturas mínima y máxima en Montecillo, Texcoco fueron superiores a los 30 y 7 °C, mientras que en Cieneguillas, Zacatecas, la temperatura máxima prevaleciente durante el ciclo biológico de las plantas fue inferior a 30 °C y la mínima fue de 5 °C (Acosta-Díaz *et al.*, 2007).

### 5.4.2.2 Área foliar

El área foliar aumentó con el ciclo biológico desde la emergencia de las plántulas hasta la floración; posteriormente, tendió a declinar hasta que las plantas alcanzaron la madurez fisiológica. En otro trabajo en frijol común del tipo Pinto, cv. Othelo, en condiciones de campo, el riego favoreció un rápido desarrollo del área foliar y cierre del dosel, así como una mayor duración del área foliar; el riego también favoreció un alto incremento en el índice de área foliar (Dapaah, *et al.*, 2000).

### **5.4.2.3 Biomasa total de raíces, cociente raíz/parte aérea, longitud máxima de raíz y biomasa total de la planta**

La mayor acumulación de biomasa en las raíces se observó en el estrato de 0-20 cm, disminuyendo paulatinamente en los estratos inferiores; el crecimiento de las raíces se concentra en el estrato más cercano a la superficie del suelo (0-30 cm), porque es en esa parte del suelo, donde se acumula la mayor cantidad de humedad y aire, lo que permite que el crecimiento de las raíces sea constante hasta el periodo de llenado del grano, declinando al acercarse las plantas a la madurez (Asseng *et al.*, 1998). La longitud máxima de raíz en riego fue de 56 cm en promedio de las 12 variedades utilizadas en el presente estudio; Polania *et al.* (2009) observaron que la longitud máxima de raíces fue 46 cm en promedio de ocho cultivares de frijol común, cultivados en condiciones de riego en tubos de acetato de 50 cm de alto y 7.5 cm de diámetro, colocados dentro de tubos de PVC; un sistema radical superficial y abundante es más efectivo en la absorción de nutrientes en los primeros 20 cm del perfil del suelo, donde se concentran los nutrientes (Ho *et al.*, 2005).

### **5.4.2.4 Transpiración total y eficiencia transpiratoria de la planta**

La transpiración total promedio por planta de las 12 variedades de frijol durante el ciclo biológico fue 8.5 kg de agua; la transpiración total en promedio en 12 variedades de caupí (*Vigna unguiculata*) en macetas de plástico bajo riego fue 20.3 kg de agua por planta en Bangladesh (Ashok *et al.*, 1999); las diferencias en transpiración entre las variedades de frijol común y caupí, pueden deberse a diferencias en la biomasa total acumulada; las variedades de frijol produjeron una biomasa total de 28 g planta<sup>-1</sup> y las variedades de caupí tuvieron una biomasa total de 52.9 g planta<sup>-1</sup> (Ashok *et al.*, 1999).

La eficiencia transpiratoria para producir biomasa total de la planta en las 12 variedades de frijol fue 3.5 g kg<sup>-1</sup>; el promedio de eficiencia transpiratoria en 12 variedades de caupí fue 2.6 g kg<sup>-1</sup> (Ashok *et al.*, 1999); las diferencias en eficiencia transpiratoria entre las variedades de frijol y las variedades de caupí, se deben a que el frijol (8.5 kg) utilizó menor cantidad de agua para producir una unidad de materia seca que las variedades de caupí (20.3 kg). Ratnakumar *et al.* (2009) obtuvieron valores para la eficiencia transpiratoria de 2.2 g kg<sup>-1</sup>, con transpiración total de 13.9 kg y biomasa aérea de 30.5 g planta<sup>-1</sup>, en nueve variedades de cacahuate bajo riego en condiciones de invernadero en Patancheru, India.

### 5.4.3 Sequía

#### 5.4.3.1 Rendimiento de semilla y sus componentes, y fenología de la planta

El rendimiento promedio de semilla de todas las variedades en sequía fue similar al rendimiento obtenido en frijol del tipo ‘Flor de Junio’ en sequía severa (50 % de humedad edáfica durante el ciclo) en invernadero en Cieneguillas, Zacatecas, México (Acosta-Díaz *et al.*, 2007). En tanto que comparándolo con el frijol ‘Otomi’ el rendimiento fue 65 % mayor en invernadero con sequía durante la etapa de formación de vainas (Castañeda-Saucedo *et al.*, 2009); las diferencias en rendimiento se deben al menor efecto de la sequía en el número de vainas y semillas planta<sup>-1</sup> determinados en el presente estudio, las cuales fueron 66 y 74 % mayores a las observadas en frijol ‘Otomi’ (Castañeda-Saucedo *et al.*, 2009). El índice de cosecha *modificado* en promedio de los 12 genotipos en sequía fue 43 %; Gebeyehu (2006) determinaron un índice de cosecha de 41 % en promedio de seis variedades de frijol de diferente hábito de crecimiento y contrastantes en su respuesta a la sequía, bajo sequía en invernadero, en Alemania.

El número de días a antesis en promedio de las 12 variedades en sequía, fue similar al número de días a antesis o floración promedio de ocho genotipos de frijol contrastantes en su respuesta a la sequía y de diferente hábito de crecimiento, en sequía bajo condiciones protegidas de la lluvia, en Texcoco, Estado de México (Acosta-Díaz *et al.*, 2009).

#### 5.4.3.2 Área foliar

El área foliar en sequía y riego aumentó desde la emergencia de las plántulas hasta la floración; posteriormente, el área foliar declinó hasta la madurez fisiológica de las plantas. Zabawi y Dennett (2010) determinaron en el genotipo de soya cv. Maris Bead en condiciones de sequía en invernadero, que la sequía (20 % de humedad edáfica) disminuyó drásticamente el área foliar debido a la combinación de baja expansión foliar, producción de hoja y senescencia, además, la sequía afectó el crecimiento del tallo; la disminución del crecimiento de la hoja y tallo en condiciones de sequía también se reflejó en una disminución de la biomasa total de la planta (Zabawi y Dennett, 2010).



### **5.4.3.3 Biomasa total de raíces, biomasa total de la planta, cociente raíz/parte aérea y máxima longitud de raíz**

La sequía promovió un mayor crecimiento del sistema radical, observándose en la acumulación de materia seca y máxima longitud de raíz. En 11 genotipos de cacahuete en sequía en invernadero, se observó que la sequía aplicada a principios del ciclo del cultivo incremento el peso seco raíz en todos los genotipos, además, en condiciones de sequía los genotipos con sistemas de raíces largos (ICGV98300, KK60-3 y Tifton-8) tuvieron alta eficiencia transpiratoria para la biomasa total de la planta (Puangbut *et al.*, 2009). Painawadee *et al.* (2009) determinaron en un experimento en macetas en cuatro genotipos de cacahuete con sequía a partir de 30 días después de la siembra, que la sequía incrementó la materia seca de raíces de los genotipos ICGV 9803 y KK 4, en Tailandia. Por su parte, Songsri *et al.* (2009) al evaluar la longitud de raíz en genotipos de cacahuete, determinaron que los genotipos con un sistema de raíces largo en condiciones de sequía tuvieron alta eficiencia en el uso del agua.

La máxima longitud de raíz en sequía fue de 83 cm en promedio de las 12 variedades utilizadas en el presente estudio; Polania *et al.* (2009) determinaron que la longitud máxima de raíces fue 38 cm en promedio de ocho genotipos de frijol común, cultivados en condiciones de sequía en tubos de plástico transparentes insertados en tubos de PVC de 50 cm de alto y 7.5 cm de diámetro; los genotipos que asignan biomasa a la raíz hacia horizontes profundos, sobre todo a la raíz principal, se adaptan mejor a los ambientes con sequía terminal (Ho *et al.*, 2005).

### **5.4.3.4 Transpiración total y eficiencia transpiratoria de la planta**

La transpiración total promedio por planta de las 12 variedades de frijol en sequía, durante el ciclo biológico fue 2.8 kg de agua; Serraj y Sinclair (1998) observaron que la transpiración total en promedio de dos genotipos de frijol común en macetas en invernadero bajo sequía fue 1.3 kg de agua por planta; las diferencias en transpiración entre las variedades de frijol, pueden deberse a diferencias en la biomasa total acumulada; las variedades de frijol utilizadas en este estudio produjeron mayor biomasa total por planta (>16.7 g) que las variedades empleadas por Serraj y Sinclair (1998). Ashok *et al.* (1999) determinaron en promedio de 12 genotipos de caupí (*Vigna unguiculata*) en macetas de plástico bajo sequía, que la transpiración total fue 12.5 kg de agua por planta; las diferencias en transpiración entre las variedades de caupí y frijol común de este estudio, pueden deberse a diferencias en la biomasa total acumulada; las variedades de frijol común

produjeron menor biomasa total (21 g planta<sup>-1</sup>) que las variedades de caupí (41.3 g planta<sup>-1</sup>) (Ashok *et al.*, 1999).

La eficiencia transpiratoria para producir biomasa total de la planta en promedio de los 12 genotipos en sequía fue 8.3 g kg<sup>-1</sup>; Askoh *et al.* (1999) observaron en promedio de 12 variedades de caupí en sequía en invernadero una eficiencia transpiratoria de 3.3 g kg<sup>-1</sup> en Bangladesh. Belko *et al.* (2012) obtuvieron valores para la eficiencia transpiratoria de 2.2 g kg<sup>-1</sup>, con una transpiración total de 772 g y biomasa aérea de 1.8 g planta<sup>-1</sup>, en siete variedades de caupí consideradas susceptibles a sequía; la transpiración total por planta, eficiencia transpiratoria y biomasa aérea en promedio de ocho variedades de caupí tolerantes a sequía fueron 923 g, 2.27 g kg<sup>-1</sup> y 2.16 g planta<sup>-1</sup> en condiciones de invernadero bajo sequía en Patancheru, India, respectivamente (Belko *et al.*, 2012).

#### **5.4.4 Riego vs. Sequía**

##### **5.4.4.1 Rendimiento de semilla y sus componentes, y fenología de la planta**

La sequía durante la floración y el periodo de formación de la semilla redujo el rendimiento de semilla y sus componentes. Este mismo efecto se ha observado por otros autores en condiciones de invernadero, para el rendimiento, biomasa aérea, número de semillas y vainas planta<sup>-1</sup> (Boutraa y Sanders, 2001; Rainey y Griffiths, 2005; Nuñez-Barrios *et al.*, 2005; Acosta-Díaz *et al.*, 2009; Lanna *et al.*, 2016). Tal como también fue observado por Acosta-Díaz *et al.* (2009) el índice de cosecha también fue afectado por la sequía, sobre todo en el periodo de formación de la semilla en ocho genotipos de frijol de diferente hábito de crecimientos sometidos a sequía en la etapa reproductiva.

El déficit hídrico también disminuyó el número de días a floración y la madurez fisiológica; la sequía aplicada al inicio de la floración redujo el número de días a inicio de floración (cuatro días) y madurez fisiológica (dos días) (Barrios-Gómez *et al.*, 2010) y el número de días a madurez fisiológica (ocho días) (Acosta-Díaz *et al.*, 2009).

##### **5.4.4.2 Área foliar**

El área foliar por planta tendió a disminuir rápidamente después del inicio del tratamiento de sequía (45 dds); el crecimiento del área foliar es más sensitivo al déficit hídrico que la conductancia estomática (Turner y Begg, 1978). Nuñez-Barrios *et al.* (2005) también observaron que la sequía

redujo el área de las hojas del tallo principal y de las ramas con respecto a riego en frijol común variedad Seafarer en el estado de Michigan, Estados Unidos de Norte América.

#### **5.4.4.3 Biomasa total de raíces, biomasa total de la planta, cociente raíz/parte aérea y máxima longitud de raíz**

La sequía disminuyó la acumulación de biomasa en los órganos aéreos de la planta; por el contrario, en el órgano subterráneo promovió una mayor acumulación de biomasa radical; un mayor desarrollo del sistema de raíces en respuesta a la sequía también se ha observado en otras especies como cacahuete, en el cual, las plantas bajo sequía produjeron mayor peso seco de raíces que en riego en Khon Kaen, Tailandia (Puangbut *et al.*, 2009).

El cociente raíz/parte aérea de la planta fue mayor en sequía que en riego, lo cual es un indicativo de una mayor asignación de materia seca a las raíces que a la parte aérea de la planta; Acosta-Díaz *et al.* (2007) determinaron que la proporción de materia en la raíz en condiciones de sequía aumentó con respecto a riego.

La sequía aumentó la longitud máxima de la raíz en el perfil del suelo en comparación con riego; Benjamín y Nielsen (2006), al evaluar los efectos del estrés hídrico en la distribución de raíces de chícharo, garbanzo y soya, determinaron que el chícharo y el garbanzo tuvieron mayor porción del sistema de raíces profundas que soya, y respondieron al estrés hídrico desplazando sus raíces a estratos más profundos del suelo. Abenavoli *et al.* (2016) observaron que los genotipos criollos de frijol común tolerantes a sequía produjeron raíces de mayor longitud, área de superficie y abundancia de raíces delgadas en el sistema radical completo, y con énfasis en ramificaciones de raíz de mayor orden; asimismo, observaron que el estrés hídrico indujo respuestas de plasticidad en las raíces y una morfología di-mórfica de la raíz (dos formas distintas en estructura), lo cual podría incluirse en programas de mejoramiento de la resistencia a sequía del frijol en un futuro (Abenavoli *et al.*, 2016). La importancia de la longitud de las raíces también se ha reconocido en otros estudios, donde se indica que un adecuado desarrollo radicular permite reducir y amortiguar los efectos de la deshidratación en las plantas (Polania *et al.*, 2012); así, la profundización de la raíz les permite explorar un mayor volumen de suelo y extraer agua de perfiles inferiores, cuando las raíces superficiales han agotado el agua disponible en extractos superiores del suelo (Khan *et al.*, 2010).

#### **5.4.4 Transpiración total y eficiencia transpiratoria de la planta**

La sequía redujo la transpiración total por planta en 67 % con respecto a riego; Serraj y Sinclair (1998) determinaron que la sequía redujo la transpiración total en 65 % en frijol con un tratamiento de 13 días sin riego en plantas en condiciones de invernadero; en 15 genotipos de caupí (*Vigna unguiculata*) sometidos a riego y sequía en condiciones de invernadero en Patancheru, India, se observó que el déficit hídrico redujo la transpiración total en 42 % (Belko *et al.*, 2012).

La eficiencia transpiratoria para producir biomasa total de la planta fue 137 % mayor en sequía que en riego; Ashok *et al.* (1999) observaron que la eficiencia transpiratoria para producir biomasa total en promedio de 12 variedades de caupí en condiciones de sequía en invernadero fue 21 % y en campo 19 % mayor que en riego en Bangladesh; las diferencias observadas entre los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación y los obtenidos por Ashok *et al.* (1999) con relación a la eficiencia transpiratoria para la biomasa total de la planta, se deben a que en el presente estudio la biomasa total de la planta fue determinada cuando las plantas alcanzaron la madurez fisiológica (86 dds), mientras que la biomasa obtenida por dichos autores se determinó antes de la madurez fisiológica (60 dds), y consecuentemente las plantas tuvieron un periodo de tiempo menor para la acumulación de materia seca. La eficiencia transpiratoria de 11 genotipos de cacahuate bajo riego y sequía en condiciones de invernadero fue 20 % mayor en sequía que en riego (Puangbut *et al.*, 2009).

#### **5.4.5 Interacción variedades x niveles de humedad (Diferencia riego – sequía)**

##### **5.4.5.1 Rendimiento de semilla y sus componentes, y fenología de la planta**

La interacción variedades x niveles de humedad representa el comportamiento de los genotipos en los diferentes tratamientos de humedad del suelo (Eberhart y Russell, 1966). La diferencia riego – sequía entre genotipos es un indicativo de la respuesta del genotipo al déficit hídrico; los genotipos que tienen mayor disminución en el rendimiento de semilla o algún otro componente del rendimiento o característica al pasar de riego a sequía, se consideran genotipos susceptibles a sequía. La diferencia riego – sequía fue más apreciable en el rendimiento de semilla y sus componentes, y se reflejó en una reducción del 38 % para el rendimiento de semilla, 33 % en la biomasa aérea final y 38 % en el número de vainas normales planta<sup>-1</sup> con respecto a riego; Gebeyehu (2006) observó una reducción en el rendimiento de semilla y biomasa aérea en condiciones de invernadero en Alemania, similar a la observada en este trabajo de investigación;

Castañeda-Saucedo *et al.* (2009) observaron que la sequía durante el periodo de formación de vaina redujo 40 % el número de vainas normales planta<sup>-1</sup> con respecto a riego, en el cultivar ‘Otomí’ en condiciones de invernadero en Montecillo, Texcoco, Estado de México.

La diferencia riego - sequía para el número de días a madurez fisiológica mostró que la sequía acortó cuatro la madurez fisiológica con relación a riego; Acosta-Díaz *et al.* (2007) observaron una reducción similar en el número de días a madurez fisiológica en promedio de cuatro genotipos de frijol del tipo ‘Flor de Junio’ en invernadero en Cieneguillas, Zacatecas.

#### **5.4.5.2 Biomasa total de raíces, biomasa total de la planta, cociente raíz/parte aérea y máxima longitud de raíz**

La diferencia riego – sequía para la biomasa total de raíces fue más alta en los estratos de 0-20 cm y 20-40 cm; este incremento en la cantidad de materia seca acumulada en las raíces en sequía que en riego estuvo acompañada de una mayor longitud máxima de raíces; Matsui y Singh (2003) con el objetivo de determinar los efectos del estrés hídrico edáfico en la longitud de raíz, materia seca de raíces y distribución de raíces de dos variedades de caupí (*Vigna unguiculata*) contrastantes en su respuesta a la sequía, observaron en ambos genotipos un incremento en la longitud de raíz y materia seca de raíces bajo condiciones de sequía moderada en comparación con riego; además, tuvieron mayor cantidad de materia seca de raíz por unidad de área foliar de área foliar (mg mm<sup>-2</sup>) en sequía que en riego. Sponchiado *et al.* (1989) mencionaron que un mayor crecimiento de las raíces para la extracción de humedad del suelo, parece ser un importante mecanismo de tolerancia a la sequía en frijol común.

#### **5.4.5.3 Transpiración total y eficiencia transpiratoria de la planta**

La diferencia riego – sequía para la eficiencia transpiratoria para producir biomasa total de la planta, mostró que las plantas bajo condiciones de estrés hídrico produjeron mayor cantidad de biomasa total por unidad de agua transpirada que las plantas bajo condiciones favorables de humedad en riego. En otros estudios, se ha observado incremento en la eficiencia transpiratoria en sequía con respecto a riego en diferentes especies; Ashok *et al.* (1999) observaron mayor eficiencia transpiratoria para producir biomasa total de la planta en promedio de 12 genotipos de caupí (*Vigna unguiculata*) en sequía (3.33 g kg<sup>-1</sup>) que en riego (2.63 g kg<sup>-1</sup>), en condiciones de invernadero, en Bangladesh. Puangbut *et al.* (2009) en promedio de 11 genotipos de cacahuete determinaron una

eficiencia transpiratoria de 2.9 g kg<sup>-1</sup> en sequía y 2.3 g kg<sup>-1</sup> en riego en invernadero, en Khon Kaen, Tailandia.

#### **5.4.6 Relación entre el rendimiento de semilla, sus componentes, y fenología de la planta**

La correlación entre el rendimiento de semilla y sus componentes, y la fenología de la planta analizada mediante la diferencia riego – sequía, mostró que aquellas variedades de frijol que disminuyeron en mayor medida su rendimiento de semilla (38 %) y sus componentes (biomasa aérea final=33 %, vainas normales planta<sup>-1</sup>=38% y semillas normales planta<sup>-1</sup>=43 %) al pasar de riego a sequía, también disminuyen en mayor grado aquellos componentes, cuyas diferencias riego – sequía están más estrechamente relacionadas con la reducción del rendimiento al pasar de riego a sequía. Otros estudios han mostrado que efectivamente, la disminución en el rendimiento de semilla (78 %) bajo condiciones de estrés hídrico en frijol en campo estuvo más estrechamente asociada con la disminución en el número de vainas por planta (60 %) que con el número de semillas por vaina (26 %) y peso de 100 semillas (13 %) (Szilagyi, 2003); rendimiento de semilla (60 %) y número de vainas (63 %) que el número de semillas vaina<sup>-1</sup> (29 %), índice de cosecha (26 %), tamaño de semilla (22 %) (Nuñez-Barrios *et al.*, 2005).

### **5.5 CONCLUSIONES**

El rendimiento de semilla y sus componentes, la fenología y el área foliar de la planta fueron más altos en riego que en sequía; la biomasa aérea final, vainas normales y semillas normales planta<sup>-1</sup> fueron los componentes del rendimiento más afectados por la sequía.

El déficit hídrico tuvo efectos diferenciales en los órganos aéreos y la raíz de la planta, en la parte aérea redujo la biomasa, mientras que en el sistema radical promovió una mayor acumulación de biomasa y una mayor longitud de la raíz.

El déficit hídrico del suelo redujo la transpiración total por planta y aumentó la eficiencia transpiratoria para la producción de biomasa total por planta.

Las variedades FM M38, FM Sol y FM RMC en riego y FM M38, FM Sol en sequía tuvieron el mayor rendimiento de semilla; FM M38, FM Sol y FM RMC, además de las variedades FM Anita, FM Noura y Negro Veracruz, redujeron en mayor medida su rendimiento de semilla al pasar de riego a sequía.

Las variedades FM M38 y FM Sol además de producir alto rendimiento de semilla, mostraron alta biomasa total de raíces y biomasa total de la planta en sequía.

La mayor disminución del rendimiento de semilla por efecto de la sequía estuvo positiva y significativamente asociada con una mayor reducción en la biomasa aérea final y semillas normales por planta.

## 5.6 LITERATURA CITADA

- Abenavoli, M. R., M. Leone, F. Sunseri, M. Bacchi and A. Sorgon. 2016. Root phenotyping for drought tolerance in bean landraces from Calabria (Italy). *Journal Agronomy Crop Science* 202: 1-12.
- Acosta-Díaz, E., M. D. Amador-Ramírez, J. S. Padilla-Ramírez, J. P. Gómez-Delgado y H. Valadez-Montoya. 2007. Biomasa y rendimiento de frijol tipo flor de junio bajo riego y sequía. *Agricultura Técnica en México* 33: 153-162.
- Acosta-Díaz, E., J. A. Acosta-Gallegos, C. Trejo-López, J. S. Padilla-Ramírez and M. D. Amador-Ramírez. 2009. Adaptation traits in dry bean cultivars grown under drought stress. *Agricultura Técnica en México* 35: 416-425.
- Acosta-Gallegos, J. A. and J. Kohashi-Shibata. 1989. Effect of water stress on growth and yield of indeterminate dry-bean (*Phaseolus vulgaris*) cultivars. *Field Crops Research* 20: 81-93.
- Ashok, I. S. A. Hussain, T. G. Prasad, M. U. Kumar, R. C. N. Rao and G. C. Wright. 1999. Variation in transpiration efficiency and carbon isotope discrimination in cowpea. *Australian Journal of Plant Physiology* 26: 503-510.
- Assefa, T., S. E. Beebe, I. M. Rao, J. B. Cuasquer, M. C. Duque, M. Rivera, A. Battisti and M. Luchim. 2013. Pod harvest index as a selection criterion to improve drought resistance in white pea bean. *Field Crops Research* 148: 24-33.
- Asseng, S., J. T. Ritchie, A. J. M. Smucker and M. J. Robertson. 1998. Root growth and water uptake during water deficit and recovering in wheat. *Plant and Soil* 201: 265-273.
- Barrios-Gómez, E. J. y C. López-Castañeda. 2009. Temperatura base y tasa de extensión foliar en frijol. *Agrociencia* 43: 25-35.
- Barrios-Gómez, E. J., C. López-Castañeda, J. Kohashi-Shibata, J. A. Acosta-Gallegos, S. Miranda-Colín y N. Mayek-Pérez. 2010. Rendimiento de semilla y sus componentes en frijol Flor de Mayo en el centro de México. *Agrociencia* 44: 481-489.
- Beebe, S., I. M. Rao, C. Cajiao and M. Grajales. 2008. Selection for drought resistance in common beans also improves yield in phosphorous limited favourable environments. *Crop Science* 48: 582-592.
- Belko, N., M. Zaman-Allah, N. Cisse, N. N. Diop, G. Zombre, J. D. Ehlers and V. Vadez. 2012. Lower soil moisture threshold for transpiration decline under water deficit correlates with

lower canopy conductance and higher transpiration efficiency in drought tolerant cowpea. *Functional Plant Biology* 39: 306-322.

- Benjamin, J. G. and D. C. Nielsen. 2006. Water deficit effects on root distribution of soybean, field pea and chickpea. *Field Crops Research* 97: 248-253.
- Blum. 2009. Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress. *Field Crops Research* 112: 119-123.
- Bolaños, J., G. O. Edmeades and L. M. Martinez. 1993. Eight cycles of selection for drought tolerance in tropical maize. III. Responses in drought-adaptive physiological and morphological traits. *Field Crops Research* 31: 269-286.
- Boutraa, T. and F. E. Sanders. 2001. Influence of water stress on grain yield and vegetative growth of two cultivars of bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal Agronomy Crop Science* 187: 251-257.
- Castañeda-Saucedo, M. C., L. Córdova-Téllez, V. A. González-Hernández, A. Delgado-Alvarado, A. Santacruz-Varela and G. García-de los Santos. 2009. Physiological performance, yield, and quality of dry bean seeds under drought stress. *Interciencia* 34: 748-754.
- Comas, L. H., S. R. Becker, V. M. Cruz, P. F. Byrne and D. A. Dierig. 2013. Root traits contributing to plant productivity under drought. *Frontiers Plant Science* 4: 1-16.
- Costa-Franca, M. G., A. T. P. Thi, C. Pimentel, R. O. Pereyra Rossiello, Y. Zuily-Fodil and D. Laffray. 2000. Differences in growth and water relations among *Phaseolus vulgaris* cultivars in response to induced drought stress. *Environmental and Experimental Botany* 43: 227-237.
- Dapaah, H. K. ., B. A. McKenzie and G. D. Hill. 2000. Influence of sowing date and irrigation on the growth and yield of pinto beans (*Phaseolus vulgaris*) in a subhumid temperate environment. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 134: 33-43.
- Eberhart, S. A. and W. A. Russell. 1966. Stability Parameters for Comparing Varieties. *Crop Science* 6: 36-39.
- Ferreira, M. E., J. P. de M. Abreu, V. V. Bianco and A. Monteiro. 1997. Predicting phasic development of green beans for processing using a model with high temperature reduction of thermal time accumulation. *Scientia Horticulturae* 69: 123-133.
- García, Enriqueta. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 2d. ed. Universidad Nacional Autónoma de México. 245 p.
- Gebeyehu, S. 2006. Physiological response to drought stress of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes differing in drought resistance. *Cuvillier Verlag*. Pp. 116.



- Hissene, H. M., V. Vadez, J. C. Michelangeli, O. Halilou, I. Ndoeye, A. Soltani, and T. Sinclair. 2016. Quantifying leaf area development parameters for cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walpers]. *Crop Science* 56: 1-9.
- Ho, D. M., J. D Rosas, K. M. Brown and J. P. Lynch. 2005. Root architectural tradeoffs for water and phosphorus acquisition. *Functional Plant Biology* 32: 737-748.
- Karamanos, A. J. 1978. Water stress and leaf growth of field beans (*Vicia faba* L.) in the field: leaf number and total leaf area. *Annals of Botany* 42: 1393-1402.
- Khan, H. R., J. G. Paull, K. H. Siddique and F. L. Stoddard. 2010. Faba bean breeding for drought-affected environments: a physiological and agronomic perspective. *Field Crops Research* 115: 279-286.
- Kohashi-Shibata, J., J. C. da Costa, S. C. Miranda. 1980. Harvest index in *Phaseolus vulgaris* (L.). *Annual Report of the Bean Improvement Cooperative* 23: 87-89.
- Lanna, A. C., S. T. Mitsuzono, T. G. Rios Terra, R. Pereira Vianello and M. Alves de Figueiredo Carvalho. 2016. Physiological characterization of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes, water-stress induced with contrasting response towards drought. *Australian Journal of Crop Science* 10: 1-6.
- Lopez, F. B., C. Johansen and Y. S. Chauhan. 1996. Effect of timing of drought stress on phenology, yield and yield components of a short-duration pigeonpea. *Journal of Agronomy and Crop Science* 177: 311-320.
- López-Castañeda, C. y J. Kohashi-Shibata. 1985. Efecto de la poda en la producción de semilla de un frijol (*Phaseolus vulgaris* L) de hábito indeterminado y de guía larga. *Agrociencia* 60: 37-60.
- Martinez, J. P., H. Silva, J. F. Ledent and M. Pinto. 2007. Effect of drought stress on the osmotic adjustment, cell wall elasticity and cell volume of six cultivars of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *European Journal Agronomy* 26: 30-38.
- Matsui, T. and B. B. Singh. 2003. Root characteristics in cowpea related to drought tolerance at the seedling stage. *Experimental Agriculture* 39: 29-38.
- Morales-Rivera, A., C. López-Castañeda, J. Kohashi-Shibata, S. Miranda-Colín y A. García-Esteva. 2015. Comparación de los componentes del rendimiento en variedades de frijol en condiciones de acidez y humedad residual del suelo en el sur de Veracruz. *Terra Latinoamericana* 33: 309-319.
- Mwanamwenge, J., S. P. Loss, K. H. M. Siddique and P. S. Cocks. 1999. Effect of water stress during floral initiation, flowering and podding on the growth and yield of faba bean (*Vicia faba* L.). *European Journal of Agronomy* 11: 1-11.

- Nuñez-Barrios, A., G. Hoogenboom and D. S. Nesmith. 2005. Drought stress and the distribution of vegetative and reproductive traits of a bean cultivar. *Scientia Agricola* (Piracicaba, Brazil) 62: 18-22.
- Paez-Garcia, A., C. M. Motes, Wolf-Rüdiger Scheible, R. Chen, E. B. Blancaflor and M. J. Monteros. 2015. Root Traits and Phenotyping Strategies for Plant Improvement. *Plants* 4: 334-355.
- Painawadee, M., S. Jogloy, T. Kesmala, C. Akkasaeng and A. Patanothai. 2009. Identification of traits related to drought resistance in peanut (*Arachis hypogaea* L.). *Asian Journal of Plant Sciences* 8: 120-128.
- Polanía, J. A., I. M. Rao, S. Beebe y R. García. 2009. Desarrollo y distribución de raíces bajo estrés por sequía en frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) en un sistema de tubos con suelo. *Agronomía Colombiana* 27: 25-32.
- Polanía, J. A., I. M. Rao, S. Mejía, S. E. Beebe y C. Cajiao. 2012. Características morfo-fisiológicas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) relacionadas con la adaptación a sequía. *Acta Agronómica* 61: 197-206.
- Puangbut, D., S. Jogloy, N. Vorasoot, C. Akkasaeng, T. Kesmala, Rao C.N. Rachaputi, G.C. Wright and A. Patanothai. 2009. Association of root dry weight and transpiration efficiency of peanut genotypes under early season drought. *Agricultural Water Management* 96: 1460-1466.
- Rainey, K. M. y P. D. Griffiths. 2005. Differential response of common bean genotypes to high temperature. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 130: 18-23.
- Ratnakumar, P., V. Vadez, S. N. Nigam and L. Krishnamurthy. 2009. Assessment of transpiration efficiency in peanut (*Arachis hypogaea* L.) under drought using a lysimetric system. *Plant Biology* 11: 124-130.
- Reyes-Matamoros, J., D. Martínez-Moreno, R. Rueda-Luna y T. Rodríguez-Ramírez. 2014. Efecto del estrés hídrico en plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en condiciones de invernadero. *Revista Iberoamericana de Ciencias* 1: 191-203.
- Richards, R. A., C. López-Castañeda, H. Gomez-Macpherson and A. G. Condon. 1993. Improving the efficiency of water use by plant breeding and molecular biology. *Irrigation Science* 14: 93-104.
- Richards, R. A. 2008. Genetic Opportunities to Improve Cereal Root Systems for Dryland Agriculture. *Plant Production Science* 11: 12-16.
- Rosales-Serna, R., J. A. Acosta-Gallegos, J. S. Murruaga-Martínez, J. M. Hernández-Casillas, G. Esquivel-Esquivel y P. Pérez Herrera. 2004. Variedades mejoradas de frijol del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Libro Técnico 6. 148 p.

- SAS (Statistical Analysis System), Versión 9.4 para Windows 2014. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Serraj, R. and T. R. Sinclair. 1998. N<sub>2</sub> Fixation Response to Drought in Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Annals of Botany* 82: 229-234.
- Szilagyi. 2003. Influence of drought on seed yield components in common bean. *Bulgarian Journal of Plant Physiology Special Issue* 320-330.
- Songsri, P., S. Jogloy, C. C. Holbrook, T. Kesmala, N. Vorasoot, C. Akkasaeng and A. Patanothai. 2009. Association of root, specific leaf area and SPAD chlorophyll meter reading to water use efficiency of peanut under different available soil water. *Agricultural water management* 96: 790-798.
- Sponchiado, B. N., J. W. White, J. A. Castillo and P. G. Jones. 1989. Root Growth of four common bean cultivars in relation to drought tolerance in environments with contrasting soil types. *Experimental Agriculture* 25: 249-257.
- Turner, N.C. and J. E. Begg. 1978. Responses of pasture plants to water deficits. In "Plant Relations in Pastures" (J. R. Wilson, ed.), pp. 50-66. CSIRO, Melbourne, Australia.
- Xia, M. Z. 1997. Effect of soil drought during the generative development phase on seed yield and nutrient uptake of faba bean (*Vicia faba* L.). *Australian Journal of Agricultural Research* 48: 447-451.
- Zabawi, M. and M. D. D. Dennett. 2010. Responses of faba bean (*Vicia faba*) to different levels of plant available water: I. Phenology, growth and biomass partitioning [Tindak balas kacang faba (*Vicia faba*) terhadap pelbagai aras kesediaan air tanaman. I. Fenologi, pertumbuhan dan penghasilan biomassa]. *Journal of tropical agriculture and food science* 38: 11-19.

## CAPÍTULO 6 CONCLUSIONES GENERALES

La distribución de la lluvia durante la formación de vainas y semillas fue más irregular en el experimento E-II (ciclo verano-otoño 2014) que en el E-I (ciclo primavera-verano 2013), resultando el rendimiento de semilla y sus componentes mayores en el E-I que en E-II. Además, el número de días a inicio de floración, antesis y madurez fisiológica fueron menores en el ciclo primavera-verano 2013 que en verano-otoño 2014.

Con respecto a riego, las deficiencias hídricas edáficas en condiciones de invernadero y en campo (en promedio de los ciclos primavera-verano 2013 y verano-otoño 2014) disminuyeron el rendimiento de semilla y algunos de sus componentes, así como también acortó el número de días a inicio de floración, antesis y madurez fisiológica. En condiciones de invernadero, la sequía a partir del inicio de floración, disminuyó el área foliar y la transpiración total de la planta en comparación con riego; indujo una mayor acumulación de biomasa en el sistema radical, longitud máxima de raíz, cociente raíz/parte aérea y mayor eficiencia transpiratoria para producir biomasa total de la planta con respecto a riego.

En el ciclo primavera-verano 2013 en condiciones de riego, el rendimiento de semilla y sus componentes fueron mayores que los producidos en temporal del mismo ciclo, y riego y temporal del ciclo verano-otoño 2014. El número de días a inicio de floración, antesis y madurez fisiológica fueron mayores en condiciones de riego en el ciclo verano-otoño 2014 que en temporal, y riego y temporal del ciclo primavera-verano 2013.

Las variedades FM 2000 y FM RMC produjeron mayor rendimiento de semilla, biomasa área final, alto índice de cosecha, número de vainas normales  $m^{-2}$  y semillas normales  $m^{-2}$ , y altura de planta, en promedio de los ciclos primavera-verano 2013 y verano-otoño 2014 y en los cuatro ambientes de humedad edáfica. En invernadero bajo sequía, ambos genotipos tuvieron alta acumulación de biomasa total de raíces; FM 2000 tuvo alta longitud máxima de raíz; y FM RMC alta eficiencia transpiratoria para producir biomasa total de la planta y baja transpiración total por planta.

Las variedades del tipo 'Flor de Mayo' tuvieron mayor crecimiento del área foliar y biomasa aérea que las variedades con semilla de color negro del sur de Veracruz, y mostraron menor cociente de área foliar, área foliar específica y cociente de peso seco de hojas que los negros.

## CUADROS DEL APÉNDICE

### CAPÍTULO 3

**Cuadro 3.1A. Cuadrados medios del análisis de varianza bajo un modelo estadístico en serie de cuatro experimentos, para el rendimiento de semilla y sus componentes, y fenología. Montecillo, Texcoco, Estado de México.**

	gl	RS	BMAF	VN M <sup>-2</sup>	SN M <sup>-2</sup>	P200S	S V <sup>-1</sup>	IC	AP	IF	A	MF	IIF-A	IA-MF
Ciclos	1	2828283.1**	4723015.6**	1334159.8**	78719186.0**	850.7**	92.0**	11899.2**	43890.2**	1116.7**	1534.0**	1681.0**	33.1*	3.4ns
Ambientes (riego y temporal)	1	112840.0**	340666.8**	127514.5**	4179435.0**	53.8*	0.89*	222.5ns	1456.7*	119.2**	87.1**	210.3*	3.1ns	26.7ns
Variedades	11	20928.2**	75614.0**	7671.3*	538217.3**	896.1**	1.59**	83.1**	2070.5**	129.1**	95.7**	194.3**	4.9ns	98.8**
Ciclos x ambientes	1	11.7Sns	5007.9ns	2610.4ns	13892.6ns	110.3*	0.98**	423.7**	380.3ns	1.2ns	1.0ns	87.1*	3.7ns	106.8*
REP(ciclos x ambientes)	8	7313.2*	20568.1*	5056.1ns	138771.6ns	5.7ns	0.15ns	84.4*	179.5ns	14.2*	9.8*	49.1*	2.9ns	31.1ns
Ciclos x variedades	11	7706.0*	16927.2*	5823.8ns	224056.5*	53.2**	0.12ns	52.3*	254.8*	9.9*	10.5*	55.7*	2.5ns	57.1**
Ambientes x variedades	11	3476.2ns	8335.6ns	2965.9ns	55607.7ns	83.2**	0.05ns	41.8ns	106.3ns	7.6ns	5.4ns	24.5ns	3.6ns	25.2ns
Ciclos x ambientes x variedades	11	4930.5ns	13718.5ns	3602.9ns	104796.9ns	61.8**	0.066ns	51.1ns	125.1ns	7.5ns	4.3ns	5.1ns	4.4ns	6.6ns
<b>Media general</b>		<b>293</b>	<b>561</b>	<b>285</b>	<b>1605</b>	<b>47</b>	<b>5</b>	<b>49</b>	<b>67.4</b>	<b>51</b>	<b>55</b>	<b>123</b>	<b>4.2</b>	<b>68</b>
CV (%)		18.1	16.4	19.4	19.7	6.6	5.3	9.7	16.1	4	4	4	42.9	6

RS= Rendimiento de semilla (g m<sup>-2</sup>); BMAF= Biomasa aérea final; VN M<sup>-2</sup>= Vainas normales m<sup>-2</sup>; SN M<sup>-2</sup> = Semillas normales m<sup>-2</sup>; P200S= Peso de 200 semillas (g); S V<sup>-1</sup>= Número de semillas por vaina; IC= Índice de cosecha (%); AP= Altura de planta (cm); IF= número de días a inicio de floración; A= número de días a antesis; MF= Número de días a madurez fisiológica; IIF-A= Intervalo a inicio de floración-antesis; IA-MF= Intervalo antesis-madurez fisiológica. \*\* (P≤0.01), \*(P≤0.05), ns= No significativo.

**Cuadro 3.2A Cuadrados medios del análisis de varianza bajo un modelo estadístico de bloques completos al azar, para la acumulación de biomasa aérea al inicio de la floración (BMA-IF), la antesis (BMA-A) y madurez fisiológica (BMA-MF). Ciclo verano-otoño 2014. Montecillo, Texcoco, Estado de México.**

FV	gl	BMA-IF	BMA-A	BMA-MF
Repeticiones	2	61.8ns	73.2ns	5812.8ns
Variedades	11	1189.0**	1989.1**	39566.3**
Niveles de humedad	1	2664.5**	4725.5**	71883.7*
Variedades x niveles de humedad	11	206.0**	220.5*	4747.7ns
Error	46	-	-	-
Total	71	-	-	-
Media	-	49.3	76.8	295
Máximo	-	86	105.1	404.2
Mínimo	-	37	47.7	167.4
Rango fenotípico	-	2.3	2.2	2.4
CV (%)	-	13.2	11.7	19.8

\*\*( $P \leq 0.01$ ), \*( $P \leq 0.05$ ), ns= No significativo.

**Cuadro 3.3A. Rendimiento de semilla y sus componentes, en los ciclos primavera-verano 2013 y verano-otoño 2014, y en riego y temporal. Montecillo, Texcoco, Estado de México.**

Ciclos/ambientes	RS	BMAF	IC	VN M <sup>-2</sup>	SN M <sup>-2</sup>	P200S	S V <sup>-1</sup>	AP
Primavera-verano 2013	434	742	58	382	2344	49	6	85
Verano-otoño 2014	154	380	40	189	866	44	5	50
<b>Media</b>	<b>293</b>	<b>561</b>	<b>49</b>	<b>285</b>	<b>1605</b>	<b>47</b>	<b>5</b>	<b>67</b>
<sup>1</sup> DMS ( $P \leq 0.05$ )	33	55	4	27	143	1	0.1	5
Riego	321	610	50	315	1775	48	5.4	71
Temporal	265	513	48	255	1435	45	5.2	64
<b>Media</b>	<b>293</b>	<b>561</b>	<b>49</b>	<b>285</b>	<b>1605</b>	<b>47</b>	<b>5</b>	<b>67</b>
<sup>2</sup> DMS ( $P \leq 0.05$ )	33	55	4	27	143	1	0.1	5

RS= Rendimiento de semilla (g m<sup>-2</sup>); BMAF= Biomasa aérea final; VN M<sup>-2</sup>= Vainas normales m<sup>-2</sup>; SN M<sup>-2</sup> = Semillas normales m<sup>-2</sup>; P200S= Peso de 200 semillas (g); S V<sup>-1</sup>= Número de semillas por vaina; IC= Índice de cosecha (%); AP= Altura de planta (cm). <sup>1</sup>Valor de la diferencia mínima significativa (DMS), para la comparación entre años; <sup>2</sup>Valor de la diferencia mínima significativa (DMS) para la comparación entre ambientes.

**Cuadro 3.4A. Rendimiento de semilla y sus componentes, para la interacción ciclos x ambientes. Montecillo, Texcoco, Estado de México.**

Ciclos/ambientes	RS	BMAF	VN M <sup>-2</sup>	SN M <sup>-2</sup>	P200S	S V <sup>-1</sup>	IC (%)	AP
<b>Ciclo primavera-verano 2013</b>								
Riego (R)	462	797	407	2505	51	6	60	90
Temporal (T)	405	688	356	2184	48	6	56	80
<b>Media</b>	<b>434</b>	<b>742</b>	<b>382</b>	<b>2344</b>	<b>49</b>	<b>6</b>	<b>48</b>	<b>85</b>
<sup>1</sup> DMS (P≤0.05)	35	61	29	175	1	0.1	6	4
<b>Ciclo verano-otoño 2014</b>								
Riego (R)	181	423	223	1046	46	5	43	51
Temporal (T)	126	337	155	686	43	4	37	49
<b>Media</b>	<b>154</b>	<b>380</b>	<b>189</b>	<b>866</b>	<b>44</b>	<b>5</b>	<b>40</b>	<b>50</b>
<sup>2</sup> DMS (P≤0.05)	13	25	24	119	2	0.2	3	6

RS= Rendimiento de semilla (g m<sup>-2</sup>); BMAF= Biomasa aérea final; VN M<sup>-2</sup>= Vainas normales m<sup>-2</sup>; SN M<sup>-2</sup> = Semillas normales m<sup>-2</sup>; P200S= Peso de 200 semillas (g); S V<sup>-1</sup>= Número de semillas por vaina; IC= Índice de cosecha (%); AP= Altura de planta (cm). <sup>1</sup>Valor de la diferencia mínima significativa (DMS), para la interacción años (2013) x ambientes (R y T); <sup>2</sup>Valor de la diferencia mínima significativa (DMS), para la comparación entre x años (2014) x ambientes (R y T).

**Cuadro 3.5A. Rendimiento de semilla y sus componentes, para la comparación entre variedades en promedio de ambientes (riego y temporal) en primavera-verano 2013 y verano-otoño 2014. Montecillo, Texcoco, Estado de México.**

Variedades	RS	BMAF	VN M <sup>-2</sup>	SN M <sup>-2</sup>	P200S	S V <sup>-1</sup>	IC	AP
FM 2000	375	722	308	1731	59	5	50	82
FM RMC	355	661	301	1745	55	6	51	86
FM M38	329	638	306	1645	50	5	50	69
FM Sol	319	564	253	1549	52	6	50	78
Michoacán 128	292	571	298	1623	48	5	47	59
FM Noura	285	573	263	1379	52	5	47	72
FM Anita	272	481	253	1332	50	5	54	67
FM Corregidora	270	548	261	1384	50	5	46	66
FM Bajío	264	478	255	1322	46	5	53	68
<b>Media Flor de Mayo</b>	<b>305</b>	<b>584</b>	<b>281</b>	<b>1520</b>	<b>51</b>	<b>5</b>	<b>50</b>	<b>72</b>
Criollo San Andrés	259	535	316	1959	32	6	46	46
Negro Cotaxtla 91	252	469	309	1803	33	6	47	43
Negro Veracruz	250	493	298	1789	36	6	47	73
<b>Media negros</b>	<b>254</b>	<b>499</b>	<b>308</b>	<b>1850</b>	<b>34</b>	<b>6</b>	<b>47</b>	<b>54</b>
Media general	293	561	285	1605	47	5	49	67
DMS(P≤0.05)	43	75	45	256	3	0.2	4	9

RS= Rendimiento de semilla (g m<sup>-2</sup>); BMAF= Biomasa aérea final; VN M<sup>-2</sup>= Vainas normales m<sup>-2</sup>; SN M<sup>-2</sup> = Semillas normales m<sup>-2</sup>; P200S= Peso de 200 semillas (g); S V<sup>-1</sup>= Número de semillas por vaina; IC= Índice de cosecha (%); AP= Altura de planta (cm). DMS= Valor de la diferencia mínima significativa para la comparación entre variedades.

**Cuadro 3.6A. Rendimiento de semilla y sus componentes, para la interacción ciclos (primavera-verano 2013 y verano-otoño 2014) x variedades. Montecillo, Texcoco, Estado de México.**

Variedades	Ciclo primavera-verano 2013								Ciclo verano-otoño 2014							
	RS	BMAF	VN M <sup>-2</sup>	SN M <sup>-2</sup>	P200S	S V <sup>-1</sup>	IC	AP	RS	BMAF	VN M <sup>-2</sup>	SN M <sup>-2</sup>	P200S	S V <sup>-1</sup>	Icm	AP
FM 2000	513	901	370	2296	66	6	57	101	238	543	245	1167	52	5	44	63
FM RMC	515	841	379	2447	56	6	61	96	196	482	222	1043	54	5	40	77
FM M38	463	832	380	2262	51	6	56	87	196	444	233	1027	48	4	45	51
FM Sol	522	819	357	2348	55	7	63	98	115	309	149	751	48	5	37	59
Michoacán 128	448	785	403	2402	46	6	57	82	136	358	193	844	51	4	36	36
FM Noura	403	713	343	1975	54	6	57	88	166	433	183	784	51	4	38	57
FM Anita	407	656	361	2056	53	6	62	77	137	307	145	607	46	4	45	57
FM Corregidora	410	731	334	1986	52	6	57	89	130	365	189	782	48	4	36	43
FM Bajío	366	578	359	2017	49	6	64	82	162	379	150	627	43	4	43	54
<b>Media Flor de Mayo</b>	<b>449</b>	<b>762</b>	<b>365</b>	<b>2199</b>	<b>54</b>	<b>6</b>	<b>59</b>	<b>89</b>	<b>164</b>	<b>402</b>	<b>190</b>	<b>848</b>	<b>49</b>	<b>4</b>	<b>40</b>	<b>55</b>
Criollo San Andrés	378	718	432	2881	34	7	53	65	139	352	200	1036	29	5	40	27
Negro Cotaxtla 91	390	642	441	2720	37	6	56	59	114	296	176	887	30	5	39	26
Negro Veracruz	390	692	416	2745	39	7	57	96	109	294	180	834	34	5	37	51
<b>Media negros</b>	<b>386</b>	<b>684</b>	<b>430</b>	<b>2782</b>	<b>37</b>	<b>6</b>	<b>55</b>	<b>73</b>	<b>121</b>	<b>314</b>	<b>185</b>	<b>919</b>	<b>31</b>	<b>5</b>	<b>39</b>	<b>35</b>
<b>Media general</b>	<b>434</b>	<b>742</b>	<b>382</b>	<b>2344</b>	<b>49</b>	<b>6</b>	<b>58</b>	<b>85</b>	<b>154</b>	<b>380</b>	<b>189</b>	<b>866</b>	<b>44</b>	<b>5</b>	<b>40</b>	<b>50</b>
DMS(P≤0.05)	83	135	65	402	6	0.2	4	13	37	77	64	309	5	0.4	4	14

RS= Rendimiento de semilla (g m<sup>-2</sup>); BMAF= Biomasa aérea final; VN M<sup>-2</sup>= Vainas normales m<sup>-2</sup>; SN M<sup>-2</sup> = Semillas normales m<sup>-2</sup>; P200S= Peso de 200 semillas (g); S V<sup>-1</sup>= Número de semillas por vaina; IC= Índice de cosecha (%); AP= Altura de planta (cm).



**Cuadro 3.7A. Rendimiento de semilla y sus componentes, para la interacción ambientes (riego y temporal) x variedades. Montecillo, Texcoco, Estado de México.**

Variedades	Riego								Temporal							
	RS	BMAF	VN M <sup>-2</sup>	SN M <sup>-2</sup>	P200S	S V <sup>-1</sup>	IC	AP	RS	BMAF	VN M <sup>-2</sup>	SN M <sup>-2</sup>	P200S	S V <sup>-1</sup>	IC	AP
FM 2000	387	724	327	1850	65	6	51	91	363	720	289	1612	53	5	50	73
FM RMC	393	731	343	1962	56	6	52	88	317	592	259	1527	54	6	49	84
FM M38	356	720	344	1835	50	5	52	70	301	556	269	1455	49	5	48	69
FM Sol	367	624	270	1697	52	6	52	83	270	503	236	1401	51	6	48	73
Michoacán 128	357	645	353	1884	54	5	53	62	227	497	243	1362	43	5	41	57
FM Noura	302	613	316	1621	57	5	48	81	267	533	210	1137	48	5	47	64
FM Anita	284	497	262	1392	51	5	55	68	260	466	245	1272	49	5	52	66
FM Corregidora	287	593	271	1444	50	5	47	68	254	503	252	1324	50	5	46	64
FM Bajío	283	514	287	1498	46	5	54	68	246	442	223	1147	45	5	53	68
<b>Media Flor de Mayo</b>	<b>335</b>	<b>629</b>	<b>308</b>	<b>1687</b>	<b>53</b>	<b>5</b>	<b>52</b>	<b>75</b>	<b>278</b>	<b>535</b>	<b>247</b>	<b>1360</b>	<b>49</b>	<b>5</b>	<b>48</b>	<b>69</b>
Criollo San Andrés	275	554	335	2103	32	6	47	49	243	516	297	1815	31	6	45	43
Negro Cotaxtla 91	272	540	335	1978	33	6	49	44	231	398	282	1629	33	6	45	42
Negro Veracruz	294	562	336	2042	36	6	49	76	206	424	260	1536	37	6	45	71
<b>Media negros</b>	<b>280</b>	<b>552</b>	<b>335</b>	<b>2041</b>	<b>34</b>	<b>6</b>	<b>48</b>	<b>56</b>	<b>227</b>	<b>446</b>	<b>280</b>	<b>1660</b>	<b>34</b>	<b>6</b>	<b>45</b>	<b>52</b>
Media general	321	610	315	1775	48	5	50	71	265	513	255	1435	45	5	48	64
DMS(P≤0.05)	76	130	79	477	5	0.3	4	14	60	97	53	272	5	0.3	4	13

RS= Rendimiento de semilla (g m<sup>-2</sup>); BMAF= Biomasa aérea final; VN M<sup>-2</sup>= Vainas normales m<sup>-2</sup>; SN M<sup>-2</sup> = Semillas normales m<sup>-2</sup>; P200S= Peso de 200 semillas (g); S V<sup>-1</sup>= Número de semillas por vaina; IC= Índice de cosecha (%); AP= Altura de planta (cm).

**Cuadro 3.8A. Rendimiento de semilla y sus componentes, para la interacción ciclos (primavera-verano 2013 y verano-otoño 2014) x ambientes (riego y temporal) x variedades. Montecillo, Texcoco, Estado de México.**

	Riego								Temporal							
	RS	BMAF	VN M <sup>-2</sup>	SN M <sup>-2</sup>	P200S	S V <sup>-1</sup>	IC	AP	RS	BMAF	VN M <sup>-2</sup>	SN M <sup>-2</sup>	P200S	S V <sup>-1</sup>	IC	AP
<b>Ciclo primavera-verano 2013</b>																
FM 2000	523	912	397	2464	77	6	57	116	502	890	343	2128	55	6	56	87
FM RMC	525	901	401	2573	56	6	64	97	504	781	357	2320	55	7	58	95
FM M38	463	854	400	2371	52	6	57	83	462	810	359	2154	51	6	54	91
FM Sol	605	917	386	2558	54	7	66	109	439	722	329	2137	56	6	60	86
Michoacán 128	528	859	432	2549	54	6	62	86	368	710	375	2254	48	6	52	79
FM Noura	414	727	363	2066	53	6	57	95	392	699	323	1883	54	6	56	80
FM Anita	409	677	379	2167	54	6	64	80	405	634	344	1946	52	6	60	75
FM Corregidora	422	790	343	2009	52	6	59	94	398	672	324	1964	53	6	54	83
FM Bajío	386	611	377	2150	48	6	64	87	347	544	341	1883	49	6	63	77
<b>Media Flor de Mayo</b>	<b>475</b>	<b>805</b>	<b>386</b>	<b>2323</b>	<b>56</b>	<b>6</b>	<b>61</b>	<b>94</b>	<b>424</b>	<b>718</b>	<b>344</b>	<b>2074</b>	<b>53</b>	<b>6</b>	<b>57</b>	<b>84</b>
Criollo San Andrés	404	748	456	3033	34	7	54	70	353	688	407	2730	35	7	51	59
Negro Cotaxtla 91	399	755	472	2944	37	6	59	61	380	530	410	2495	36	6	53	58
Negro Veracruz	404	748	456	3033	34	7	57	70	353	688	407	2730	35	7	56	59
<b>Media negros</b>	<b>424</b>	<b>779</b>	<b>468</b>	<b>3051</b>	<b>37</b>	<b>7</b>	<b>57</b>	<b>77</b>	<b>348</b>	<b>590</b>	<b>391</b>	<b>2513</b>	<b>37</b>	<b>6</b>	<b>53</b>	<b>69</b>
Media general	462	797	407	2505	51	6	60	90	405	688	356	2184	48	6	56	80
DMS (P≤0.05)	125	230	122	766	3	0.3	5	15	112	164	79	437	3	0.43	7	16
<b>Ciclo verano-otoño 2014</b>																
FM 2000	251	559	257	1237	53	5	45	67	225	527	234	1097	52	5	43	59
FM RMC	261	561	284	1352	55	5	47	79	130	402	160	735	53	5	33	74

Continúa cuadro 3.8A.

FM M38	253	585	287	1299	49	5	46	57	139	303	179	756	47	4	43	46
FM Sol	129	332	155	836	50	5	39	60	101	285	144	665	47	5	36	57
Michoacán 128	186	432	275	1219	53	4	43	37	86	284	110	469	48	4	29	34
FM Noura	191	498	269	1176	60	4	38	67	141	367	97	391	42	4	38	47
FM Anita	159	317	145	617	45	4	51	58	115	298	145	597	47	4	39	56
FM Corregidora	151	396	199	880	48	4	38	44	109	334	180	685	47	4	34	41
FM Bajío	179	416	196	845	44	4	44	59	144	341	105	410	41	4	42	49
<b>Media Flor de Mayo</b>	<b>196</b>	<b>455</b>	<b>230</b>	<b>1051</b>	<b>51</b>	<b>5</b>	<b>43</b>	<b>59</b>	<b>132</b>	<b>349</b>	<b>150</b>	<b>645</b>	<b>47</b>	<b>4</b>	<b>37</b>	<b>51</b>
Criollo San Andrés	146	360	214	1173	31	5	40	27	132	344	187	899	27	5	39	26
Negro Cotaxtla 91	145	325	199	1012	30	5	46	26	83	266	154	762	30	5	31	26
Negro Veracruz	120	292	195	907	34	5	41	52	99	296	164	760	34	5	33	49
<b>Media negros</b>	<b>137</b>	<b>326</b>	<b>203</b>	<b>1031</b>	<b>31</b>	<b>5</b>	<b>42</b>	<b>35</b>	<b>105</b>	<b>302</b>	<b>168</b>	<b>807</b>	<b>30</b>	<b>5</b>	<b>34</b>	<b>34</b>
Media general	181	423	223	1046	46	5	43	53	126	337	155	686	43	4	37	47
DMS(P≤0.05)	55	95	98	521	5	0.61	10	23	34	90	67	311	9	0.52	9	20

RS= Rendimiento de semilla (g m<sup>-2</sup>); BMAF= Biomasa aérea final; VN M<sup>-2</sup>= Vainas normales m<sup>-2</sup>; SN M<sup>-2</sup> = Semillas normales m<sup>-2</sup>; P200S= Peso de 200 semillas (g); S V<sup>-1</sup>= Número de semillas por vaina; IC= Índice de cosecha (%); AP= Altura de planta (cm). Valor de la diferencia mínima significativa (DMS) para la comparación entre genotipos dentro de cada ciclo y ambiente de humedad del suelo.

**Cuadro 3.9A. Inicio de floración (IF), antesis (A), madurez fisiológica (MF), intervalo a inicio de floración-antesis (IIF-A) e intervalo antesis madurez fisiológica (IA-MF), para los ciclos primavera-verano 2013 y verano-otoño 2014, y ambientes (riego y temporal). Montecillo, Texcoco, Estado de México.**

Ciclos/ambientes	IF	A	MF	IIF-A	IA-MF
Ciclo primavera-verano 2013	48	52	120	4	68
Ciclo verano-otoño 2014	53	58	126	5	68
Media	51	55	123	5	68
<sup>1</sup> DMS (P≤0.05)	1	1	3	0.5	2
Riego	52	56	125	4	69
Temporal	50	54	121	4	67
Media	51	55	123	4	68
<sup>2</sup> DMS (P≤0.05)	1	1	3	0.5	2

<sup>1</sup>Valor de la diferencia mínima significativa (DMS), para la comparación entre años; <sup>2</sup>Valor de la diferencia mínima significativa (DMS) para la comparación entre ambientes.

**Cuadro 3.10A. Inicio de floración (IF), antesis (A), madurez fisiológica (MF), intervalo a inicio de floración-antesis (IIF-A) e intervalo antesis madurez fisiológica (IA-MF), para la interacción ciclos (primavera-verano 2013 y verano-otoño 2014) x ambientes (riego y temporal). Montecillo, Texcoco, Estado de México.**

Ciclos/ambientes	IF	A	MF	IIF-A	IA-MF
<b>Ciclo primavera-verano 2013</b>					
Riego	49	53	120	4	68
Temporal	47	51	119	4	67
Media	48	52	120	4	68
<sup>1</sup> DMS (P≤0.05)	1	1	2	1	1
<b>Ciclo verano-otoño 2014</b>					
Riego	54	59	128	4	69
Temporal	52	57	124	5	67
Media	53	58	126	5	68
<sup>2</sup> DMS (P≤0.05)	1	1	2	0.4	1

<sup>1</sup>Valor de la diferencia mínima significativa (DMS), para la interacción ciclo primavera-verano 2013 x ambientes (Riego y Temporal); <sup>2</sup>Valor de la diferencia mínima significativa (DMS), para la interacción ciclo verano-otoño 2014 x ambientes (Riego y Temporal).

**Cuadro 3.11A. Inicio de floración (IF), antesis (A), madurez fisiológica (MF), intervalo a inicio de floración-antesis (IIF-A) e intervalo antesis-madurez fisiológica (IA-MF), para la comparación entre variedades en promedio de ambientes riego y temporal en primavera-verano 2013 y verano-otoño 2014. Montecillo, Texcoco, Estado de México.**

Variedades	IF	A	MF	IIF-A	IA-MF
FM 2000	48	52	125	4	73
FM RMC	48	53	119	5	66
FM M38	52	56	127	4	71
FM Sol	45	51	120	5	69
Michoacán 128	54	59	125	4	66
FM Noura	54	58	128	4	70
FM Anita	47	52	117	5	66
FM Corregidora	52	56	125	3	70
FM Bajío	48	53	117	5	64
<b>Media Flor de Mayo</b>	<b>50</b>	<b>54</b>	<b>122</b>	<b>4</b>	<b>68</b>
Criollo San Andrés	54	57	121	4	64
Negro Cotaxtla 91	54	58	127	4	70
Negro Veracruz	52	56	124	4	68
<b>Media negros</b>	<b>53</b>	<b>57</b>	<b>124</b>	<b>4</b>	<b>67</b>
Media general	51	55	123	4	68
DMS(P≤0.05)	2	2	4	2	3

**Cuadro 3.12A. Inicio de floración (IF), antesis (A), madurez fisiológica (MF), intervalo a inicio de floración-antesis (IIF-A) e intervalo antesis-madurez fisiológica (IA-MF), para la interacción ciclos (primavera-verano 2013 y verano-otoño 2014) x variedades. Montecillo, Texcoco, Estado de México.**

Variedades	Ciclo primavera-verano 2013					Ciclo verano-otoño 2014				
	IF	A	MF	IIF-A	IA-MF	IF	A	MF	IIF-A	IA-MF
FM 2000	44	48	120	3	72	52	56	130	5	74
FM RMC	45	50	116	5	66	50	56	122	6	66
FM M38	50	54	123	3	70	55	59	131	5	71
FM Sol	42	47	120	5	73	49	54	120	6	66
Michoacán 128	51	56	124	5	68	57	61	125	4	64
FM Noura	52	56	123	4	67	57	61	134	4	73
FM Anita	44	48	114	4	67	50	56	121	6	65
FM Corregidora	49	52	117	2	66	55	60	133	4	74
FM Bajío	44	48	114	4	66	53	58	119	5	62
<b>Media Flor de Mayo</b>	<b>47</b>	<b>51</b>	<b>119</b>	<b>4</b>	<b>68</b>	<b>53</b>	<b>58</b>	<b>126</b>	<b>5</b>	<b>68</b>
Criollo San Andrés	53	56	118	3	62	54	59	125	5	66
Negro Cotaxtla 91	51	55	125	3	70	56	61	130	4	70
Negro Veracruz	49	53	122	3	69	54	59	127	5	68
<b>Media negros</b>	<b>51</b>	<b>55</b>	<b>122</b>	<b>3</b>	<b>67</b>	<b>55</b>	<b>60</b>	<b>127</b>	<b>5</b>	<b>68</b>
<b>Media general</b>	<b>48</b>	<b>52</b>	<b>120</b>	<b>4</b>	<b>68</b>	<b>53</b>	<b>58</b>	<b>126</b>	<b>5</b>	<b>68</b>
DMS(P≤0.05)	3	3	5	3	5	2	2	5	1	4

**Cuadro 3.13A. Inicio de floración (IF), antesis (A), madurez fisiológica (MF), intervalo a inicio de floración-antesis (IIF-A) e intervalo antesis-madurez fisiológica (IA-MF), para la interacción ambientes (riego y temporal) x variedades. Montecillo, Texcoco, Estado de México.**

Variedades	Riego					Temporal				
	IF	A	MF	IIF-A	IA-MF	IF	A	MF	IIF-A	IA-MF
FM 2000	50	54	128	4	74	46	50	122	4	71
FM RMC	48	54	120	6	66	47	52	118	5	66
FM M38	53	56	128	3	71	51	56	125	5	71
FM Sol	45	51	121	7	70	45	50	119	4	69
Michoacán 128	57	60	126	4	66	52	57	123	5	66
FM Noura	55	59	129	4	70	54	58	128	4	70
FM Anita	48	53	119	5	67	47	51	115	4	65
FM Corregidora	54	56	129	2	73	51	55	122	5	67
FM Bajío	50	54	118	5	64	47	52	115	5	64
<b>Media Flor de Mayo</b>	<b>51</b>	<b>55</b>	<b>124</b>	<b>4</b>	<b>69</b>	<b>49</b>	<b>53</b>	<b>121</b>	<b>5</b>	<b>68</b>
Criollo San Andrés	54	57	122	3	65	53	57	120	4	63
Negro Cotaxtla 91	55	59	130	4	72	53	57	125	4	68
Negro Veracruz	52	55	125	3	70	52	56	123	4	67
<b>Media negros</b>	<b>54</b>	<b>57</b>	<b>126</b>	<b>3</b>	<b>69</b>	<b>53</b>	<b>57</b>	<b>123</b>	<b>4</b>	<b>66</b>
Media general	52	56	125	4	69	50	54	121	4	67
DMS(P≤0.05)	3	3	5	3	5	3	2	6	2	5

**Cuadro 3.14A. Inicio de floración (IF), antesis (A), madurez fisiológica (MF), intervalo a inicio de floración-antesis (IIF-A) e intervalo antesis-madurez fisiológica (IA-MF), para la interacción ciclos (primavera-verano 2013 y verano-otoño 2014) x ambientes (riego y temporal) x variedades. Montecillo, Texcoco, Estado de México.**

Variedades	Riego					Temporal				
	IF	A	MF	IIF-A	IA-MF	IF	A	MF	IIF-A	IA-MF
<b>Ciclo primavera-verano 2013</b>										
FM 2000	46	49	123	3	74	42	46	116	4	70
FM RMC	45	52	117	7	65	45	48	114	3	66
FM M38	51	54	125	3	71	50	53	122	3	69
FM Sol	42	48	121	6	73	41	46	118	5	72
Michoacán 128	55	59	125	4	66	47	51	124	4	73
FM Noura	52	56	123	4	67	51	55	122	4	67
FM Anita	45	48	114	3	66	43	47	114	4	67
FM Corregidora	50	52	121	2	69	47	51	114	4	63
FM Bajío	44	49	114	5	65	43	47	114	4	67
<b>Media Flor de Mayo</b>	<b>48</b>	<b>52</b>	<b>120</b>	<b>4</b>	<b>68</b>	<b>45</b>	<b>49</b>	<b>118</b>	<b>4</b>	<b>68</b>
Criollo San Andrés	53	56	118	3	62	53	56	117	3	61
Negro Cotaxtla 91	52	56	127	4	71	50	53	122	3	69
Negro Veracruz	50	53	122	3	69	49	52	121	3	69
<b>Media negros</b>	<b>52</b>	<b>55</b>	<b>122</b>	<b>3</b>	<b>67</b>	<b>51</b>	<b>54</b>	<b>120</b>	<b>3</b>	<b>66</b>
Media general	49	53	120	4	68	47	51	119	4	68
DMS(P≤0.05)	5	5	7	5	8	4	3	8	3	7
<b>Ciclo verano-otoño 2014</b>										
FM 2000	54	58	133	5	75	49	54	127	5	73
FM RMC	51	56	123	5	65	50	56	121	6	65
FM M38	57	60	132	3	72	52	58	129	6	71
FM Sol	48	54	120	6	66	49	54	120	5	66
Michoacán 128	58	62	128	4	66	57	60	122	3	62
FM Noura	58	61	135	4	73	56	60	133	4	73
FM Anita	52	57	125	5	68	49	54	117	5	63
FM Corregidora	56	60	136	4	76	54	59	130	5	71
FM Bajío	55	59	122	4	63	50	56	117	6	61
<b>Media Flor de Mayo</b>	<b>54</b>	<b>59</b>	<b>128</b>	<b>4</b>	<b>69</b>	<b>52</b>	<b>57</b>	<b>124</b>	<b>5</b>	<b>67</b>
Criollo San Andrés	55	59	126	4	68	54	59	123	5	64
Negro Cotaxtla 91	57	61	133	4	72	56	60	128	4	68
Negro Veracruz	54	59	129	4	70	54	59	125	5	66
<b>Media negros</b>	<b>55</b>	<b>60</b>	<b>129</b>	<b>4</b>	<b>70</b>	<b>55</b>	<b>59</b>	<b>125</b>	<b>5</b>	<b>66</b>
Media general	54	59	128	4	69	52	57	124	5	67
DMS(P≤0.05)	3	3	6	1	6	3	2	8	1	6



**Cuadro 3.15A. Acumulación de biomasa aérea al inicio de floración (BMA-IF), antesis (BMA-A) y en madurez fisiológica (BMA-MF). Experimento E-II. Ciclo verano-otoño 2014. Montecillo, Texcoco, Estado de México.**

Variedades	BMA-IF (g)	BMA-A (g)	BMA-MF (g)
FM 2000	51(52)	75(56)	411(130)
FM RMC	86(53)	105(58)	404(126)
FM M38	46(55)	77(59)	274(131)
FM Sol	58(49)	105(54)	356(120)
Michoacán 128	53(50)	83(56)	371(122)
FM Noura	58(57)	87(61)	287(134)
FM Anita	42(50)	72(56)	236(121)
FM Corregidora	49(55)	90(60)	331(133)
FM Bajío	37(53)	64(58)	199(119)
<b>Media Flor de Mayo</b>	<b>53(53)</b>	<b>84(58)</b>	<b>319(126)</b>
Criollo San Andrés	37(54)	59(59)	233(125)
Negro Cotaxtla 91	38(56)	57(61)	167(130)
Negro Veracruz	37(54)	60(59)	243(127)
<b>Media negros</b>	<b>37(55)</b>	<b>59(60)</b>	<b>214(127)</b>
Media general	49(53)	77(58)	296(126)
DMS(P≤0.05)	8(2)	10(2)	111(5)

El número entre paréntesis representa el número de días a inicio de floración, antesis y madurez fisiológica

## CAPÍTULO 4.

**Cuadro 4.1A Cuadrados medios del análisis de varianza bajo un modelo estadístico de bloques completos al azar, para el índice de área foliar (IAF), biomasa aérea (BMA), tasa de crecimiento del cultivo (TCC), tasa de asimilación neta (TAN), cociente de área foliar (CAF), área foliar específica (AFE) y cociente de peso seco de hojas (CPSH), determinados en promedio de variedades del tipo ‘Flor de Mayo’ y negros del sur de Veracruz. Ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México.**

variables	Días después de la siembra												
	26	43	26-43	55	43-55	69	55-69	85	69-85	97	85-97	134	97-134
IAF	0.002*	0.101**	-	1.22**	-	0.111ns	-	0.109ns	-	3.63*	-	-	-
BMA	10.7*	3586.8**	-	23281.9**	-	82755.9**	-	189454.1**	-	104347.4**	-	47949.3ns	-
TCC	-	-	11.09**	-	49.05**	75.70ns	73.94*	-	-	-	46.33ns	-	3.37ns
TAN	-	-	14.43*	-	12.84*	-	9.25*	-	4.30*	-	0.28ns	-	-
CAF			0.000014**		0.000041**	-	0.00012**	-	0.00011**	0.00005**	-	-	-
AFE	0.0001**	0.0001**	-	0.00004*	-	0.0001**	-	0.0001*	-	0.000004ns	-	-	-
CPSH	0.002ns	0.0005ns	-	0.0006ns	-	0.002**	-	0.001**	-	0.0001*	-	-	-

\*( $P \leq 0.01$ ), \*( $P \leq 0.05$ ), n.s.= No significativo.

**Cuadro 4.2A Cuadrados medios del análisis de varianza bajo un modelo estadístico de bloques completos al azar, para el índice de área foliar (IAF), biomasa aérea (BMA), tasa de crecimiento del cultivo (TCC), tasa de asimilación neta (TAN), cociente de área foliar (CAF), área foliar específica (AFE) y cociente de peso seco de hojas (CPSH), determinados en promedio de las 12 variedades. Ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México.**

Variables	Variedades	Media	Máximo	Mínimo	Rango
IAF (26 dds)	0.001ns	0.1	0.1	0.1	1.5
IAF (43 dds)	0.024*	0.5	0.6	0.4	1.6
IAF (55 dds)	0.361**	2.5	2.4	1.6	1.5
IAF (69 dds)	1.033**	3.1	3.8	2.6	1.5
IAF (85 dds)	1.004*	3.6	4.3	2.9	1.5
IAF (97 dds)	0.950ns	4.2	5.1	3.5	1.5
BMA (26 dds)	3.5ns	5.9	7.2	4.5	1.6
BMA (43 dds)	660.0**	68.4	80.9	48.9	1.7
BMA (55 dds)	3908.8**	123.0	187.2	78.4	2.4
BMA (69 dds)	14385**	281.0	351.2	190.6	1.8
BMA (85 dds)	45052.1**	492.5	617.0	337.0	1.8
BMA (97 dds)	21591.7**	660.0	788.0	539.0	1.5
BMA (134 dds)	16505.7ns	797.6	900.9	714.7	1.3
TCC (26-43 dds)	2.26**	3.7	4.4	2.5	1.7
TCC (43-55 dds)	19.22**	4.5	9.8	1.3	7.7
TCC (55-69 dds)	28.75ns	11.1	15.0	8.0	1.9
TCC (69-85 dds)	57.81ns	13.2	16.8	7.3	2.3
TCC (85-97 dds)	117.55**	14.8	21.7	5.7	3.8
TCC (97-134 dds)	8.77ns	4.2	6.9	0.9	7.9
TAN (26-43 dds)	17.24**	12.1	14.9	9.4	1.6
TAN (43-55 dds)	6.28**	4.1	6.1	1.6	3.8
TAN (55-69 dds)	5.25**	4.7	6.6	3.3	2.0
TAN (69-85 dds)	7.42**	3.9	6.5	1.9	3.5
TAN (85-97 dds)	7.48ns	4.6	6.6	0.9	6.9
CAF (26-43 dds)	0.00003**	1.4	1.5	1.3	1.2
CAF (43-55 dds)	0.0005*	1.2	1.4	1.1	1.3
CAF (55-69 dds)	0.002**	1.5	1.9	1.2	1.6
CAF (69-85 dds)	0.002**	1.0	1.4	0.7	1.9
CAF (85-97 dds)	0.0009**	0.7	0.9	0.4	2.2
AFE (26 dds)	0.00001**	0.03	0.03	0.03	1.2
AFE (43 dds)	0.00001**	0.03	0.03	0.02	1.2
AFE (55 dds)	0.00003**	0.03	0.04	0.03	1.2
AFE (69 dds)	0.00003**	0.03	0.03	0.02	1.4
AFE (85 dds)	0.00007**	0.03	0.04	0.02	1.7
AFE (97 dds)	0.00009**	0.03	0.03	0.02	1.7
CPSH (26 dds)	0.002**	0.8	0.8	0.7	1.1
CPSH (43 dds)	0.002*	0.2	0.2	0.1	1.5
CPSH (55 dds)	0.006**	0.2	0.3	0.2	1.9
CPSH (69 dds)	0.0007**	0.03	0.05	0.02	3.2
CPSH (85 dds)	0.0002**	0.02	0.03	0.01	2.7
CPSH (97 dds)	0.00008**	0.01	0.02	0.01	2.7

\*\*( $P \leq 0.01$ ), \*( $P \leq 0.05$ ), ns= no significativo.

**Cuadro 4.3A Índice de área foliar. Ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México.**

Variedad	Días después de la siembra					
	26 (206)	43 (359)	55 (456)	69 (568)	85 (700)	97 (801)
FM 2000	0.15	0.47	2.4	3.8	3.8	4.3
FM RMC	0.11	0.55	1.9	3.5	3.0	4.1
FM M38	0.12	0.53	2.0	3.1	4.0	4.4
FM Sol	0.11	0.49	2.4	3.2	3.6	4.1
Michoacán 128	0.12	0.41	2.1	3.4	4.3	3.8
FM Noura	0.11	0.35	2.0	2.7	4.1	4.1
FM Anita	0.14	0.53	2.0	2.6	2.9	3.5
FM Corregidora	0.13	0.49	2.2	2.6	3.5	4.6
FM Bajío	0.13	0.47	2.0	2.9	3.4	3.9
<b>Media Flor de Mayo</b>	<b>0.13</b>	<b>0.48</b>	<b>2.1</b>	<b>3.1</b>	<b>3.6</b>	<b>4.1</b>
Criollo San Andrés	0.12	0.38	2.2	3.5	3.9	5.1
Negro Cotaxtla 91	0.10	0.38	1.6	2.9	3.7	4.4
Negro Veracruz	0.12	0.42	1.7	2.6	3.5	4.4
<b>Media Negros</b>	<b>0.11</b>	<b>0.39</b>	<b>1.8</b>	<b>3.0</b>	<b>3.7</b>	<b>4.6</b>
<b>Media general</b>	<b>0.12</b>	<b>0.46</b>	<b>2.1</b>	<b>3.1</b>	<b>3.6</b>	<b>4.23</b>
CV (%)	29.5	21.7	18.7	17.6	18.4	18.6
DMS <sup>a</sup>	0.04	0.12	0.5	0.6	0.8	0.9
DMS <sup>b</sup>	0.01	0.04	0.2	0.2	0.3	0.3

<sup>a</sup>Valor de DMS para la comparación entre genotipos; <sup>b</sup>Valor de DMS para la comparación entre variedades con testa de color negro y variedades del tipo “Flor de Mayo”. Los números entre paréntesis representan los grados día de crecimiento.

**Cuadro 4.4A Biomasa aérea. Ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México.**

Variedad	Días después de la siembra						
	26(206)	43(359)	55(456)	69(568)	85(700)	97(801)	134(1080)
FM 2000	7.2	63.1	187.2	351.2	616.8	695.1	901.0
FM RMC	5.5	80.0	114.3	334.3	548.0	639.0	840.9
FM M38	6.3	63.4	123.8	269.0	434.4	685.9	865.3
FM Sol	6.0	80.3	147.0	340.1	560.6	787.6	817.9
Michoacán 128	5.8	67.3	119.9	279.4	463.8	640.0	784.7
FM Noura	5.3	64.4	115.9	255.9	396.3	632.9	763.9
FM Anita	7.0	72.7	133.8	332.1	592.0	706.5	714.7
FM Corregidora	6.3	80.3	140.9	261.7	517.1	704.1	784.6
FM Bajío	6.0	81.5	132.9	285.5	554.1	673.5	748.2
<b>Media Flor de Mayo</b>	<b>6.2</b>	<b>72.6</b>	<b>135.1</b>	<b>301.0</b>	<b>520.3</b>	<b>685.0</b>	<b>802.4</b>
Criollo San Andrés	6.2	48.9	107.2	229.9	465.9	662.4	748.0
Negro Cotaxtla 91	4.5	63.0	78.4	190.6	336.9	538.9	715.1
Negro Veracruz	5.1	56.7	87.4	247.0	398.8	573.5	779.0
<b>Media negros</b>	<b>5.3</b>	<b>56.2</b>	<b>91.0</b>	<b>222.5</b>	<b>400.5</b>	<b>591.6</b>	<b>747.4</b>
<b>Media general</b>	<b>5.9</b>	<b>68.4</b>	<b>123.0</b>	<b>281.0</b>	<b>492.5</b>	<b>660.0</b>	<b>797.6</b>
CV (%)	25.3	15.0	16.5	18.3	14.5	9.9	13.6.0
DMS <sup>a</sup>	1.7	11.9	26.0	58.4	83.9	83.1	166.7
DMS <sup>b</sup>	0.6	3.9	8.6	19.3	27.7	27.4	55.0

<sup>a</sup>Valor de DMS para la comparación entre genotipos; <sup>b</sup>Valor de DMS para la comparación entre variedades con testa de color negro y variedades del tipo “Flor de Mayo”. Los números entre paréntesis representan los grados día de crecimiento.

**Cuadro 4.5A Tasa de crecimiento del cultivo. Ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México.**

Variedad	Días después de la siembra					
	26-43	43-55	55-69	69-85	85-97	97-134
FM 2000	3.3	9.8	12.7	16.6	5.7	5.4
FM RMC	4.4	3.0	15.0	13.4	10.6	4.9
FM M38	3.4	4.9	10.5	10.3	21.0	3.7
FM Sol	4.4	5.4	13.8	14.0	18.1	3.1
Michoacán 128	3.6	3.8	10.5	11.5	16.1	3.1
FM Noura	3.5	4.4	10.0	7.3	21.7	5.3
FM Anita	4.0	5.1	14.2	16.3	8.9	0.9
FM Corregidora	4.4	5.0	8.6	16.0	15.9	6.9
FM Bajío	4.4	4.3	10.9	16.8	9.9	1.4
<b>Media Flor de Mayo</b>	<b>3.9</b>	<b>5.0</b>	<b>12.0</b>	<b>13.6</b>	<b>14.2</b>	<b>3.8</b>
Criollo San Andrés	2.5	4.8	8.8	14.8	17.1	3.1
Negro Cotaxtla 91	3.5	1.3	8.0	9.2	17.5	5.4
Negro Veracruz	3.1	2.8	11.1	10.4	14.2	5.5
<b>Media negros</b>	<b>3.0</b>	<b>3.0</b>	<b>9.2</b>	<b>11.5</b>	<b>16.3</b>	<b>4.8</b>
<b>Media general</b>	<b>3.7</b>	<b>4.5</b>	<b>11.1</b>	<b>13.2</b>	<b>14.8</b>	<b>4.2</b>
CV (%)	16.0	34.3	34.0	41.8	43.7	56.2
DMS <sup>a</sup>	0.7	2.0	4.8	6.6	8.3	4.0
DMS <sup>b</sup>	0.2	0.7	1.6	2.2	2.7	1.3

<sup>a</sup>Valor de DMS para la comparación entre genotipos; <sup>b</sup>Valor de DMS para la comparación entre variedades con testa de color negro y variedades del tipo “Flor de Mayo”. Los números entre paréntesis representan los grados día de crecimiento.

**Cuadro 4.6A Tasa de asimilación neta. Ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México.**

Variedad	Días después de la siembra				
	26-43	43-55	55-69	69-85	85-97
FM 2000	9.8	6.9	4.0	4.6	1.0
FM RMC	13.2	3.3	6.6	3.9	2.7
FM M38	9.8	4.6	4.0	2.9	5.9
FM Sol	13.7	5.0	5.1	4.3	4.7
Michoacán 128	12.0	3.1	4.3	3.0	5.1
FM Noura	13.5	4.6	4.5	1.9	6.4
FM Anita	10.4	4.1	6.5	6.5	2.5
FM Corregidora	13.7	4.6	3.4	4.8	6.6
FM Bajío	14.2	4.5	5.0	5.9	5.0
<b>Media Flor de Mayo</b>	<b>12.3</b>	<b>4.5</b>	<b>4.9</b>	<b>4.2</b>	<b>4.5</b>
Criollo San Andrés	9.4	5.2	3.3	3.7	4.8
Negro Cotaxtla 91	13.6	1.6	4.4	2.5	5.2
Negro Veracruz	10.3	3.6	5.4	3.0	4.3
<b>Media negros</b>	<b>11.3</b>	<b>3.4</b>	<b>4.2</b>	<b>3.1</b>	<b>4.8</b>
<b>Media general</b>	<b>12.1</b>	<b>4.1</b>	<b>4.7</b>	<b>3.9</b>	<b>4.6</b>
CV (%)	15.3	32.3	27.5	40.9	48.3
DMS <sup>a</sup>	2.5	2.0	1.9	2.2	3.6
DMS <sup>b</sup>	0.8	0.7	0.6	0.7	1.2

<sup>a</sup>Valor de DMS para la comparación entre genotipos; <sup>b</sup>Valor de DMS para la comparación entre variedades con testa de color negro y variedades del tipo “Flor de Mayo”.

**Cuadro 4.7A Cociente de área foliar. Ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México.**

Variedad	Días después de la siembra				
	26-43	43-55	55-69	69-85	85-97
FM 2000	1.43	1.25	1.40	0.88	0.65
FM RMC	1.33	1.18	1.34	0.78	0.65
FM M38	1.44	1.28	1.58	1.16	0.73
FM Sol	1.28	1.13	1.40	0.80	0.53
Michoacán 128	1.36	1.15	1.60	1.15	0.78
FM Noura	1.38	1.15	1.57	1.18	0.83
FM Anita	1.46	1.17	1.28	0.73	0.43
FM Corregidora	1.34	1.16	1.46	0.95	0.65
FM Bajío	1.26	1.06	1.22	0.80	0.50
<b>Media Flor de Mayo</b>	<b>1.40</b>	<b>1.20</b>	<b>1.40</b>	<b>0.90</b>	<b>0.60</b>
Criollo San Andrés	1.52	1.40	1.87	1.40	0.88
Negro Cotaxtla 91	1.43	1.37	1.80	1.35	0.95
Negro Veracruz	1.50	1.30	1.58	1.10	0.83
<b>Media Negros</b>	<b>1.48</b>	<b>1.36</b>	<b>1.75</b>	<b>1.28</b>	<b>0.89</b>
<b>Media general</b>	<b>1.39</b>	<b>1.23</b>	<b>1.51</b>	<b>1.03</b>	<b>0.71</b>
CV (%)	5.37	12.12	9.85	9.86	12.89
DMS <sup>a</sup>	0.10	0.22	0.22	0.14	0.15
DMS <sup>b</sup>	0.03	0.07	0.07	0.05	0.05

<sup>a</sup>Valor de DMS para la comparación entre genotipos; <sup>b</sup>Valor de DMS para la comparación entre variedades con testa de color negro y variedades del tipo “Flor de Mayo”.



**Cuadro 4.8A Área foliar específica. Ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México.**

Variedad	Días después de la siembra					
	26 (206)	43 (359)	55 (456)	69 (568)	85 (700)	97 (801)
FM 2000	0.029	0.027	0.032	0.026	0.025	0.033
FM RMC	0.027	0.026	0.030	0.023	0.024	0.029
FM M38	0.027	0.028	0.029	0.027	0.030	0.021
FM Sol	0.026	0.024	0.029	0.023	0.024	0.028
Michoacán 128	0.027	0.028	0.036	0.023	0.036	0.028
FM Noura	0.027	0.028	0.030	0.026	0.028	0.019
FM Anita	0.029	0.025	0.033	0.022	0.021	0.028
FM Corregidora	0.029	0.026	0.029	0.025	0.031	0.031
FM Bajío	0.028	0.028	0.034	0.024	0.027	0.031
<b>Media Flor de Mayo</b>	<b>0.028</b>	<b>0.027</b>	<b>0.031</b>	<b>0.024</b>	<b>0.027</b>	<b>0.028</b>
Criollo San Andrés	0.030	0.029	0.035	0.030	0.029	0.024
Negro Cotaxtla 91	0.030	0.028	0.034	0.027	0.030	0.029
Negro Veracruz	0.031	0.029	0.031	0.025	0.029	0.033
<b>Media negros</b>	<b>0.030</b>	<b>0.029</b>	<b>0.033</b>	<b>0.027</b>	<b>0.029</b>	<b>0.029</b>
<b>Media general</b>	<b>0.030</b>	<b>0.027</b>	<b>0.032</b>	<b>0.025</b>	<b>0.028</b>	<b>0.028</b>
CV (%)	6.160	7.020	8.570	7.320	12.380	18.480
DMS <sup>a</sup>	0.002	0.003	0.004	0.002	0.005	0.007
DMS <sup>b</sup>	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002

<sup>a</sup>Valor de DMS para la comparación entre genotipos; <sup>b</sup>Valor de DMS para la comparación entre variedades con testa de color negro y variedades del tipo “Flor de Mayo”. Los números entre paréntesis representan los grados día de crecimiento.

**Cuadro 4.9A Cociente de peso seco de hojas. Ciclo primavera-verano 2013. Montecillo, Texcoco, Estado de México.**

Variedad	Días después de la siembra					
	26 (206)	43 (359)	55 (456)	69 (568)	85 (700)	97 (801)
FM 2000	0.71	0.17	0.15	0.022	0.013	0.011
FM RMC	0.73	0.17	0.24	0.028	0.016	0.009
FM M38	0.76	0.19	0.23	0.037	0.021	0.013
FM Sol	0.78	0.17	0.20	0.024	0.014	0.008
Michoacán 128	0.78	0.14	0.25	0.034	0.017	0.011
FM Noura	0.77	0.16	0.24	0.038	0.017	0.019
FM Anita	0.76	0.17	0.18	0.016	0.013	0.007
FM Corregidora	0.75	0.14	0.28	0.042	0.015	0.009
FM Bajío	0.74	0.14	0.17	0.018	0.010	0.007
<b>Media Flor de Mayo</b>	<b>0.75</b>	<b>0.16</b>	<b>0.21</b>	<b>0.029</b>	<b>0.015</b>	<b>0.010</b>
Criollo San Andrés	0.77	0.17	0.19	0.036	0.023	0.013
Negro Cotaxtla 91	0.76	0.13	0.22	0.051	0.027	0.015
Negro Veracruz	0.76	0.17	0.20	0.040	0.024	0.013
<b>Media negros</b>	<b>0.76</b>	<b>0.16</b>	<b>0.20</b>	<b>0.042</b>	<b>0.025</b>	<b>0.014</b>
<b>Media general</b>	<b>0.75</b>	<b>0.16</b>	<b>0.21</b>	<b>0.030</b>	<b>0.017</b>	<b>0.011</b>
CV (%)	2.69	16.71	19.94	19.960	31.880	40.790
DMS <sup>a</sup>	0.03	0.03	0.05	0.007	0.006	0.005
DMS <sup>b</sup>	0.01	0.01	0.02	0.002	0.001	0.001

<sup>a</sup>Valor de DMS para la comparación entre genotipos; <sup>b</sup>Valor de DMS para la comparación entre variedades con testa de color negro y variedades del tipo “Flor de Mayo”. Los números entre paréntesis representan los grados día de crecimiento.

## CAPÍTULO 5

**Cuadro 5.10A Cuadrados medios para el área foliar por planta, durante el ciclo biológico. Ciclo primavera-verano 2014. Montecillo, Texcoco, Estado de México.**

FV	gl	18	23	28	33	38	43	48	53	58	63	68	73	78	83	88	93
<b>Análisis individual</b>																	
<b>Riego</b>																	
Repeticiones	2	222.3ns	173.1ns	1033.9ns	79.1ns	389.4ns	1764.7ns	5780.3ns	1911.5ns	1676.8ns	5363.9ns	9177.7ns	708.2ns	1931.1ns	1060.8ns	765.6ns	134.2ns
Variedades (V)	11	354.2*	1878.6*	3919.9**	13057.5**	17134.2*	14212.6*	8708.2*	12136.7*	12739.5ns	9071.8ns	7384.6ns	5406.3ns	4358.0ns	3258.0ns	2379.3ns	613.3ns
Error	21	90	447	466	2948	4214	3625	2367	5359	6812	6759	7385	5980	4216	1858	1678	838
CV (%)	-	12.6	16.6	16.9	19.7	24.1	26	22.4	39	42.2	51.4	72.6	94.8	115.8	133	168.5	362.2
Máximo	-	92	166	198	386	410	340	307	291	308	255	189	129	125	101	70	44
Mínimo	-	53	85	70	161	173	110	145	79	94	90	43	10	8	0	0	0
<b>Sequía</b>																	
Repeticiones	2	166.6ns	254.1ns	184.4ns	5576.5ns	329.8ns	6017.0ns	1266.0ns	8871.9ns	8582.5ns	4199.2ns	2387.2ns	2033.1ns	5955.4**	1733.4*	239.7ns	-
Variedades (V)	11	522.2**	2848.3**	2694.7**	7768.5*	10751.3*	8442.4*	4585.6*	5556.1ns	6538.3ns	2764.1ns	3060.0ns	2509.8ns	1279.9ns	504.9ns	223.4ns	-
Error	21	54	320	272	2899	2990	2036	1784	4112	3976	2206	2595	2771	570	474	280	-
CV (%)	-	10.4	14.5	13.9	21.5	22.5	22.7	23.5	45.2	53.7	66.8	79.9	125	102.6	187.7	342.6	-
Máximo	-	92	185	161	359	329	306	255	201	244	113	117	78	54	34	27	0
Mínimo	-	46	68	64	176	166	137	131	80	58	28	12	5	0	0	0	0
<b>Análisis combinado</b>																	
Repeticiones	2	346.1*	69.7ns	378.4ns	2454.9ns	768.5ns	3841.5ns	6184.9ns	9161.3ns	7378.3ns	6116.4ns	10757.5ns	320.7ns	2958.5ns	1435.9ns	204.1ns	57.5ns
Nivel de humedad (NH)	1	267.9ns	244.1ns	1167.2ns	11899.5ns	12030.4ns	11070.7ns	25198.6**	35925.4*	110778.2**	114874.7**	86991.2**	28235.6*	19812.3*	8296.0*	7086.5*	1145.5ns
NH*V	11	42.9ns	293.7ns	240.6ns	3690.4ns	2551.5ns	3724.3ns	1809.1ns	4214.5ns	9232.5ns	6182.5ns	3917.1ns	3415.2ns	2659.0ns	1619.1ns	1200.0ns	306.6ns
Error	45	70	381.1	387.4	2927.7	3429	2880.7	2013.1	4575.8	5189.9	4381.2	5685.1	4256.9	2474.2	1160.9	955.9	394.3
CV (%)	-	11.5	15.6	15.9	20.6	22.9	25.3	22.6	41.2	46.2	57.8	76.9	105.9	126.1	155.9	213.9	505.9
Máximo	-	92	174	179	355	355	311	281	245	236	171	137	98	80	58	38	22
Mínimo	-	49	77	67	168	172	123	141	95	109	74	43	10	15	0	0	0

\*\* (P≤0.01), \*(P≤0.05), ns.= No significativo. CV= Coeficiente de variación; gl= Grados de libertad.

**Cuadro 5.2A Cuadrados medios para el rendimiento de semilla y sus componentes, y fenología de la planta. Ciclo primavera-verano 2014. Montecillo, Texcoco, Estado de México.**

FV	gl	RS	BMAF	VN P <sup>-1</sup>	SN P <sup>-1</sup>	IC <sub>m</sub>	A	MF
<b>Análisis individual</b>								
<b>Riego</b>								
Repeticiones	2	4.1ns	15.5ns	16.9**	26.9ns	20.6ns	1.1ns	0.9ns
Variedades (V)	11	25.6**	52.5**	23.3**	354.8**	70.9*	7.3**	26.3**
Error	21	3.8	5.6	1.04	52.5	19.6	0.8	1.8
CV (%)	-	14.7	8.9	8.1	14.7	9	1.8	1.5
Máximo		18.6	35.2	19	76.5	57.5	53	95
Mínimo		9.6	21.9	7.5	30.5	40	48	85
<b>Sequía</b>								
Repeticiones	2	0.9ns	5.9ns	1.1ns	14.7ns	15.2*	2.5ns	7.4ns
Variedades (V)	11	5.3*	15.5**	8.7**	127.1**	71.5**	10.1**	31.2**
Error	21	1.4	2.2	0.9	11.7	3	1.3	3.8
CV (%)	-	15.1	8.2	11.8	12.4	4.1	2.4	2.2
Máximo		10.3	21.5	11.5	39.5	53	52	92
Mínimo		5.9	13.3	6	15.5	33	46	83
<b>Análisis combinado</b>								
Repeticiones	2	5.3ns	16.3*	15.1**	34.9ns	4.2ns	2.3ns	3.6ns
Nivel de humedad (NH)	1	568.8**	1301.0**	253.6**	5981.0**	567.1**	20.7**	222.6**
NH*V	11	7.9*	15.7**	253.6**	127.7**	61.7*	1.3ns	8.9*
Error	46	2.5	3.9	0.9	29.5	14.8	1.1	3
CV (%)	-	14.9	8.9	9.4	14.4	8.3	2.1	1.9
Máximo		14.3	26.9	14.7	53.8	54.5	52	93
Mínimo		7.7	17.9	6.8	23.3	40.5	47	84
<b>Diferencia Riego – Sequía</b>								
Repeticiones	2	0.5ns	14.5ns	6.3ns	75.7ns	32.7ns	1.7ns	5.4ns
Variedades	11	16.5*	29.1**	10.7*	148.5ns	56.6ns	1.7ns	10.6*
Error	-	5.7	5.4	2.1	76.7	27.1	0.9	3.5
CV (%)	-	41.8	27.4	35.8	42.6	61.3	69.1	45.8
Máximo	-	9.9	13.4	9	40	18.5	3	7.7
Mínimo	-	2.8	4.6	0.5	7.5	2	0	1.3

RS = Rendimiento de semilla (g); BMAF = Biomasa aérea final (g); IC<sub>m</sub> = Índice de cosecha *modificado* (%); VN P<sup>-1</sup> = Vainas normales planta<sup>-1</sup>; SN P<sup>-1</sup> = Semillas normales planta<sup>-1</sup>; A = Número de días a antesis; MF = Número de días a madurez fisiológica; \*\* (P≤0.01), \*(p ≤ 0.05), ns.= No significativo. CV= Coeficiente de variación; gl= Grados de libertad.

**Cuadro 5.3A Cuadrados medios para la biomasa de raíces en diferentes estratos del suelo, biomasa total de raíces, biomasa total de la planta, cociente raíz/parte aérea y máxima longitud de raíz. Ciclo primavera-verano 2014. Montecillo, Texcoco, Estado de México.**

FV	gl	Estratos del suelo					BMTR (g)	BMT (g)	Raíz/parte aérea	MLR (cm)
		0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	60-80 cm	80-100 cm				
<b>Análisis individual</b>										
<b>Riego</b>										
Repeticiones	2	0.1*	0.003ns	0.003ns	-	-	0.1ns	14ns	0.0002*	8ns
Variedades (V)	11	0.2**	0.1**	0.1**	-	-	0.7**	57**	0.001**	123**
Error	21	0.03	0.004	0.01	-	-	0.1	6	0.0001	11
CV (%)	-	21.6	14.4	44.8	-	-	14.6	9	14.9	6
Máximo	-	1.2	0.7	0.5	-	-	2	37	0.09	63
Mínimo	-	0.5	0.3	0.1	-	-	1	23	0.04	43
<b>Sequía</b>										
Repeticiones	2	0.1ns	0.1ns	0.1ns	0.01ns	0.001ns	0.03ns	6*	0.001ns	17ns
Variedades (V)	11	0.6*	0.2*	0.1*	0.02*	0.003*	1**	17**	0.01*	499**
Error	21	0.1	0.1	0.03	0.01	0.0002	0.2	2	0.02	17
CV (%)	-	23.3	26.8	41.3	41.1	20.5	13.8	6	22.1	5
Máximo	-	2.6	1.3	0.8	0.3	0.2	4	25	0.29	97
Mínimo	-	1.2	0.5	0.2	0.03	0.02	2	17	0.13	63
<b>Análisis combinado</b>										
Repeticiones	2	0.1ns	0.04ns	0.05ns	0.01ns	0.001ns	0.04ns	15*	0.001ns	22ns
Nivel de humedad (NH)	1	17.7**	3.0**	0.5**	0.03*	-	54.5**	819**	0.29**	10383**
NH*V	11	0.2*	0.1*	0.1*	0.01ns	-	0.4*	14**	0.002*	175**
Error	46	0.1	0.03	0.02	0.01	0.002	0.1	4	0.001	14
CV (%)	-	23.3	25.7	44.3	43.1	20.5	14.9	8	24.5	5
Máximo	-	1.7	0.9	0.5	0.3	0.2	3.1	30	0.19	81
Mínimo	-	0.9	0.4	0.2	0.03	0.02	1.7	21	0.09	58
<b>Diferencia Riego – Sequía</b>										
Repeticiones	2	0.3ns	0.03ns	0.05ns	-	-	0.3ns	10.6ns	0.001ns	25.2ns
Variedades	11	0.4*	0.2*	0.04ns	-	-	0.8**	24.4**	0.003ns	256.7**
Error	-	0.1	0.05	0.03	-	-	0.2	4.9	0.002	27.2
CV (%)	-	38.1	51.7	76.8	-	-	23.6	32.3	31.9	19.4
Máximo	-	1.8	0.9	0.5	-	-	2.7	11.2	0.2	38.0
Mínimo	-	0.5	0.1	0.1	-	-	0.8	2.5	0.1	3.0

BMTR = Biomasa total de raíces; BMT = Biomasa total de la planta; MLR = Máxima longitud de raíz. \*\* ( $P \leq 0.01$ ), \* ( $P \leq 0.05$ ), ns. = No significativo. CV = Coeficiente de variación; gl = Grados de libertad.

**Cuadro 5.4A Cuadrados medios para la eficiencia transpiratoria para producir biomasa total (ET<sub>BMT</sub>) y transpiración total (T<sub>T</sub>) de la planta. Ciclo primavera-verano 2014. Montecillo, Texcoco, Estado de México.**

FV	gl	ET <sub>BMT</sub>	T <sub>T</sub>
<b>Análisis individual</b>			
<b>Riego</b>			
Repeticiones	2	1.0*	1.3ns
Variedades (V)	11	0.9**	0.9ns
Error	21	0.1	0.8
CV (%)	-	10.5	10.3
Máximo	-	4.5	9.3
Mínimo	-	2.8	7.7
<b>Sequía</b>			
Repeticiones	2	1.6ns	0.2ns
Variedades (V)	11	17.4**	1.3**
Error	21	1.2	0.2
CV (%)	-	13.3	15.4
Máximo	-	13.2	3.4
Mínimo	-	5.9	1.6
<b>Análisis combinado</b>			
Repeticiones	2	3.3*	3.2*
Nivel de humedad (NH)	1	389.2**	535.9**
NH*V	11	8.5**	1.2ns
Error	46	0.6	0.4
CV (%)	-	13.8	11.9
Máximo	-	8	5.9
Mínimo	-	4.3	4.6
<b>Diferencia Riego – Sequía</b>			
Repeticiones	2	1.2ns	1.0ns
Variedades (V)	11	16.4**	2.2ns
Error	-	1.3	1.3
CV (%)	-	23.1	19.4
Máximo	-	10.3	7.8
Mínimo	-	2.6	4.2

\*\* (P≤0.01), \*(P≤0.05), ns. = No significativo. CV= Coeficiente de variación; gl= Grados de libertad.

**Cuadro 5.5A Área foliar (cm<sup>2</sup>) durante el ciclo biológico de las plantas en riego. Ciclo primavera-verano 2014. Montecillo, Texcoco, Estado de México.**

Variedades	Días después de la siembra															
	18	23	28	33	38	43	48	53	58	63	68	73	78	83	88	93
FM M38	76	151	166	295	370	340	278	291	177	144	169	114	76	15	0	0
FM Sol	69	130	112	277	277	195	262	191	275	241	174	88	95	101	70	7
FM RMC	83	127	105	280	242	197	213	178	138	137	180	129	125	94	44	44
FM Anita	58	99	86	188	173	152	151	79	94	98	117	104	64	56	63	19
FM Noura	73	112	121	279	212	219	200	253	229	255	188	97	14	0	0	0
FM 2000	82	115	123	271	273	193	193	153	169	157	189	116	53	28	39	0
Negro Veracruz	92	163	198	351	310	279	282	210	289	239	140	18	8	7	0	0
Michoacán 128	84	111	110	255	227	169	164	160	160	113	77	49	44	43	19	0
FM Bajío	53	85	70	161	183	110	145	99	161	157	114	124	117	50	68	25
FM Corregidora	75	143	120	222	210	240	185	177	152	120	43	10	32	0	0	0
Negro Cotaxtla 91	78	166	162	386	342	284	307	273	308	198	156	97	23	0	0	0
Criollo San Andrés	74	127	153	349	410	314	241	190	224	90	67	34	35	17	4	0
<b>Media general</b>	<b>75</b>	<b>127</b>	<b>128</b>	<b>276</b>	<b>269</b>	<b>225</b>	<b>217</b>	<b>188</b>	<b>196</b>	<b>160</b>	<b>133</b>	<b>82</b>	<b>56</b>	<b>32</b>	<b>24</b>	<b>8</b>
DMS(P≤0.05)	16	37	37	94	113	104	84	127	143	142	168	134	113	75	71	50

**Cuadro 5.6A Área foliar (cm<sup>2</sup>) durante el ciclo biológico de las plantas en sequía. Ciclo primavera-verano 2014. Montecillo, Texcoco, Estado de México.**

Variedades	Días después de la siembra															
	18	23	28	33	38	43	48	53	58	63	68	73	78	83	88	93
FM M38	72	139	154	271	329	283	239	200	131	33	59	5	0	0	0	0
FM Sol	62	100	102	222	250	162	210	80	86	82	92	66	54	30	13	0
FM RMC	75	113	102	256	247	211	189	143	113	48	37	21	0	0	0	0
FM Anita	57	94	89	246	171	175	131	155	149	92	96	54	40	34	12	0
FM Noura	69	121	133	224	232	224	190	201	244	88	80	23	17	20	0	0
FM 2000	89	129	111	181	168	141	139	176	115	97	54	59	39	17	0	0
Negro Veracruz	92	185	161	359	290	189	156	116	96	28	25	78	26	0	0	0
Michoacán 128	76	106	101	245	239	193	167	102	58	35	12	5	0	0	0	0
FM Bajío	45	68	64	176	166	137	145	90	83	79	92	73	44	18	6	0
FM Corregidora	66	130	122	249	194	155	157	126	97	45	43	9	0	0	0	0
Negro Cotaxtla 91	80	164	161	316	327	306	255	194	129	104	117	78	46	20	27	0
Criollo San Andrés	65	132	130	254	301	214	184	118	109	113	59	35	14	0	0	0
<b>Media general</b>	<b>71</b>	<b>123</b>	<b>119</b>	<b>250</b>	<b>243</b>	<b>199</b>	<b>180</b>	<b>142</b>	<b>117</b>	<b>70</b>	<b>64</b>	<b>42</b>	<b>23</b>	<b>12</b>	<b>5</b>	<b>0</b>
DMS(P≤0.05)	12	30	28	91	93	76	72	109	107	80	86	89	40	37	28	0

**Cuadro 5.7A Área foliar (cm<sup>2</sup>) durante el ciclo biológico de las plantas en riego y sequía. Ciclo primavera-verano 2014. Montecillo, Texcoco, Estado de México.**

Niveles de	Días después de la siembra															
	18	23	28	33	38	43	48	53	58	63	68	73	78	83	88	93
Humedad																
Riego	75	127	128	276	269	225	217	188	196	160	133	82	56	32	24	8
Sequía	71	123	119	250	243	199	180	142	117	70	64	42	23	12	5	0
DMS(P≤0.05)	4	9	9	26	28	26	21	32	34	32	36	31	24	16	15	9