



# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

**INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS  
AGRÍCOLAS**

**CAMPUS MONTECILLO**

**POSTGRADO DE BOTÁNICA**

## **ANÁLISIS DE CRECIMIENTO DE GENOTIPOS DE MAÍZ DE VALLES ALTOS EN COMPETENCIA CON MALEZA**

**SELENE MARIANA SÁNCHEZ MENDOZA**

**T E S I S**  
**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL**  
**PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS**

**MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO**

**2015**

La presente tesis titulada: **Análisis de crecimiento de genotipos de maíz de Valles Altos en competencia con maleza**, realizada por la alumna: Selene Mariana Sánchez Mendoza bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

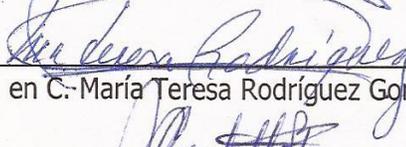
MAESTRO EN CIENCIAS  
BOTÁNICA

CONSEJO PARTICULAR

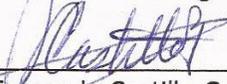
CONSEJERO

  
\_\_\_\_\_  
Dr. José Alberto Salvador Escalante Estrada

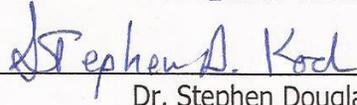
ASESORA

  
\_\_\_\_\_  
M. en C. María Teresa Rodríguez González

ASESOR

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Fernando Castillo González

ASESOR

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Stephen Douglas Koch Olt

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Junio de 2015

# **ANÁLISIS DE CRECIMIENTO DE GENOTIPOS DE MAÍZ DE VALLES ALTOS EN COMPETENCIA CON MALEZA**

Selene Mariana Sánchez Mendoza, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2015

## **Resumen**

El maíz es el cultivo de mayor importancia en México, en los Valles Altos del centro del país su representatividad es alta, aunque el rendimiento es bajo comparado con otras regiones. Entre los factores que limitan el crecimiento y rendimiento del maíz se identifica a la maleza, pero la tolerancia de los genotipos de maíz hacia ésta, es diferencial. El objetivo general de este trabajo consistió en evaluar cinco genotipos (cuatro híbridos y una población nativa) de maíz cultivados en los Valles Altos del centro de México a través del análisis de crecimiento y determinar el efecto de la duración del periodo de competencia con maleza en el crecimiento y rendimiento de éstos. El estudio se llevó a cabo en el ciclo primavera-otoño de 2012, bajo condiciones de lluvia estacional en Montecillo, Texcoco, Estado de México. Los tratamientos fueron cinco genotipos de maíz híbridos H-48, H-50, H-53AE y H-57, y una población nativa de maíz de grano azul (criollo) cv. San Miguelito y cuatro periodos de competencia con maleza: 0, 30, 60 y 90 días a partir de la siembra. La ocurrencia de las etapas fenológicas, las temperaturas máximas y mínimas, la precipitación y la radiación interceptada fueron registradas. El área foliar (AF), la biomasa (BT), el rendimiento de grano (RG) y sus componentes en el maíz, así como la biomasa (BTmal), frecuencia, cobertura y densidad de la maleza (DP) fueron determinadas. Se calcularon el índice de área foliar (IAF), la duración del área foliar (DAF), la tasa media de crecimiento del cultivo (TCC), la tasa media de asimilación neta (TAN), el coeficiente de extinción de luz y el

índice de cosecha (IC) del maíz. En la maleza, se calculó el índice de valor de importancia (IVI) de las especies. Los resultados indican que la duración de las etapas fenológicas en el maíz no es afectada por el periodo de competencia con maleza. La dinámica de acumulación de biomasa mostró un patrón de curva sigmoidea, el IAF un patrón de polinomio de segundo grado, la tasa media de crecimiento del cultivo un comportamiento de campana de Gauss y la tasa media de asimilación neta una curva cuadrática. Se encontraron diferencias estadísticas significativas por efectos del genotipo, periodos de competencia con maleza y su interacción para el índice de área foliar (IAF), la BT, el RG y sus componentes. Libre de competencia con maleza, H-48 tuvo el ciclo de cultivo más corto (155 d a R6), la mayor DAFT, altas TAN y los RG e IC más altos del estudio. La tasa media de crecimiento del cultivo y la de asimilación neta fueron afectadas por el periodo de competencia con maleza, las más altas se registraron con 30 días de competencia. La biomasa total más alta se presentó en el criollo Azul con 30 días de competencia. H-50 mostró el rendimiento más alto del estudio cuando el periodo de competencia con maleza fue de 30 días. Los híbridos disminuyeron la biomasa total y el rendimiento de grano después de 30 días de competencia con maleza, mientras el criollo Azul antes de esta fecha. H-48 fue el genotipo más tolerante a la competencia con maleza y el criollo Azul el menos tolerante. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la composición del dosel entre genotipos. H-48 y H-50 mostraron el coeficiente más alto de extinción de luz y radiación interceptada. La composición del dosel tuvo influencia sobre el rendimiento de grano. Las variables morfológicas más importantes fueron el tamaño de la hoja en la que se inserta la mazorca, el IAF, el dosel semierecto y una distribución del área foliar adecuada para la filtración e intercepción de la radiación solar. La densidad y biomasa de la maleza no fueron afectadas por la asociación con los genotipos de maíz, las diferencias se atribuyen a la distribución por conglomerados de la

maleza en campo. La composición florística de la comunidad de maleza estuvo dominada por las familias Asteraceae y Poaceae. Las especies con mayor IVI fueron *Portulaca oleraceae* L., *Amaranthus hybridus* L. y *Simsia amplexicaulis* (Cav.) Pers.

**Palabras clave:** *Zea mays* L. subsp. *mays*; tasa de crecimiento del cultivo; índice de área foliar; dosel; índice de valor de importancia

# **GROWTH ANALYSIS OF HIGH VALLEYS MAIZE GENOTYPES IN COMPETITION WITH WEEDS**

Selene Mariana Sánchez Mendoza, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2015

## **Abstract**

Maize is the most important crop in Mexico. It is representative in the Highlands of central Mexico, although the grain yield is low compared to other regions. Weeds constitute one of the factors that limit growth and grain yield of maize, but tolerance of maize genotypes to weeds is differential. The overall aim of this work was to evaluate five maize genotypes (four hybrids and one native population “criollo”) grown in the highlands of central Mexico using growth analysis and to determine the effect of the duration of weed competition on maize growth and grain yield. The study was carried out in Montecillo, State of Mexico under rainfed conditions in the spring-fall of 2012. Treatments were five maize genotypes: hybrids H-48, H-50, H-53AE and H-57, and a native maize population of blue grain, “criollo” cv. San Miguelito) and four weed competition periods: 0, 30, 60 and 90 days from sowing. The occurrence of phenological stages, maximum and minimum temperatures and rainfall were recorded. Leaf area, total biomass, grain yield and its components in maize, as well as the biomass, frequency, coverage and density of weeds were determined. The leaf area index (LAI), total leaf area duration (TLAD), average crop growth rate ( $\overline{GCR}$ ), average net assimilation rate ( $\overline{NAR}$ ), light extinction coefficient (k) and the intercepted radiation (IR) were calculated in maize. The importance value index (IVI) of weed species was calculated. Results indicate that phenological stages duration in maize are not affected by the weed competition period. Biomass accumulation dynamics of genotypes showed a sigmoid curve pattern, LAI follows a second-degree polynomial pattern,  $\overline{GCR}$  a behavior of Gauss bell shape

and the  $\overline{NAR}$  a quadratic curve. Statistical differences by effect of genotype, weed competition period, and their interaction were observed for LAI, TB, GY and its components. Free of weed competition, H-48 had the shorter crop cycle (155 days to physiological maturity), the highest TLAD, high  $\overline{NAR}$  and the highest GY and HI of the study. The average crop growth rate and average net assimilation rate were affected by the weed competition period; the highest was recorded with 30 days of competition. The highest TB was presented by the “criollo” with 30 days of competition. H-50 showed the highest GY of this study when the weed competition period was of 30 days. The hybrids decreased TB and GY after 30 days of weed competition, whereas the “criollo” before this date. H-48 was the most tolerant to weed competition, the “criollo” showed the least tolerance to weed pressure. Statistically significant differences were found in canopy composition between genotypes. H-48 and H-50 showed the highest light extinction coefficient and intercepted radiation. Canopy composition had influence on grain yield. The ear leaf area, LAI, semi-upright canopy and an adequate leaf area distribution were the most important morphological variables. Weed density and biomass were not affected by the association with maize genotypes, the differences are attributed to aggregated distribution of weed in the field. Weed floristic composition was dominated by Asteraceae and Poaceae families. The species with the highest IVI were *Portulaca oleraceae* L., *Amaranthus hybridus* L. and *Simsia amplexicaulis* (Cav.) Pers.

**Key words:** *Zea mays* L. subsp. *mays*; crop growth rate; leaf area index; maize canopy; importance value index.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo económico otorgado para la realización de mis estudios de maestría.

Al Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología (COMECyT) por el apoyo económico brindado para la conclusión de esta tesis.

Al Colegio de Postgraduados por la formación académica y personal que me permitió obtener a través de sus instalaciones y personal académico.

Al Dr. José Alberto Salvador Escalante Estrada por aceptarme como su aconsejada y asesorarme oportunamente en la realización de esta investigación.

A la M. en C. María Teresa Rodríguez González por las enseñanzas académicas y personales.

Al Dr. Stephen Douglas Koch Olt por el empeño puesto en la enseñanza de la Sistemática y Taxonomía vegetal, así como, por los comentarios y correcciones a este manuscrito.

Al Dr. Fernando Castillo González por los comentarios y sugerencias brindados para el mejoramiento de la tesis.

Al Dr. Alejandro Espinosa Calderón por proporcionarnos la semilla de los híbridos generados por el INIFAP y por haberme iniciado en el estudio del maíz.

Al Dr. Eduardo García Villanueva por la amistad y el conocimiento brindado sin limitantes.

A todos los que fueron mis profesores durante los estudios de maestría, por su dedicación a la enseñanza.

A las personas que me dieron la oportunidad de conocerlos y conocerme, mismos que ahora puedo llamar amigos. En especial a Mony, Juan, Moi, Salomé y Leo.

A mis casi hermanos del laboratorio de Ecofisiología, por enseñarme y compartir. Gracias a Cid, Rafa, Yasmani, Néstor y Jona.

A mi singular y hermosa familia, por estar siempre cerca y apoyándome en todo lo que he deseado emprender. Mucho de lo que he logrado es gracias a ustedes.

A Nicolás y a Leo por darme las alegrías más grandes de mi vida.

*No acepten lo habitual como una cosa natural,  
pues en tiempos de confusión organizada,  
de arbitrariedad consciente,  
de humanidad deshumanizada,  
nada debe ser natural,  
nada debe ser imposible de cambiar.*

B. Brecht, 1978

## CONTENIDO

	<b>Página</b>
<b>INTRODUCCIÓN GENERAL</b>	1
Objetivo general	3
Literatura citada	4
<b>CAPÍTULO I. ANÁLISIS DE CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE GENOTIPOS DE MAÍZ EN VALLES ALTOS DE MÉXICO</b>	
Resumen en español	1
Resumen en inglés (Abstract)	2
Introducción	3
Materiales y método	
Área de estudio	4
Material genético	4
Arreglo de tratamientos y diseño experimental	6
Variables meteorológicas y fenológicas	7
Variables fisiológicas	7
Índices calculados	8
Análisis estadístico	9
Resultados y Discusión	
Elementos meteorológicos y fenología	9
Requerimientos hídricos y calóricos	11
Índice de área foliar máximo (IAF <sub>máx</sub> ), duración del área foliar en periodo vegetativo (DAFP <sub>v</sub> ) y reproductivo (DAFP <sub>r</sub> ) y duración del área foliar total (DAFT)	12
Dinámica del índice de área foliar	15
Dinámica de acumulación de biomasa	16
Tasa media de crecimiento del cultivo ( $\overline{TCC}$ )	18
Tasa media de asimilación neta ( $\overline{TAN}$ )	20
Biomasa, rendimiento y sus componentes	22

Conclusiones	24
Literatura citada	26

## **CAPÍTULO II. CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE GENOTIPOS DE MAÍZ DE VALLES ALTOS EN COMPETENCIA CON MALEZA**

Resumen en español	31
Resumen en inglés (Abstract)	32
Introducción	33
Materiales y método	
Área de estudio	35
Material genético	36
Diseño experimental y manejo del experimento	36
Variables meteorológicas y fenológicas	38
Variables morfológicas y fisiológicas	38
Índices calculados	39
Análisis estadístico	40
Resultados y discusión	
Especies de maleza registradas en el estudio	40
Variables meteorológicas y fenología de los cultivares	43
Requerimientos hídricos y calóricos	44
Índice de área foliar máximo y duración del área foliar en periodo vegetativo y reproductivo	47
Dinámica del índice de área foliar	49
Tasa media de crecimiento del cultivo ( $\overline{TCC}$ )	53
Tasa media de asimilación neta ( $\overline{TAN}$ )	58
Biomasa, rendimiento y sus componentes	62
Genotipo	63
Periodo de competencia con maleza	64
Interacción genotipo*periodo de competencia con maleza	65
Reducción de BIO y RG por efecto de la interacción GEN*PCM	67
Conclusiones	69
Literatura citada	71

### **CAPÍTULO III. ÁREA Y ÁNGULO FOLIAR, COEFICIENTE DE EXTINCIÓN DE LUZ Y SU RELACIÓN CON LA BIOMASA Y RENDIMIENTO EN GENOTIPOS DE MAÍZ**

Resumen en español	77
Resumen en inglés (Abstract)	79
Introducción	80
Materiales y método	
Área de estudio	82
Diseño de tratamientos, diseño experimental, manejo y análisis estadístico	82
Variables meteorológicas y fenología	83
Variables morfológicas	83
Variables fisiológicas	84
Resultados y Discusión	
Variables meteorológicas y fenología de los cultivares	85
Número de hojas verdes (NHV), área foliar por hoja (AFH), área foliar por planta (AFP) e índice de área foliar (IAF)	87
Altura de planta	89
Perfil vertical del área foliar	90
Posición de la mazorca en el tallo	92
Área foliar de la hojas en que se inserta la mazorca	92
Área foliar acumulada y número de hojas por arriba de la mazorca	93
Ángulo de inserción foliar	95
Coeficiente de extinción de luz	97
Biomasa y rendimiento de grano	102
Conclusiones	106
Literatura citada	107

### **CAPÍTULO IV. COMPOSICIÓN Y PRODUCTIVIDAD DE LA COMUNIDAD DE ARVENSES ASOCIADA A CINCO GENOTIPOS DE MAÍZ DE VALLES ALTOS**

Resumen en español	112
Resumen en inglés (Abstract)	114
Introducción	115
Materiales y método	
Área de estudio	117

Material genético	118
Diseño experimental y manejo del experimento	118
Variables registradas para la maleza y cálculo de atributos de la comunidad	120
Variables registradas para maíz	120
Análisis estadístico	121
<b>Resultados y Discusión</b>	
Fenología de cultivares	121
Densidad total de maleza (DP) y rendimiento de grano de maíz (RG)	123
Biomasa de maleza y maíz	127
Composición florística de la comunidad de maleza	131
Análisis de las especies de mayor importancia en el cultivo de maíz a los 30, 60 y 90 dds	135
Conclusiones	143
Literatura citada	144
<b>CONCLUSIONES GENERALES</b>	149

## LISTA DE CUADROS

### Capítulo I

	<b>Página</b>
<b>Cuadro 1.</b> Principales características agronómicas de cinco cultivares de maíz de Valles Altos	6
<b>Cuadro 2.</b> Requerimientos térmicos e hídricos para la ocurrencia de etapas fenológicas en cinco genotipos de maíz. Montecillo, México. Mayo-Noviembre, 2012	13
<b>Cuadro 3.</b> Índice de área foliar (IAF) máximo y duración del área foliar (DAF) en periodo vegetativo (DAFPv), reproductivo (DAFPr) Total (DAFT) de cinco genotipos de maíz. Montecillo, México. Mayo-Noviembre, 2012	14
<b>Cuadro 4.</b> Modelos que describen la dinámica del IAF de cinco genotipos de maíz. Montecillo, México. Mayo-Noviembre, 2012	15
<b>Cuadro 5.</b> Modelos logísticos que describen la acumulación de biomasa durante el ciclo de cultivo de cinco cultivares de maíz de Valles Altos. Montecillo, México. Mayo-Noviembre, 2012	17
<b>Cuadro 6.</b> Modelos Gaussianos que describen la dinámica de la $\overline{TCC}$ de cinco genotipos de maíz. Montecillo, México. Mayo-Noviembre, 2012	19
<b>Cuadro 7.</b> Modelos que describen la dinámica de la tasa media de asimilación neta de cinco genotipos de maíz. Montecillo, México. Mayo-Noviembre, 2012	21
<b>Cuadro 8.</b> Biomasa total, rendimiento de grano y componentes de cinco genotipos de maíz. Montecillo, México. Mayo-Noviembre, 2012	24

### Capítulo II

<b>Cuadro 1.</b> Diseño de tratamientos del estudio de cinco cultivares de maíz de Valles Altos en competencia con maleza. Montecillo, México. Mayo-Noviembre, 2012	37
<b>Cuadro 2.</b> Especies de maleza asociadas a cinco cultivares de maíz de Valles Altos. Montecillo, México. Primavera-Otoño, 2012	41

<b>Cuadro 3.</b>	Requerimientos térmicos e hídricos para la ocurrencia de etapas fenológicas en cinco cultivares de maíz	46
<b>Cuadro 4.</b>	IAF máximo y DAF en periodo vegetativo (DAFPv), reproductivo (DAFP <sub>r</sub> ) y DAFT por cultivar y periodo de competencia	47
<b>Cuadro 5.</b>	Modelos cuadráticos que describen la dinámica del IAF de cinco genotipos de maíz. Montecillo, México. Mayo-Noviembre, 2012. a = H-48; b = H-50; c = H-53AEAE; d = H-57 y e = Criollo Azul	52
<b>Cuadro 6.</b>	Modelos de campana de Gauss que describen la TCC de cinco genotipos de maíz. Montecillo, México. Mayo-Noviembre, 2012	57
<b>Cuadro 7.</b>	Modelos cuadráticos que describen la dinámica de la TAN de cinco genotipos de maíz en competencia con maleza (0, 30, 60 y 90 ddc). Montecillo, México. Mayo-Noviembre, 2012. a = H-48; b = H-50; c = H-53AE; d = H-57 y e = Criollo Azul	61
<b>Cuadro 8.</b>	Biomasa total, rendimiento de grano y componentes de cinco cultivares de maíz bajo cuatro periodos de competencia con maleza	63

### Capítulo III

<b>Cuadro 1.</b>	Precipitación pluvial (Ppt, suma semanal), precipitación pluvial acumulada (Ppt <sub>ac</sub> , suma acumulativa por decenas), temperaturas máximas (T <sub>máx</sub> , promedio decenal) y mínimas (T <sub>mín</sub> , promedio decenal) durante el desarrollo decinco genotipos de maíz. Montecillo, México. Mayo-Noviembre, 2012	86
<b>Cuadro 2.</b>	Número de hojas verdes por planta (NHV), área foliar promedio por hoja (AFH, cm <sup>2</sup> ), área foliar total por planta (AFP, cm <sup>2</sup> ), índice de área foliar (IAF) y altura de planta hasta la hoja bandera (ALThb, cm <sup>2</sup> ) a los 100 dds de cinco genotipos de maíz de Valles Altos. Primavera-Otoño, 2012	88
<b>Cuadro 3.</b>	Área foliar por arriba de la mazorca (AFpa, dm <sup>2</sup> ) y número de hojas por arriba de la mazorca (NHpa) de cinco genotipos de maíz de Valles Altos, 100 dds. Primavera-Otoño, 2012	94

<b>Cuadro 4.</b>	Ángulo de inserción (° de inclinación con respecto al tallo) de las hojas por abajo, alrededor, por arriba de la mazorca y promedio de todas las hojas verdes a los 100 dds de cinco genotipos de maíz de Valles Altos. Primavera-Otoño, 2012	96
<b>Cuadro 5.</b>	Coefficiente de extinción de luz (k) a 60, 90, 150 y 210 cm de altura y radiación solar interceptada (RI, en la base de la planta) de cinco genotipos de maíz de Valles Altos. 100 dds. Primavera-Otoño, 2012	100
<b>Cuadro 6.</b>	Biomasa total (BT, g m <sup>-2</sup> ) y rendimiento de grano (RG, g m <sup>-2</sup> ) a madurez fisiológica de cinco genotipos de maíz de Valles Altos. Primavera-Otoño, 2012	103

#### **Capítulo IV**

<b>Cuadro 1.</b>	Diseño de tratamientos del estudio de cinco cultivares de maíz de Valles Altos en competencia con maleza. Montecillo, México. Mayo-Noviembre, 2012	119
<b>Cuadro 2.</b>	Densidad de maleza y rendimiento de grano en función del genotipo y periodo de competencia de cinco genotipos de maíz de Valles altos. Montecillo, México. Primavera-Otoño, 2012	125
<b>Cuadro 3.</b>	Biomasa de maleza (BTmal), maíz (BTmaíz), y biomasa total (BIO maíz+maleza) en función del genotipo y periodo de competencia de cinco genotipos de maíz de Valles altos. Montecillo, México. Primavera-Otoño, 2012	128
<b>Cuadro 4.</b>	Especies de maleza que ocurrieron en el cultivo de cinco genotipos de maíz de Valles Altos. Montecillo, México. Primavera-Otoño, 2012	133
<b>Cuadro 5.</b>	Especies de maleza de la clase Magnoliópsida e índice de valor de importancia (IVI) a los 30, 60 y 90 dds en el cultivo de cinco genotipos de maíz de Valles Altos. Montecillo, México. Primavera-Otoño, 2012	136
<b>Cuadro 6.</b>	Especies de maleza de la clase Liliópsida e índice de valor de	

importancia (IVI) a los 30, 60 y 90 dds en el cultivo de cinco genotipos de maíz de Valles Altos. Montecillo, México. Primavera-Otoño, 2012	137
<b>Cuadro 7.</b> Prueba de Friedman para el índice de valor de importancia (IVI) en las dicotiledóneas de mayor relevancia en función del PCM	141
<b>Cuadro 8.</b> Prueba de Friedman para el índice de valor de importancia (IVI) en las monocotiledóneas de mayor relevancia en función del PCM	143

## LISTA DE FIGURAS

### Capítulo I

	<b>Página</b>
<b>Figura 1.</b> Distribución de la precipitación pluvial (Ppt, suma semanal), evaporación (Evp, suma decenal), temperaturas máximas (Tmáx, promedio decenal) y mínimas (Tmín, promedio decenal) durante el desarrollo de cinco genotipos de maíz. Montecillo, México. Mayo-Noviembre, 2012. S = siembra; VE = Emergencia; R1 = Floración femenina y R6 = Madurez fisiológica.	10
<b>Figura 2.</b> Unidades calor y evapotranspiración acumulada en el ciclo de crecimiento de cinco genotipos de maíz. Montecillo, México. Mayo-Noviembre, 2012	12
<b>Figura 3.</b> Dinámica del IAF de cinco genotipos de maíz. Montecillo, México. Mayo-Noviembre, 2012	15
<b>Figura 4.</b> Dinámica de acumulación de biomasa durante el ciclo de cultivo de cinco genotipos de maíz. Montecillo, México. Mayo-Noviembre, 2012	17
<b>Figura 5.</b> Tasa media de crecimiento del cultivo ( $\text{g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ ) de cinco genotipos de maíz. Montecillo, México. Mayo-Noviembre, 2012	19
<b>Figura 6.</b> Tasa media de asimilación neta ( $\text{g m}^{-2}$ de hoja $\text{día}^{-1}$ ) de cinco genotipos de maíz. Montecillo, México. Mayo-Noviembre, 2012	21

### Capítulo II

<b>Figura 1.</b> Distribución de la precipitación pluvial (suma semanal), evaporación (Evp, suma decenal), temperaturas máximas (Tmáx, promedio decenal) y mínimas (Tmín, promedio decenal) durante el desarrollo cinco genotipos de maíz. Montecillo, México. Mayo-Noviembre, 2012. S = siembra; VE = Emergencia; R1 = Floración femenina y R6 =Madurez fisiológica.	44
<b>Figura 2.</b> Unidades calor y evapotranspiración acumulada en el ciclo de crecimiento de cinco genotipos de maíz	45

<b>Figura 3.</b>	Dinámica del IAF de cinco cultivares de maíz en función de la duración del periodo de competencia con maleza (0, 30, 60 y 90 ddc). Montecillo, México. Mayo-Noviembre, 2012. a = H-48; b = H-50; c = H-53AE; d = H-57 y e = Criollo Azul	51
<b>Figura 4.</b>	Dinámica de la TCC de cinco cultivares de maíz en función de la duración del periodo de competencia con maleza (0, 30, 60 y 90 ddc). Montecillo, México. Mayo-Noviembre, 2012. a = H-48; b = H-50; c = H-53AE; d = H-57 y e = Criollo Azul	56
<b>Figura 5.</b>	Tasa media de asimilación neta ( $\text{g m}^{-2}$ de hoja $\text{día}^{-1}$ ) de cinco cultivares de maíz en competencia con maleza (0, 30, 60 y 90 ddc). Montecillo, México. a = H-48; b = H-50; c = H-53AE; d = H-57 y e = Criollo Azul	60
<b>Figura 6.</b>	Biomasa total de genotipos de maíz expuestos a cuatro periodos de competencia con maleza	66
<b>Figura 7.</b>	Rendimiento de grano de cinco genotipos de maíz expuestos a cuatro periodos de competencia con maleza	67
<b>Figura 8.</b>	Reducción de biomasa total (BT) por efecto de la duración de la competencia con maleza en cinco cultivares de maíz	68
<b>Figura 9.</b>	Reducción del rendimiento de grano por efecto de la duración de la competencia con maleza en cinco cultivares de maíz	69

### Capítulo III

<b>Figura 1.</b>	Medición del ángulo de inserción foliar con respecto al tallo (vertical) por medio de un transportador de madera	84
<b>Figura 2.</b>	Distribución del área foliar individual de cinco genotipos de maíz de Valles Altos (La hoja 1 representa la hoja bandera). Primavera-otoño, 2012. Los marcadores con relleno en negro indican el nudo en el que se insertan la o las mazorcas	91
<b>Figura 3.</b>	Perfil de transmisión de luz de cinco genotipos de maíz de Valles Altos. Datos a los 100 dds. Primavera-otoño, 2012	99

## Capítulo IV

- Figura 1.** Ocurrencia de etapas fenológicas promedio de cinco cultivares de maíz de Valles Altos de México y su relación con el periodo de competencia con maleza (PCM). Montecillo, Estado de México. Primavera-otoño, 2012. VE = Emergencia; R1 = Floración femenina yR6 = Madurez fisiológica 122
- Figura 2.** Atributos de las poblaciones de especies dicotiledóneas con mayor IVI a los 30, 60 y 90 dds en el cultivo de cinco genotipos de maíz de Valles Altos. Montecillo, México. Primavera-Otoño, 2012. POROL = *Portulaca oleracea.*, AMACH = *Amaranthus hybridus*, SIMAM = *Simsia amplexicaulis* 138
- Figura 3.** Atributos de las poblaciones de especies monocotiledóneas con mayor IVI a los 30, 60 y 90 dds en el cultivo de cinco genotipos de maíz de Valles Altos. Montecillo, México. Primavera-Otoño, 2012. PASPR = *Paspalum prostratum*, ELEMU = *Eleusine multiflora*, CYPES = *Cyperus esculentus* 140

## INTRODUCCIÓN GENERAL

El maíz (*Zea mays* subsp. *mays* L.) es el cultivo de mayor volumen de cosecha a nivel mundial. Desde la antigüedad, ha constituido la base de la alimentación y de la reproducción social y cultural de los pueblos mesoamericanos (Reyes, 1990; Kato *et al.*, 2009). En México este cultivo representa el 18% del valor de la producción y el 33% de la superficie agrícola nacional (SIAP, 2013), constituyendo así el cultivo más ampliamente cosechado a nivel nacional.

Entre los factores bióticos que limitan la producción de maíz de manera importante están las enfermedades y plagas, incluyendo a la maleza. En algunos casos, las pérdidas de rendimiento causadas por la maleza son mayores a las causadas en conjunto por enfermedades e insectos, lo cual pone de manifiesto la relevancia del estudio de la competencia ejercida por estos organismos sobre el cultivo (Ripusudan *et al.*, 2001).

La competencia es una interacción biológica que se presenta cuando distintos individuos ejercen demanda sobre un conjunto común de recursos y éstos son limitados (Booth *et al.*, 2003); los más comunes en el agrosistema son el agua, la luz, los nutrientes y el espacio.

El manejo integrado de maleza (MIM), a diferencia del control convencional basado en la aplicación de herbicidas, implica prevenir la producción de nuevos propágulos, reducir su emergencia en los cultivos y maximizar la competencia del cultivo hacia la maleza (Rosales y Medina, 2011). En el MIM todos los aspectos del sistema de cultivo son considerados con el objetivo de reducir el efecto de la competencia de la maleza sobre el rendimiento del cultivo, al tiempo que se minimiza el impacto del cultivo sobre el ambiente (Swanton y Weise, 1991; Tollenaar *et al.*, 1994), por lo que la selección de cultivares de alto rendimiento que sean competitivos con la maleza, es una alternativa en el MIM.

La tolerancia o respuesta competitiva del cultivo se define como la habilidad para soportar el estrés por competencia impuesto por la maleza, sin experimentar reducciones sustanciales en el rendimiento (Callaway, 1992; Jannik *et al.*, 2001; Williams II *et al.*, 2007). Los cultivares de maíz varían en su tolerancia hacia la maleza, misma que puede ser estimada por el buen rendimiento y la capacidad para experimentar las menores reducciones de éste por la competencia con maleza (Callaway, 1992), por lo que debería ser considerada como un atributo importante como criterio de selección en el mejoramiento genético.

El mejoramiento genético de maíz se ha propuesto como una alternativa para optimizar el rendimiento de grano y la resistencia ante condiciones ambientales adversas, por lo cual para la zona de Valles Altos, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) ha desarrollado híbridos de alta productividad como H-48, H-50, H-53AE y H-57. Sin embargo, su presencia en las zonas productoras es incipiente (6%), ya que predomina el cultivo de poblaciones nativas de maíz “criollos” (Kato *et al.*, 2009; Espinosa *et al.*, 2012). La baja tasa de adopción responde a preferencias de los agricultores, pero también a la falta de conocimiento del crecimiento y rendimiento que tienen los cultivares en esta zona.

El análisis de crecimiento (AC) es una herramienta cuantitativa útil para describir y cuantificar el desempeño de un sistema de cultivo en condiciones naturales o controladas, ya que provee un acercamiento explicativo, holístico e integral para interpretar la forma y el comportamiento de las plantas. Agronómicamente, el AC permite adecuar las prácticas de manejo en el cultivo para cada genotipo, así como conocer los caracteres que más contribuyen al rendimiento, lo que podría beneficiar tanto al mejorador de plantas como al agricultor, ya que permite establecer parámetros de selección de manera precisa con base en conocimiento sistematizado sobre la respuesta ecofisiológica del genotipo cultivado (Smith y Smith, 1989; Thomas *et al.*, 2003). El

AC ha sido frecuentemente utilizado para estudiar los factores que influyen en el desarrollo y rendimiento de los cultivos a través del registro de la acumulación de biomasa durante el ciclo de cultivo (Santos *et al.*, 2010).

A la fecha, a pesar de la importancia que representa el aumento de la productividad de maíz en los Valles Altos de México, los estudios centrados en la respuesta del cultivo a la competencia con maleza son escasos, al igual que la información que describe por AC el comportamiento de cultivares (cvs.) de maíz utilizados en esta región. Por lo anterior el objetivo general del presente estudio fue evaluar con base en el AC cuatro híbridos y un criollo de maíz de Valles Altos de México y determinar el efecto de la duración del periodo de competencia con maleza sobre el crecimiento y rendimiento de estos cultivares.

El estudio se presenta en cuatro capítulos. En el capítulo I se describe la acumulación de biomasa y generación del rendimiento de grano y sus componentes, mediante índices del AC como el índice de área foliar (IAF), duración del área foliar (DAF), tasa media de crecimiento del cultivo ( $\overline{TCC}$ ) y tasa media de asimilación neta ( $\overline{TAN}$ ) de cinco genotipos de maíz cultivados en los Valles Altos de México. En el capítulo II se documenta el efecto de la duración de la competencia con maleza en el crecimiento y rendimiento de los cultivares; además de identificar al más tolerante a la competencia con maleza. En el capítulo III se caracterizan los genotipos con base en atributos morfológicos y fisiológicos del dosel, así como por el perfil de atenuación o coeficiente de extinción de luz, para determinar si la estructura del dosel influye en la acumulación total de biomasa y el rendimiento de grano de los genotipos estudiados. Por último, en el capítulo IV se describe la comunidad de maleza asociada a los cultivares y evalúa si las características arquitectónicas del dosel de los genotipos de maíz sembrados influyen en la composición y acumulación de biomasa de las poblaciones de maleza.

## LITERATURA CITADA

- Booth, B.D., S. D. Murphy and C. J. Swanton. 2003. Weed Ecology in Natural and Agricultural Systems. CABI Publishing, UK.
- Callaway, M. B. 1992. A compendium of crop varietal tolerance to weeds. *American Journal of Alternative Agriculture* 7: 169-180.
- Espinosa-Calderón, A.; M. Tadeo-Robledo; I. Arteaga-Escamilla; A. Turrent-Fernández; M. Sierra-Macías; N. Gómez-Montiel; A. Palafox-Caballero; R. Valdivia-Bernal; V. Trejo-Pastor y E. Canales-Islas. 2012. Rendimiento de las generaciones F1 y F2 de híbridos trilineales de maíz en los valles altos de México. *Universidad y Ciencia* 28(1): 57-64.
- Jannik, J. L., J. H. Orf, N. R. Jordan and R. G. Shaw. 2001. Index selection for weed suppressive ability in soybean. *Crop Science* 40: 1087-1094.
- Kato, T.; C. Mapes; L. Mera; J. Serratos y R. Bye. 2009. Origen y Diversificación del Maíz: Una Revisión Analítica. Universidad Nacional Autónoma de México y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. D.F., México. 116 pp.
- Reyes C., P. 1990. El Maíz y su Cultivo. AGT-EDITOR S.A. México. 460 pp.
- Ripusudan, P., G. Granados y M. Jean-Pierre. 2001. El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción. Colección FAO. Organización de las Naciones Unidas Para la Agricultura y la Alimentación. Producción y protección vegetal # 28. Roma. 371pp.
- Rosales R., E. y T. Medina. 2011. Manejo de malezas en cultivos básicos. En: Manejo de Malezas en México. Vol 1. Universidad Autónoma de Sinaloa-ASOMECEMA. Pp 157-159.

- Santos, M., M. Segura y E. Nústez. 2010. Análisis de crecimiento y relación fuente-demanda de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el municipio de Zipaquirá (Cundinamarca, Colombia). *Revista Facultad Nacional de Agronomía* 63(1): 5253-5266.
- Sistema de Información Agropecuaria (SIAP). 2013. Sistema de Información Agropecuaria de Consulta. SAGARPA. México. [http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ar\\_comanuar.html](http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ar_comanuar.html) (Consultado: 20 de febrero de 2015).
- Smith, I. and O. Smith. 1989. The description and assessment of distances between inbred lines of maize: The use of morphological traits as descriptors. *Maydica* 34: 141-150.
- Swanton, C. J. y S. F. Weise. 1991. Integrated weed management: the rationale and approach. *Weed Technology* 5:657-663.
- Tollenaar, M., S. P. Nissanka, A. Aguilera, S. F. Weise and C. J. Swanton. 1994. Effect of weed interference and soil nitrogen on four maize hybrids. *Agronomy Journal* 86: 596-601.
- Thomas, B., D. J. Murphy and D. Murray. 2003. *Encyclopedia of Applied Plant Sciences*. Academic Press, London. 579-585.
- Williams, M. M. II, R. Boydston, and A. Davis. 2006. Canopy variation among three sweet corn hybrids and implications for light competition. *HortScience* 41:1-6.

# CAPÍTULO I. ANÁLISIS DE CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE GENOTIPOS DE MAÍZ EN VALLES ALTOS DE MÉXICO

## RESUMEN

En los Valles Altos del centro de México la utilización de híbridos de alta productividad es baja en comparación con el uso de poblaciones nativas (criollos) de maíz. Lo anterior debido a preferencias del agricultor, pero también a la falta de información del crecimiento y rendimiento de los mismos, por lo que su caracterización por medio del análisis de crecimiento es pertinente y necesaria. El estudio se estableció en 2012 en condiciones de lluvia estacional en Texcoco, Edo. Méx., utilizando como tratamientos los híbridos H-48, H-50, H-53AE y H-57 desarrollados por el INIFAP y el criollo Azul cv. San Miguelito. Se realizaron muestreos periódicos para determinar el área foliar y la acumulación materia seca. Se calcularon el índice de área foliar (IAF), la duración del área foliar (DAFT), la tasa media de crecimiento del cultivo ( $\overline{TCC}$ ) y la tasa media de asimilación neta ( $\overline{TAN}$ ). A la madurez fisiológica se evaluó la biomasa total (BT), el índice de cosecha (IC), el rendimiento de grano (RG) y sus componentes. La acumulación de biomasa de los genotipos en estudio mostró un patrón sigmoideo, la dinámica del IAF una tendencia de polinomio de segundo grado y la  $\overline{TCC}$  un comportamiento de campana de Gauss. Los genotipos mostraron diferencias significativas para la BT, RG, IC y tamaño medio de grano. H-48 tuvo el ciclo de cultivo más corto (155 días a madurez fisiológica), la mayor DAFT, altas  $\overline{TAN}$  y los RG e IC más altos del estudio. En general, los híbridos superaron al criollo en los índices analizados, lo cual indica que su utilización podría elevar la producción de maíz en estas zonas.

**Palabras clave:** *Zea mays* L. subsp. *mays*; índice de área foliar; tasa de asimilación neta; tasa de crecimiento del cultivo

## ABSTRACT

In the highlands of central Mexico the use of hybrids of high productivity is low in comparison with native maize populations (“criollos”). This is due to preferences of the farmer, but also to the lack of information about its growth and grain yield; therefore its assessment through the growth analysis might be relevant and necessary. The study was carried out on 2012 under rainfed conditions in Texcoco, Edo. Mex., using as treatments H-48, H-50, H-53AE and H-57, hybrids developed by INIFAP plus a blue grain native maize population (criollo) cv. San Miguelito. Periodic samplings were carried out to determine the leaf area and dry matter accumulation. Leaf area index (LAI), total leaf area duration (TLAD), average crop growth rate ( $\overline{CGR}$ ) and the average net assimilation rate ( $\overline{NAR}$ ) were determined. At physiological maturity, total biomass (TB), harvest index (HI), grain yield (GY) and its components were evaluated. Biomass accumulation of genotypes showed a sigmoid pattern, the LAI dynamics a trend of second-degree polynomial and the  $\overline{CGR}$  a behavior of Gauss bell shape. The genotypes showed significant differences in TB, GY, HI, and average grain weight. H-48 had the shorter crop cycle (155 days to physiological maturity), the highest TLAD, high  $\overline{NAR}$  and the highest GY and HI of the study. In general, hybrids exceeded the criollo in the analyzed indexes, which indicate that their use might increase maize production in these areas.

**Key words:** *Zea mays* L. subsp. *mays*; leaf area index; net assimilation rate; crop growth rate

## INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L. subsp. *mays*), como principal cultivo en México, representa el 18% del valor de la producción agrícola y cubre el 33% de la superficie agrícola. En los Valles Altos del centro de México (2200-2600 msnm), ubicados en los Estados de Puebla, Hidalgo, Tlaxcala, Querétaro, Michoacán, Morelos, Estado de México y Distrito Federal se encuentra casi el 20% de la superficie cultivada con este cereal a nivel nacional, con un rendimiento estimado de 3.5 t ha<sup>-1</sup> (Espinosa *et al.*, 2003a). La productividad media de estas zonas excede la media nacional en 9%, pero es inferior en 7% al rendimiento medio obtenido en el Estado de México (SIAP, 2013), entidad donde el 63% de la superficie cultivada está ocupada por maíces criollos y mejorados. El mejoramiento genético de maíz se ha propuesto como una alternativa para optimizar el rendimiento de grano y la resistencia ante condiciones ambientales adversas, por lo cual para la zona de Valles Altos, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) ha desarrollado híbridos de alta productividad como H-48, H-50, H-53AE y H-57. Sin embargo, su presencia en las zonas productoras es incipiente (6%), ya que predomina el cultivo de poblaciones nativas (criollos) (Kato *et al.*, 2009; Espinosa *et al.*, 2012). La baja tasa de adopción responde a preferencias de los agricultores, pero también a falta de conocimiento del crecimiento y rendimiento que tienen los cultivares en esta zona. El análisis de crecimiento (AC) es una metodología cuantitativa útil para describir y cuantificar el desempeño de un sistema de cultivo. A la fecha, son escasos los estudios que describen por AC el comportamiento de cultivares (cvs.) de maíz utilizados en los Valles Altos de México, uno de ellos es el realizado por Escalante *et al.* (2011), quienes estudiaron genotipos criollos provenientes y utilizados en los Valles Altos de los Estados de México, Puebla y Tlaxcala y encontraron diferencias genotípicas en los índices de crecimiento y por consecuencia en la biomasa total (BT), rendimiento de grano

(RG) e índice de cosecha (IC). Por otra parte, Aguilar *et al.* (2015) realizó un estudio en el Estado de México (2240 msnm) con el objetivo de determinar el comportamiento de algunos índices de crecimiento y rendimiento en función de la aplicación de nitrógeno en un criollo y un híbrido. Sus resultados muestran diferencias atribuibles al genotipo en el aprovechamiento del nitrógeno, condición calculada mediante la TCC, TAN, BT y RG. Sin embargo, no se conocen estudios que mediante el AC describan el comportamiento de híbridos generados por el INIFAP para los Valles Altos del centro de México. El objetivo del presente estudio fue evaluar por AC, cuatro híbridos y una población nativa de maíz azul (criollo) utilizados en los Valles Altos de México.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Área de estudio**

El estudio se realizó en el ciclo primavera-otoño en el Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Estado de México (19° 29'N, 98° 54' O, 2250 msnm) bajo condiciones de lluvia estacional. El clima es del tipo BS1 que corresponde al menos seco de lo áridos con lluvias en verano, temperatura y precipitación pluvial media anual de 14.6°C y 558.5 mm, respectivamente (García, 2005). Los tratamientos consistieron en la siembra de cuatro híbridos de maíz generados por el INIFAP (H-48, H-50, H-53AE y H-57) y el criollo Azul cv. San Miguelito proveniente de San Andrés Tocuila, Estado de México.

### **Material genético**

Se utilizaron cuatro híbridos generados por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) para la región de los Valles Altos y el criollo cv. San Miguelito

de grano azul proveniente de San Andrés Tocuila, Estado de México. Las características de genealogía más sobresalientes de los genotipos utilizados se presentan a continuación y las agronómicas en el Cuadro 1.

H-48: Híbrido trilineal; el germoplasma de la línea macho progenitora corresponde a la raza cónico procedente del INIFAP; la línea hembra es una craza simple del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Es resistente al acame y roya (*Puccinia sorghi*); específico para punta de riego y condiciones de temporal favorable en los Valles Altos de la Mesa Central de México, entre 2,200 y 2,600 m (Espinosa *et al.*, 2003a).

H-50: Híbrido de craza doble de ciclo intermedio, producto de la craza de dos líneas del INIFAP derivadas de la raza Cónico, y líneas endogámicas desarrolladas por el CIMMYT (Espinosa *et al.*, 2003b).

H-53AE: Híbrido trilineal desarrollado por el INIFAP. A este híbrido se le incorporó la característica de androesterilidad tipo C, único rasgo que lo hace diferente a su versión fértil (Tadeo-Robledo *et al.*, 2014).

H-57: Híbrido trilineal desarrollado por el INIFAP de grano semidentado de color blanco (INIFAP, 2011).

Población nativa de grano azul (criollo) cv. San Miguelito: Originario de San Andrés Tocuila, Texcoco, Estado de México, perteneciente a la raza Chalqueño (Wellhausen, *et al.*, 1951; Delgado *et al.*, 2014).

**Cuadro 1. Principales características agronómicas de cinco cultivares de maíz de Valles Altos.**

	<b>H-48</b>	<b>H-50</b>	<b>H-53</b>	<b>H-57</b>	<b>Criollo Azul</b>
<b>Altura planta</b>	2.45 m	2.38 m	2.35-2.43 m	2.57-2.80 m	hasta 3.20 m
<b>Altura mazorca</b>	1.35 m	1.49 m	1.25-1.36 m	1.35-1.45 m	1.70-1.80 m
<b>Floración masculina</b>	82 días	83 días	*	*	*
<b>Floración femenina</b>	82 días	84 días	87 días	88 días	*
<b>Madurez fisiológica</b>	150-155 días	155 días	160-165 días	163-165 días	*
<b>Altitud</b>	2240	2240	2240	2240	*
<b>Longitud mazorca</b>	16.8 cm	15.8 cm	17 cm	17.2 cm	*
<b>Número de hileras</b>	16	16	16	16	*

### **Arreglo de tratamientos y diseño experimental**

La siembra se realizó el 8 de mayo de 2012 en el fondo de surcos a 0.80 m de separación. Los tratamientos consistieron en la siembra de los híbridos H-48, H-50, H-53 y H-57 y el criollo Azul San Miguelito. El diseño experimental fue de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. La unidad experimental estuvo integrada por tres surcos de 5 m de largo y 0.8 m de ancho; se consideró como parcela útil el surco central. La densidad de población fue de 6.25 pl m<sup>-2</sup>. No se registraron problemas considerables de plagas o enfermedades durante el desarrollo del experimento. El lote experimental se mantuvo libre de maleza durante todo el ciclo de cultivo.

### **Variables meteorológicas y fenológicas**

Los datos de temperatura máxima ( $T_{\text{máx}}$ ), mínima ( $T_{\text{mín}}$ ) y precipitación pluvial diarias, fueron proporcionados por la estación Agrometeorológica del Colegio de Postgraduados. Con ellos se calcularon promedios decenales para las  $T_{\text{máx}}$  y  $T_{\text{mín}}$  y la suma decenal de la precipitación ( $P_{\text{pt}}$ , mm) y evaporación ( $E_{\text{vp}}$ , mm) durante el desarrollo del estudio.

Se registró la ocurrencia de las fases fenológicas: días a emergencia (VE), floración femenina (R1) y madurez fisiológica (R6), con base en el criterio presentado en Ritchie y Hanway (1982).

Con estos datos se calculó, por fase fenológica, la acumulación de unidades térmicas por el cultivo (UC, °C día), mediante el método residual presentado por Snyder (1985):  $UC = (T_{\text{máx}} + T_{\text{mín}} / 2) - TB$ ; donde:  $T_{\text{máx}}$  = Temperatura máxima diaria (°C),  $T_{\text{mín}}$  = Temperatura mínima diaria (°C) y  $TB$  = Temperatura base (9.5°C; con base en García-Pacheco y López-Castañeda, 2002). También la evapotranspiración del cultivo ( $ET_c$ ), calculada a partir de los datos de evaporación ( $E_{\text{vp}}$ ) del tanque tipo "A", utilizando 0.6 como coeficiente del evaporímetro y como coeficientes del cultivo ( $k_c$ ) inicial = 0.35; desarrollo = 1.14 y final = 0.6 (Doorenbos y Pruitt, 1986), mediante la siguiente relación:  $ETC = E_v * 0.6 * K_c$ .

### **Variables fisiológicas**

Para valorar el crecimiento del cultivo, a los 30, 60, 90 y 120 días después de la siembra (dds) se realizaron muestreos destructivos de dos plantas por parcela útil para determinar el área foliar (AF) por medio de un integrador electrónico (LI-COR 3100), así como la materia seca total (BT,  $g\ m^{-2}$ ), para lo cual las muestras separadas por órganos (tallo, hojas, inflorescencias) se colocaron en una estufa de circulación de aire forzado a 80° C hasta alcanzar peso constante.

A la madurez fisiológica de cada cultivar, se determinó la acumulación de materia seca total (BT, g m<sup>-2</sup>) y el rendimiento de grano (RG, g m<sup>-2</sup>, al 13% de humedad). También el índice de cosecha (IC, %) mediante la relación:  $IC = (RG/BIO)*100$ ; el tamaño de grano (TG, g), el número de mazorcas por m<sup>-2</sup> (Mm, maz m<sup>-2</sup>), el número de hileras por mazorca (NH), el número de granos por hilera (NG) y el número de granos por mazorca (GM).

### **Índices calculados**

Con los datos obtenidos de los muestreos, se calcularon los siguientes índices de crecimiento. Índice de área foliar (IAF) y duración del área foliar (DAF, días) con base a los siguientes modelos:  $IAF = (AF/NP)*DP/100$  dm<sup>2</sup>, donde AF = área foliar (dm<sup>2</sup>), NP = número de plantas muestreadas y DP = número de plantas m<sup>-2</sup>.  $DAF = \Sigma ((IAF_1 + IAF_2) (T_2-T_1))/2$ , donde:  $\Sigma$  = sumatoria de la duración del área foliar para cada periodo estudiado, IAF<sub>1</sub> = índice de área foliar en un tiempo inicial (T<sub>1</sub>, en días), IAF<sub>2</sub> = índice de área foliar en un tiempo final (T<sub>2</sub>, en días) (Escalante y Kohashi, 1993). Tasa media de crecimiento del cultivo ( $\overline{TCC}$ , g m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>) y tasa de asimilación neta ( $\overline{TAN}$ , g m<sup>-2</sup> de hoja día<sup>-1</sup>) con base en estas relaciones:  $\overline{TCC} = [(PS_2 - PS_1) / A(T_2 - T_1)]$  donde: PS<sub>2</sub> y PS<sub>1</sub> indican el peso de la materia seca de la planta en los tiempo T<sub>2</sub> y T<sub>1</sub>, respectivamente y A representa el área ocupada por la planta.  $\overline{TAN} = [(PS_2 - PS_1) / (IAF_2 - IAF_1)] / [(\ln IAF_2 - \ln IAF_1) / (T_2 - T_1)]$ , donde: PS<sub>2</sub> y PS<sub>1</sub> expresan el peso de la materia seca de la planta, ln AF<sub>2</sub> y ln AF<sub>1</sub>, logaritmo natural del AF en el tiempo T<sub>2</sub> y T<sub>1</sub>, respectivamente (Escalante y Kohashi, 1993).

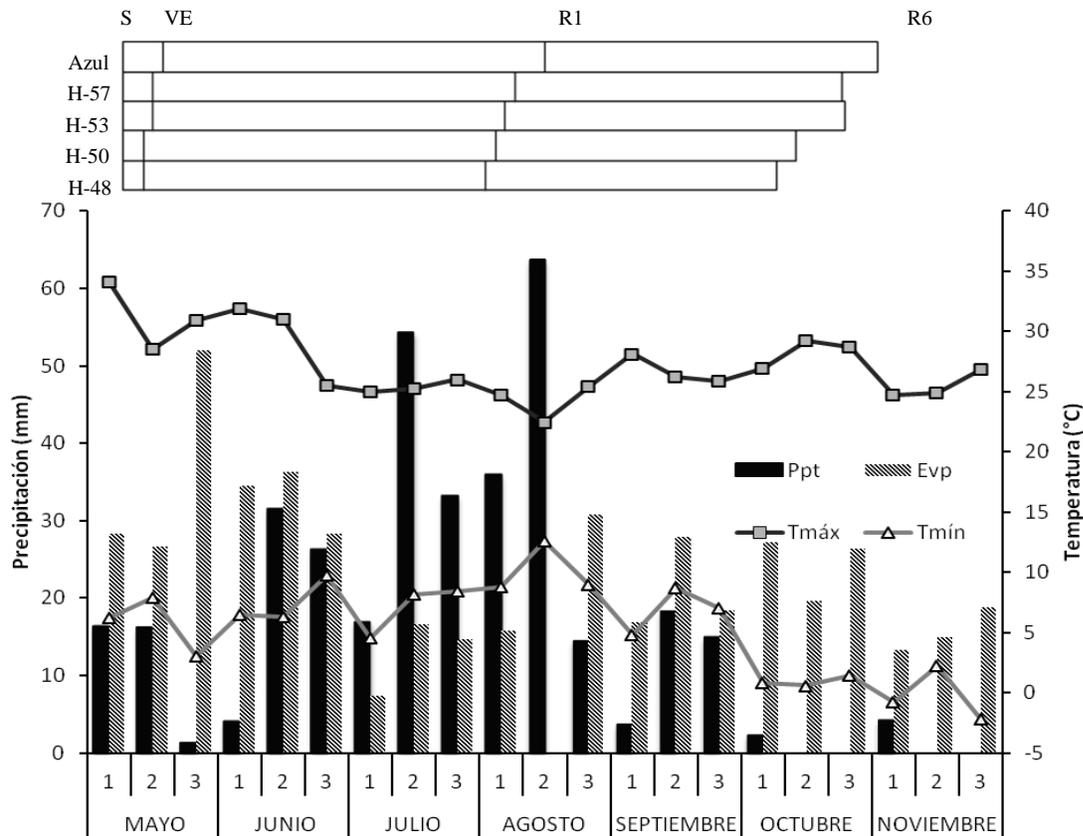
## **Análisis estadístico**

A las variables de crecimiento y rendimiento se les aplicó un análisis de varianza (ANDEVA) por medio del programa estadístico SAS Versión (9.0) (SAS, 2003), cuando se presentaron diferencias significativas, se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey ( $\alpha=0.05$ ).

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Elementos meteorológicos y fenología**

Las T<sub>máx</sub> y T<sub>mín</sub> (media decenal), así como, la Ppt y Evp (suma decenal) durante el ciclo de cultivo del maíz (primavera-otoño, 2012) se presentan en la Figura 1. El promedio de T<sub>máx</sub> osciló entre 22.5 y 34.1 °C y T<sub>mín</sub> entre -2.2 y 12.6 °C. La temperatura más alta se registró en la decena donde se realizó la siembra (1era decena de mayo) y las más bajas en el mes de noviembre, cuando la mayor parte de los cultivares ya habían alcanzado la MF. La Ppt acumulada durante la estación de crecimiento fue de 356 mm, de la cual el 56% (199 mm) se presentó en el periodo de crecimiento vegetativo y el 44% (157 mm) en el del reproductivo; mientras que la Evp total fue de 474 mm, lo cual representa 1.3 veces la Ppt ocurrida durante el ciclo. La Evp fue mayor a la Ppt durante la mayor parte del ciclo, excepto en el mes de julio y las dos primeras decenas de agosto, cuando se registraron los valores máximos de Ppt combinados con las menores T<sub>máx</sub>. Debido a que el cultivo estuvo bajo estrés hídrico sostenido durante la etapa vegetativa, fue necesario un riego de auxilio de aproximadamente 50 mm en la segunda decena de junio, el cual, sumado al riego aplicado después de la siembra (50 mm) suman 456 mm de agua suministrados al suelo durante el ciclo. Sin embargo, si se considera la eficiencia del riego por gravedad y la de la Ppt, el suministro disminuye cerca del 40% (Lázaro *et al.*, 2010).



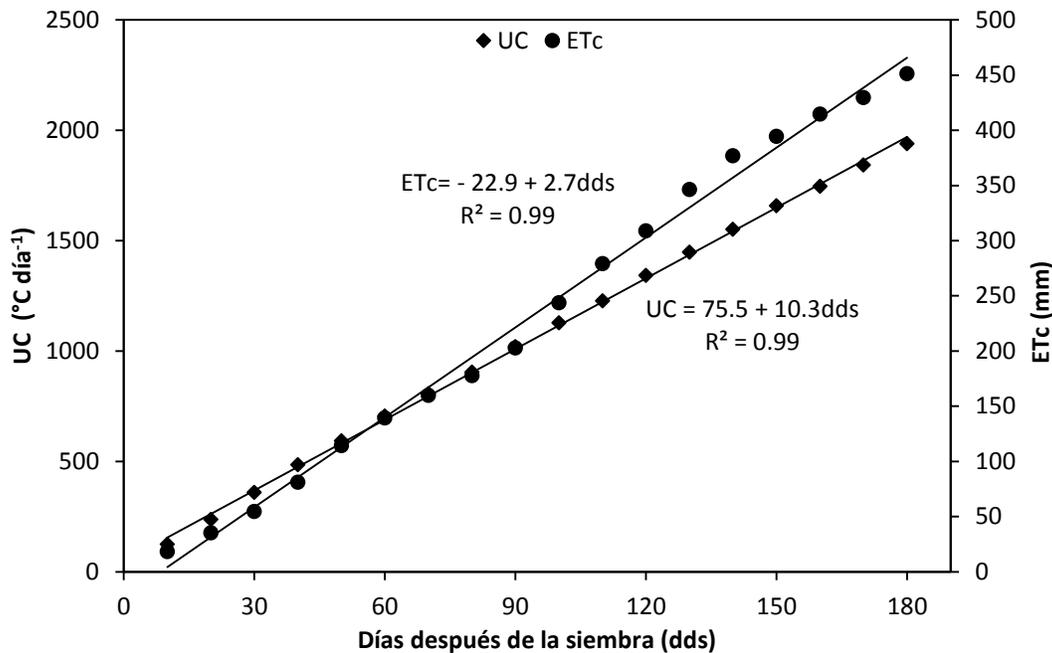
**Figura 1. Distribución de la precipitación pluvial (Ppt, suma decenal), evaporación (Evp, suma decenal), temperaturas máximas (Tmáx, promedio decenal) y mínimas (Tmín, promedio decenal) durante el desarrollo de cinco genotipos de maíz. Montecillo, México. Mayo-Noviembre, 2012. S = siembra; VE = Emergencia; R1 = Floración femenina y R6 =Madurez fisiológica.**

En la Figura 1, la distribución de la Ppt indica un déficit para el cultivo de maíz durante la etapa vegetativa, lo cual pudo haber limitado el crecimiento y la acumulación de BT (Denmead y Shaw, 1960; Stewart *et al.*, 1975), y fue más abundante de la segunda decena de julio a la segunda de agosto, durante este periodo se presentó R1 para los cuatro híbridos, lo cual indica que la polinización se desarrolló en condiciones de humedad no limitantes para que pudieran fecundarse la mayor parte de los óvulos de la espiga (jilote) y así dar paso al llenado de grano.

Las condiciones fueron diferentes para el criollo Azul, debido a que R1 se presentó en la tercera decena de agosto, cuando el agua en suelo otra vez fue limitante, por lo que el número de flores fecundadas podría haber disminuido; y en consecuencia, desde esta etapa haber limitado el RG. La ocurrencia de las etapas fenológicas fue variable entre cultivares (Figura 1). H-48 fue el más precoz de entre los estudiados. Así, la emergencia (VE) se presentó 6 dds, la floración femenina (R1) 84 dds y la madurez fisiológica (R6) 155 dds. H-50 mostró un comportamiento fenológico similar a H-48, aunque requirió 86 y 158 d para alcanzar R1 y R6, respectivamente. Espinosa *et al.* (2003b) indican que H-48 presenta sincronía en la floración masculina y femenina a los 82 dds, en promedio, y madurez fisiológica entre 150 y 155 dds, por lo que el comportamiento observado en este estudio coincide con lo descrito. Caso similar es el de H-50, en el que R1 ocurre a 84 dds y R6 a los 155 dds, dos y tres días antes de lo ocurrido en este estudio. H-53AE mostró ser el híbrido más tardío, con VE, R1 y R6 a los 7, 89 y 169 dds, respectivamente, dos y cuatro días más tardío en comparación con lo descrito por INIFAP (2011). El criollo Azul fue el más tardío, con 9, 96 y 176 dds para alcanzar VE, R1 y R6; respectivamente.

### **Requerimientos hídricos y calóricos**

En la Figura 2, se presentan la acumulación de unidades calor (UC) y la evapotranspiración del cultivo (ETc) en función de los días después de la siembra. Es posible observar que se ajustan a una relación lineal con respecto al tiempo.



**Figura 2. Unidades calor y evapotranspiración acumulada en el ciclo de crecimiento de cinco genotipos de maíz. Montecillo, México. Mayo-Noviembre, 2012.**

Los requerimientos térmicos e hídricos, estimados en función de la ETc, entre los genotipos estudiados fueron variables (Cuadro 2). H-48 fue el genotipo que presentó menor duración del ciclo de cultivo (155 d a R6) y por consecuencia el menor requerimiento térmico para alcanzar R1 y R6, 921 y 1650 °C día, respectivamente. El híbrido más tardío fue H-57 (168 d a R6); requirió 964 °C día para llegar a R1 y 1775 °C día para alcanzar R6. En promedio los híbridos requirieron 1719 °C día para alcanzar R6, lo cual contrasta con el criollo Azul que resultó ser el más tardío ya que alcanzó R6 a los 176 dds y 1848 °C día. Al respecto, en un estudio en clima templado, Díaz-López *et al.* (2013) señalan que son necesarios, en promedio, 773 °C día y 1158 °C día para alcanzar R1 y R6, respectivamente, en dos cultivares de polinización libre y un híbrido comercial en el Valle de Toluca, México. En contraste, Ojeda-Bustamante *et al.* (2006) indican que en clima cálido, se requieren 1451 °C día y 179 dds para alcanzar R6. Lo anterior

sugiere que los genotipos desarrollados para los Valles Altos de México presentan mayores requerimientos térmicos en comparación con genotipos de otras regiones agroecológicas, en parte por la duración del ciclo de cultivo. El requerimiento hídrico (estimado a través de la ETc) entre los genotipos también resultó diferente. Así, entre los híbridos, H-48 fue el de menor consumo de agua (413 mm) y H-57 el de mayor (434 mm). El criollo Azul destacó por mostrar el mayor requerimiento de agua para alcanzar las etapas fenológicas; esta característica podría explicar el bajo RG mostrado por este cultivar en R6.

**Cuadro 2. Requerimientos térmicos e hídricos para la ocurrencia de etapas fenológicas en cinco genotipos de maíz. Montecillo, México. Mayo-Noviembre, 2012.**

Cultivar	Emergencia		Floración		Madurez	
	(VE)		femenina (R1)		fisiológica (R6)	
	UC	ETc	UC	ETc	UC	ETc
H-48	73.6	24.1	921.3	199.5	1650.3	412.9
H-50	73.6	24.1	943.6	209.5	1680.3	416.7
H-53AE	83.5	26.1	974.1	219.8	1784.7	435.4
H-57	83.5	26.1	964.0	216.2	1775.4	433.9
Azul	106.1	30.6	1051.2	247.2	1848.1	449.3

### **Componentes fisiológicos durante el desarrollo del cultivo**

#### **Índice de área foliar máximo (IAFmáx), duración del área foliar en periodo vegetativo (DAFPv) y reproductivo (DAFPPr) y duración del área foliar total (DAFT)**

En el cuadro 3, se consignan el IAFmáx, la DAFPv, la DAFPPr y la DAFT; las cuales mostraron diferencias significativas entre genotipos. El criollo Azul mostró el IAF más alto (3.7), seguido por el grupo conformado por H-57, H-48 y H-50 (3.5 en promedio). La DAFT más prolongada

se encontró en H-48 y H-50 (238 y 235 días, respectivamente), lo cual fue consistente con la DAFPv, pero no así con la DAFPr, ya que el criollo Azul fue el genotipo con el valor más alto en esta variable. H-48 requirió menos tiempo térmico y cronológico para alcanzar R6. Sin embargo mostró DAFPv y DAFT más altas. H-57 resultó el de menor DAFPr y DAFT, lo cual contrasta con la mayor longitud de su ciclo (168 días a R6), que lo hace acumular mayor BT pero un RG bajo. No obstante que H-53AE mostró el IAF más bajo, la DAFPr y DAFT fueron de las más altas, lo cual podría indicar que aunque el tamaño del dosel es menor, en comparación al de los otros genotipos, podría mostrar ventajas en la producción de fotosintatos, debido a un mayor período de actividad del dosel.

**Cuadro 3. Índice de área foliar (IAF) máximo y duración del área foliar (DAF) en periodo vegetativo (DAFPv), reproductivo (DAFPr) y Total (DAFT) de cinco genotipos de maíz. Montecillo, México. Mayo-Noviembre, 2012.**

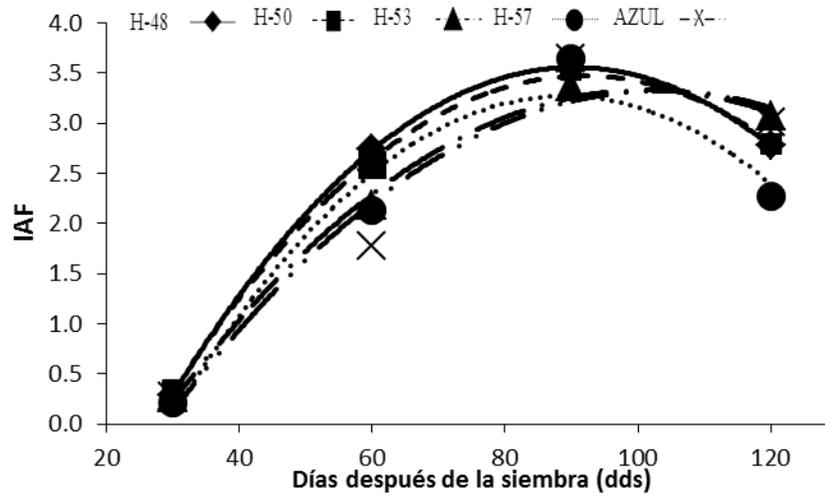
FACTOR	IAF Max	DAFPv (días)	DAFPr (días)	DAFT(días)
AZUL	3.7 a	115.6 b	99.9 a	215.6 b
H-57	3.6 ab	124.6 b	88.7 b	213.3 b
H-48	3.5 ab	143.4 a	94.8 ab	238.2 a
H-50	3.5 ab	139.6 a	94.9 ab	234.5 a
H-53AE	3.4 b	123.2 b	96.5 ab	219.7 ab
Prob. F	*	**	*	**
DMS Tukey 0.05	0.29	13.5	9.8	18.5

Medias dentro de columnas con letras iguales son estadísticamente equivalentes (Tukey, 0.05).

\*\*, \*\*\* Significancia a  $P < 0.05$  y  $0.001$ , respectivamente

### Dinámica del índice de área foliar

El IAF en los cultivares estudiados aumentó conforme avanzó el ciclo del cultivo hasta alcanzar un valor máximo registrado, a los 90 dds, después del cual disminuyó hasta el final del ciclo (Figura 3), lo cual puede ser descrito matemáticamente por medio de un polinomio de segundo grado (Cuadro 4).



**Figura 3. Dinámica del IAF de cinco genotipos de maíz. Montecillo, México. Mayo-  
Noviembre, 2012.**

**Cuadro 4. Modelos que describen la dinámica del IAF de cinco genotipos de maíz.  
Montecillo, México. Mayo-  
Noviembre, 2012.**

GEN	MODELO	R <sup>2</sup>
H-48	$y = - 3.76 + 0.16x - 0.0009x^2$	0.99
H-50	$y = - 3.50 + 0.15x - 0.0008x^2$	0.99
H-53AE	$y = - 2.96 + 0.12x - 0.0006x^2$	0.99
H-57	$y = - 3.96 + 0.16x - 0.0009x^2$	0.95
AZUL	$y = - 3.03 + 0.12x - 0.0006x^2$	0.94

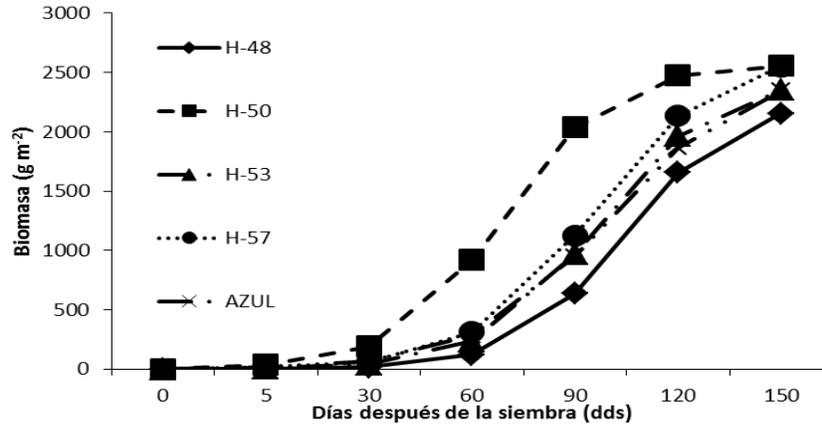
H-48 y H-50 presentaron los IAF más altos a los 30 y 60 dds con respecto a los otros cultivares, pero este comportamiento no fue consistente hasta el final del ciclo. El híbrido H-57 mostró los

IAF más bajos de los genotipos estudiados a los 30 y 120 dds, lo que indica menor tamaño y duración de la actividad del dosel, en relación a los genotipos restantes. El criollo Azul y H-53AE, presentaron los IAF más bajos a los 60 y 120 dds, respectivamente; pero los más altos a los 90dds, además de mayor duración del ciclo.

## **Análisis de crecimiento**

### **Dinámica de acumulación de biomasa**

La dinámica de acumulación de materia seca de un cultivo puede ser descrita mediante modelos matemáticos (Escalante *et al.*, 2011). En el caso de los genotipos de maíz estudiados, esta dinámica sigue un patrón sigmoide (Figura 4), lo cual implica que al principio del ciclo del cultivo, la velocidad de crecimiento de la BT es baja, aumenta de manera exponencial durante el periodo vegetativo hasta la antesis y la etapa de grano lechoso, para después volver a crecer lentamente hasta llegar al mínimo en la madurez fisiológica (Hokmalipour y Darbandi, 2011). Estas observaciones concuerdan con las realizadas por Panda *et al.* (2004), quienes registraron que la materia seca en maíz se incrementó sustancialmente durante el periodo vegetativo y hasta el llenado de grano, luego del cual se hizo más lento. También Escalante *et al.* (2011) indican que cvs. de maíz de los estados de Puebla, Tlaxcala y Edo. de México demuestran un patrón sigmoide en la acumulación de BT que se ajusta al modelo  $Y = K/(1+Ae^{-cx})$  donde Y es la biomasa estimada; K es el valor máximo de BT; A y C son constantes y X son los dds.



**Figura 4. Dinámica de acumulación de biomasa durante el ciclo de cultivo de cinco genotipos de maíz. Montecillo, México. Mayo-Noviembre, 2012.**

El modelo logístico al que se ajustó cada genotipo fue diferente (Cuadro 5), lo cual indica que si bien todos los cultivares estudiados muestran una tendencia de crecimiento similar, cada uno posee particularidades durante el ciclo. Así, la mayor acumulación de BT a los 150 dds se registró en H-50 y H-57, la menor en H-48.

**Cuadro 5. Modelos logísticos que describen la acumulación de biomasa durante el ciclo de cultivo de cinco cultivares de maíz de Valles Altos. Montecillo, México. Mayo-Noviembre, 2012.**

Cultivar	Modelo
H-48	$BIO_{H-48} = \frac{2272}{1 + 256e^{-0.064 dds}} \quad R^2 = 0.99$
H-50	$BIO_{H-50} = \frac{2511}{1 + 75e^{-0.049 dds}} \quad R^2 = 0.99$
H-53AE	$BIO_{H-53} = \frac{2450}{1 + 256e^{-0.061 dds}} \quad R^2 = 0.99$
H-57	$BIO_{H-57} = \frac{2663}{1 + 233e^{-0.057 dds}} \quad R^2 = 0.96$
Criollo	
Azul	$BIO_{Azul} = \frac{2513}{1 + 181e^{-0.052 dds}} \quad R^2 = 0.98$

### **Tasa media de crecimiento del cultivo ( $\overline{TCC}$ )**

La TCC describe la velocidad de producción de materia seca de un cultivo a través del tiempo (Escalante y Kohashi, 1993). En la Figura 5 se observa la  $\overline{TCC}$  en función de los días después de la siembra y es posible observar que presentó un patrón similar al de la curva normal o de Gauss ( $y = ae^{\frac{-(x-b)^2}{2c}}$ ), ya que la velocidad de acumulación de BT fue lenta al inicio, hasta un punto diferente para cada genotipo, después de lo cual aumentó conforme avanzaba el ciclo de cultivo hasta llegar al máximo en el periodo de 60-90 ó 90-120 dds, para posteriormente disminuir hasta llegar a valores mínimos en R6 (Cuadro 6). Esta dinámica concuerda con la descrita por Ghodrati *et al.* (2013), quienes señalaron que la máxima TCC en maíz fue alcanzada en la floración, etapa a partir de la cual decreció hasta llegar a cero después de R6. La  $\overline{TCC}$  promedio de los genotipos estudiados en el periodo 60-90 dds (en el cual alcanzaron R1, a excepción del criollo), fue de 22.61 g m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>, lo cual es inferior a lo indicado por Rasheed *et al.* (2003) y Maqbool *et al.* (2006), quienes reportan una  $\overline{TCC}$  para híbridos de maíz de Irán y EEUU a los 75 dds de 27.97 y 28.48 g m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>, respectivamente. Esta variación podría obedecer a que los dos estudios a los que se hace referencia se desarrollaron en condiciones de riego suplementario, fertilización y con cultivares diferentes.

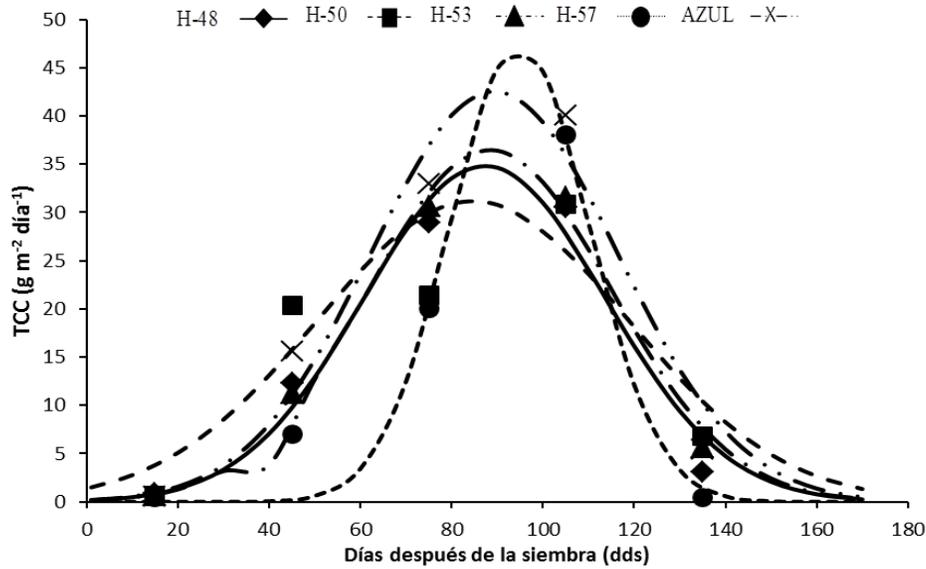


Figura 5. Tasa media de crecimiento del cultivo ( $\text{g m}^{-2} \text{día}^{-1}$ ) de cinco genotipos de maíz. Montecillo, México. Mayo-Noviembre, 2012.

Cuadro 6. Modelos Gaussianos que describen la dinámica de la  $\overline{\text{TCC}}$  de cinco genotipos de maíz. Montecillo, México. Mayo-Noviembre, 2012.

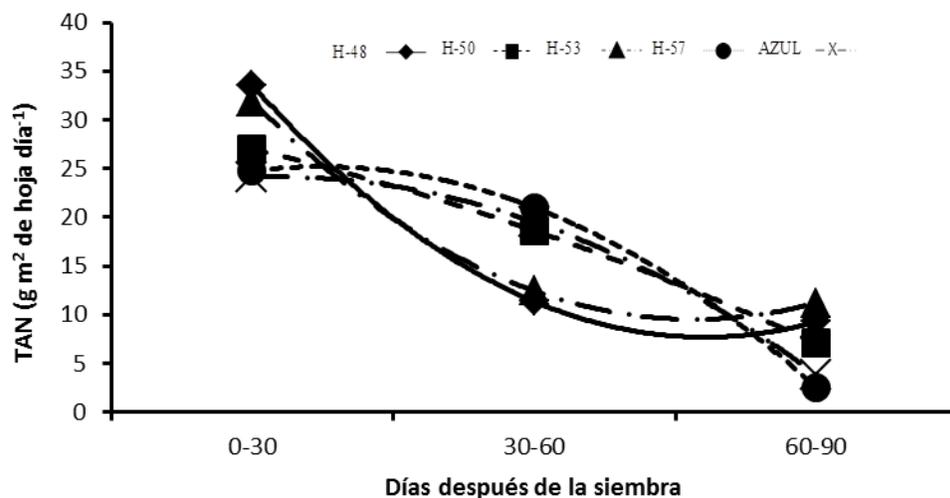
GEN	Modelo	$R^2$
H-48	$y = 34.8e^{\frac{-(x-87.2)^2}{52.8}}$	0.96
H-50	$y = 31.2e^{\frac{-(x-84.6)^2}{68}}$	0.88
H-53AE	$y = 36.5e^{\frac{-(x-88.4)^2}{53}}$	0.98
H-57	$y = 47.2e^{\frac{-(x-94.9)^2}{30.4}}$	0.95
AZUL	$y = 42.5e^{\frac{-(x-89.3)^2}{54}}$	0.93

La  $\overline{\text{TCC}}$  más alta se registró de los 90-120 dds ( $34.2 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ , en promedio) lapso dentro del cual fue alcanzada la etapa de llenado de grano, lo cual concuerda con lo afirmado por Escalante *et al.* (2011) quienes, en criollos de Valles Altos, encontraron que la  $\overline{\text{TCC}}$  más alta se registró a los 110 dds cuando los cvs. se encontraban en dicha fase. La acumulación de BT de H-57 y el

criollo Azul fueron las más altas, lo cual coincide con los valores de  $\overline{TCC}$  más altos, registrados en el periodo 90-120 dds. Sin embargo, es notable que en H-57 el incremento de la BT es lento hasta aproximadamente 40 dds, después de lo cual crece exponencialmente hasta el día 90 y desde este punto disminuye drásticamente hasta llegar a valores mínimos, en la madurez fisiológica. En contraste, H-48 y H-50 fueron los que menor velocidad en la acumulación de BT mostraron. Sin embargo, la  $\overline{TCC}$  aumentó exponencialmente desde el principio del ciclo, lo cual indica que crecieron con mayor rapidez y que aunque alcanzaron valores máximos menores a los cvs. antes mencionados, representa una dinámica de crecimiento de la biomasa constante y sostenida durante la mayor parte del ciclo.

### **Tasa media de asimilación neta ( $\overline{TAN}$ )**

La  $\overline{TAN}$  es una medida de la eficiencia del dosel para producir materia seca por unidad de área foliar (Escalante y Kohashi, 1993), por lo que puede considerarse una medida de la eficiencia fotosintética de las hojas. En todos los genotipos se encontró la  $\overline{TAN}$  más alta a los 15 dds, a partir de la cual decreció hasta los 75 dds (Figura 6); se sabe que en los primeros estadios de crecimiento del maíz la mayor parte de las hojas se encuentran expuestas a la radiación solar. Sin embargo, conforme avanza el ciclo aumenta el IAF y con éste el sombreado de las hojas, por lo que la TAN disminuye (Ghodrat *et al.*, 2013). Tendencias de disminución de la  $\overline{TAN}$  a lo largo del ciclo fueron indicadas por Woo *et al.* (2004) y Díaz-López *et al.* (2013), al estudiar el efecto de lodos activados y fósforo, respectivamente, sobre el crecimiento y rendimiento de cultivares de maíz.



**Figura 6. Tasa media de asimilación neta ( $\text{g m}^{-2}$  de hoja día<sup>-1</sup>) de cinco genotipos de maíz. Montecillo, México. Mayo-Noviembre, 2012.**

**Cuadro 7. Modelos que describen la dinámica de la tasa media de asimilación neta de cinco genotipos de maíz. Montecillo, México. Mayo-Noviembre, 2012.**

GEN	MODELO	R <sup>2</sup>
H-48	$y = 75.92 - 52.41x + 10.06x^2$	1
H-50	$y = 32.19 - 3.59x - 1.59x^2$	1
H-53AE	$y = 69.44 - 46.68x - 69.44x^2$	1
H-57	$y = 13.83 + 18.27x - 7.34x^2$	1
AZUL	$y = 17.61 + 12.03x - 5.54x^2$	1

El modelo que mejor ajustó a los valores de  $\overline{\text{TAN}}$  por genotipo fue el de polinomio de segundo grado (Cuadro 7). Se detectaron diferencias entre los genotipos en los tres periodos estudiados. H-48 y H-53AE mostraron tener un dosel más eficiente para la producción de materia seca en los periodos de 0-30 (33.5 y 31.8  $\text{g m}^{-2}$  de hoja día<sup>-1</sup>, respectivamente) y 60-90 dds (9.3 y 11.2  $\text{g m}^{-2}$  de hoja día<sup>-1</sup>, respectivamente), no así en el de 30-60 dds, en el cual H-57, H-50 y el criollo Azul fueron los más eficientes (19.7  $\text{g m}^{-2}$  de hoja día<sup>-1</sup> en promedio). Un periodo más largo con el

dosel funcional, una TAN alta y un ciclo de cultivo corto, podrían ser las ventajas más acusadas de este genotipo de alto rendimiento. La totalidad de los valores obtenidos para esta tasa superan los mostrados por otros estudios como los de Escalante *et al.* (2011) quienes, encontraron una  $\overline{TAN}$  máxima en el periodo de floración de  $12 \text{ g m}^{-2}$  de hoja día<sup>-1</sup>; lo cual es menor a los valores promedio en el periodo de 30-60 dds. Lo anterior podría indicar que el mejoramiento genético llevado a cabo en los híbridos estudiados, aunque de manera indirecta, ha mejorado la capacidad del dosel de éstos para producir biomasa y en el caso del criollo, que un mayor IAF (Cuadro 3) incrementa la tasa de acumulación de materia seca, ya que ésta es proporcional a la magnitud del área foliar.

### **Biomasa, rendimiento y sus componentes**

El cálculo de las variables fisiológicas e índices de crecimiento en el cultivo de maíz, permite conocer la capacidad y eficiencia con la que se llevan a cabo dos de los procesos físico-biológicos más importantes para la producción de alimentos, los cuales son la intercepción de la radiación solar y su posterior conversión a energía química que pueda ser utilizada para producir BT. Por lo que es posible afirmar que la acumulación de BT, puede ser estimada directamente con el cálculo de estos índices. La generación del rendimiento es un proceso que no sólo involucra la fotosíntesis, sino también la remobilización de metabolitos producidos con anterioridad hacia las cariósides en desarrollo (Tanaka y Yamaguchi, 1972; Escobar-Gutiérrez y Combe, 2012). En las variables evaluadas a la cosecha, se encontraron diferencias estadísticas significativas en BT, RG, IC y TG (Cuadro 8). H-57 presentó la BT más alta ( $1783 \text{ g m}^{-2}$ ). En contraste, la BT más baja la presentó H-48 y el RG más alto del estudio ( $604.9 \text{ g m}^{-2}$ ), lo cual es consecuencia del mayor IC (44%). El híbrido H-57 no obstante ser el de mayor BT (debido a su

mayor longitud de ciclo), obtuvo RG e IC bajos. El criollo Azul mostró una BT y RG inferior (1572.6 g m<sup>-2</sup> y 500.9 g m<sup>-2</sup>, respectivamente) a la media de todos los genotipos. Este RG se encuentra en el rango de lo expresado por Antonio *et al.* (2004) quienes indican que RG experimentales de maíz Azul cultivados en zonas templadas van de 2.9-5.4 t ha<sup>-1</sup>. Dickerson (2003) señala que el RG de cultivares de maíz Azul es bajo comparado con el de los híbridos. El TG del criollo fue mayor y significativo estadísticamente, que el de los híbridos, lo cual se atribuye a que éste, es un carácter determinado genéticamente, como lo afirman Andrade *et al.* (1996), quienes señalan que el peso del grano es un componente poco afectado por el ambiente, ya que depende más de factores genéticos; además se sabe que en maíz el RG está más asociado al número final de granos que al peso promedio individual de los mismos. En este estudio no se detectaron diferencias estadísticas entre genotipos para el número de GM.

En general, el RG de los híbridos estudiados es menor al obtenido por Pecina *et al.* (2011), quienes analizaron un grupo de genotipos mejorados desarrollados para Valles Altos. Sin embargo, supera la media estatal con riego (4.05 t ha<sup>-1</sup>, SIAP 2013) y al RG del criollo Azul, lo cual indica que el uso de híbridos generados por la investigación pública podría elevar el RG de maíz, incluso en zonas donde no se cuenta con riego (Tadeo y Espinosa, 2004) reafirmando el supuesto de que la expansión en su utilización elevaría la productividad del cultivo de maíz en los Valles Altos de México. No obstante, el cultivo de criollos continúa siendo importante debido a los subproductos que de ellos se derivan, además de las características nutraceuticas que han sido descubiertas en los mismos y que actualmente son motivo de diversos estudios (Salinas-Moreno *et al.*, 2003).

**Cuadro 8. Biomasa total, rendimiento de grano y sus componentes de cinco genotipos de maíz. Montecillo, México. Mayo-Noviembre, 2012.**

GEN	BT (g m <sup>-2</sup> )	RG (g m <sup>-2</sup> )	IC (%)	TG (g)	NH	GH	GM
H-57	1783.5 a	516.0 b	29 c	0.34 b	14.7	28	405
H-50	1612.6 ab	568.3 a	35 b	0.36 b	14.5	29	417
H-53AE	1597.5 ab	601.9 a	38 b	0.34 b	14.5	28	404
Azul	1572.6 ab	500.9 b	33 b	0.45 a	16.3	26	428
H-48	1388.1 b	604.9 a	44 a	0.35 b	15.7	28	438
Prob. F	*	*	**	**	ns	ns	ns
DMS 0.05	338.9	46.7	4.4	0.05	-	-	-

Medias dentro de columnas con letras iguales son estadísticamente equivalentes (Tukey, 0.05). \*: Significancia a  $P < 0.05$  y \*\*:  $P < 0.01$ . BT: Biomasa total; RG: Rendimiento de grano; IC: Índice de cosecha; TG: Tamaño de grano; NH: Número de hileras; GH: Granos por hilera; GM: Granos por mazorca.

## CONCLUSIONES

El análisis de crecimiento mostró diferencias para los genotipos estudiados, así el índice de área foliar, duración del área foliar, tasa de crecimiento del cultivo, tasa de asimilación neta, biomasa total, rendimiento de grano, índice de cosecha y tamaño medio del grano fueron diferentes entre cultivares.

La dinámica del IAF de los cultivares en estudio siguió una tendencia de polinomio de segundo grado, así como un patrón sigmoide en la acumulación de biomasa. La TCC mostró comportamiento de campana de Gauss.

La precipitación durante el año del estudio fue baja y se distribuyó de manera inadecuada para el desarrollo óptimo del cultivo, sin embargo, los cultivares estudiados mostraron ser tolerantes a esta condición.

H-48 mostró la menor duración del ciclo de cultivo, la mayor duración del área foliar, alta tasa de asimilación neta, tasas de crecimiento del cultivo constantes durante todo el ciclo, así como, el rendimiento de grano e índice de cosecha más altos del estudio. H-57 y el criollo Azul mostraron el RG e IC más bajos del estudio.

En general, los híbridos superaron al criollo en las variables e índices calculados por lo que su utilización podría elevar la producción de maíz en la zona. Sin embargo, tomando en cuenta la alta diversidad de poblaciones nativas de maíz (criollos) existentes en nuestro país, los resultados podrían cambiar. Por lo que otros criollos deben ser evaluados.

## LITERATURA CITADA

- Aguilar, C.; J. A. S. Escalante y I. Aguilar. 2015. Análisis de crecimiento y rendimiento de maíz en clima cálido en función del genotipo, biofertilizante y nitrógeno. *Terra Latinoamericana* 33(1): 51-62.
- Andrade, F. H.; A. Cirilo; S. A. Uhart y M. Otegui. 1996. *Ecofisiología del cultivo de maíz*. Editorial La Barrosa, CERBAS, INTA-FCA y UNMP. Primera edición. Balcarce, Argentina. 292p.
- Antonio, M. M.; J. L. Arellano; G. García-de los Santos; S. Miranda; J. A. Mejía y C. F. González. 2004. Variedades criollas de maíz azul raza Chalqueño. Características agronómicas y calidad de semilla. *Revista Fitotecnia Mexicana* 27(1): 9-15.
- Delgado, R.; J. A. S. Escalante; R. Díaz; A. Trinidad; E. Morales y E. Sosa. 2014. Defoliación en maíz y su efecto sobre el rendimiento de frijol-maíz en asociación. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5(6): 1015-1027.
- Denmead, O. T. y R. H. Shaw. 1960. The effects of soil moisture stress at different stages of growth on the development and yield of corn. *Agronomy Journal* 52(5): 272-274.
- Díaz-López, E.; J. Loeza-Corte; M. J. M. Campos-Pastelín; E. Morales-Rosales; A. Domínguez-López y O. Franco-Mora. 2013. Eficiencia en el uso de la radiación, tasa de asimilación neta e integral térmica en función del fósforo en maíz (*Zea mays* L.). *Agrociencia* 47(2): 135-146.
- Doorenbos, J. y W. O. Pruitt. 1986. *Las necesidades de agua por los cultivos*. Estudio FAO Riego y Drenaje no. 24. Roma, Italia.

- Dickerson, G. W. 2003. Nutritional analysis of New Mexico blue corn and dent corn kernels. Cooperative Extension Service, College of Agriculture and Home Economics. New Mexico State University, Las Cruces NM 3C. Guide H-233. 2p.
- Escalante, J. A. S. y S. J. Kohashi. 1993. El Rendimiento y Crecimiento del Frijol. Manual para la Toma de Datos. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Texcoco, Estado de México, México. 84p.
- Escalante, J. A. S.; Ma. T. Rodríguez y Y. I. Escalante. 2011. Índices de análisis de crecimiento y rendimiento de maíz. *In*: Investigación en Economía, Matemáticas, Física y sus aplicaciones. D. Sepúlveda-Jiménez (coord). Capítulo 12. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Estado de México, México. 137-143 pp.
- Escobar-Gutiérrez, A. J. and L. Combe. 2012. Senescence in field-grown maize: From flowering to harvest. *Field Crops Research* 134: 47-58.
- Espinosa, A.; M. Tadeo; J. Lothrop; S. Azpíroz; R. Martínez; J. Pérez; C. Tut y Couoh; J. Bonilla; A. Ramírez y Y. Salinas. 2003a. H-48, nuevo híbrido de maíz de temporal para los Valles Altos del centro de México. *Agricultura Técnica en México* 29(1): 85-87.
- Espinosa, A.; M. Tadeo; J. Lothrop; S. Azpíroz; C. Tut y Couoh y Y. Salinas. 2003b. H-50, híbrido de maíz de temporal para los Valles Altos del centro de México (2200 a 2600 msnm). *Agricultura Técnica en México* 29(1): 89-92.
- Espinosa-Calderón, A.; M. Tadeo-Robledo; I. Arteaga-Escamilla; A. Turrent-Fernández; M. Sierra-Macías; N. Gómez-Montiel; A. Palafox-Caballero; R. Valdivia-Bernal; V. Trejo-Pastor y E. Canales-Islas. 2012. Rendimiento de las generaciones F1 y F2 de híbridos trilineales de maíz en los valles altos de México. *Universidad y Ciencia* 28(1): 57-64.

- García, E. L. 2005. Modificación al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. 4<sup>a</sup> (Ed.). Universidad Autónoma de México. D.F., México. 217p.
- García-Pacheco, A. D. y C. López-Castañeda. 2002. Temperatura base y tasa de extensión foliar en maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana* 25(4): 381-386.
- Ghodrat, V.; M. Rousta and A. Karampour. 2013. Growth analysis of corn (*Zea mays* L.) as influenced by indole-butyric acid and gibberllic acid. *Journal of Basic and Applied Scientific* 3(2): 180-185.
- Hokmalipour, S. and M. H. Darmandi. 2011. Physiological growth indices in corn (*Zea mays* L.) cultivars as affected by nitrogen fertilizer levels. *World Applied Sciences Journal* 15(12): 1800-1805.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). 2011. Día de Campo CEVAMEX 2011. Campo Experimental Valle de México. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Texcoco, Estado de México, México. Memoria Técnica # 12. 306pp.
- Kato, T.; C. Mapes; L. Mera; J. Serratos y R. Bye. 2009. Origen y Diversificación del Maíz: Una Revisión Analítica. Universidad Nacional Autónoma de México y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. D.F., México. 116 pp.
- Lázaro, P.; H. Saucedo y F. Zatarain. 2010. Riego por gravedad. Fundación PRODUCE Nayarit A.C. e Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Nayarit, México. 24p.
- Maqbool, M.; A. Tanveer; Z. Ata and R. Ahmad. 2006. Growth and yield of maize (*Zea mayz* L.) as affected by row spacing and weed competition durations. *Pakistan Journal of Botany* 38(4): 1227-1236.

- Ojeda-Bustamante, W.; E. Sifuentes-Ibarra y H. Unland-Weiss. 2006. Programación integral del riego en maíz en el norte de Sinaloa, México. *Agrociencia* 40(1): 13-25.
- Panda, R. K.; S. K. Behera and P. S. Kashyap. 2004. Effective management of irrigation water for maize under stressed conditions. *Agricultural Water Management*. 66(3): 181-203.
- Pecina, M. J. A.; M. C. Mendoza; J. A. López; F. Castillo; M. Mendoza y J. Ortiz. 2011. Rendimiento de grano y sus componentes en maíces nativos de Tamaulipas evaluados en ambientes contrastantes. *Revista Fitotecnia Mexicana* 34(2): 85-92.
- Rasheed, M.; T. Mahmood and M. Shafi. 2003. Response of hybrid maize to different planting methods and nutrient management. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences* 40(1-2): 39-42.
- Ritchie, S. W. and J. J. Hanway. 1982. How a corn plant develops. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service. Ames Iowa, EEUU. Special report No. 48. 21p.
- Salinas-Moreno, Y.; F. Martínez-Bustos; M. Soto-Hernández; M. Ortega-Paczka y J. L. Arellano-Vázquez. 2003. Efecto de la nixtamalización sobre las antocianinas del grano de maíces pigmentados. *Agrociencia* 37(6): 617-628.
- Statistical Analysis System (SAS) Institute. 2003. SAS user's guide. Version 9.0 SAS Institute Inc. Cary, NC. USA.
- Sistema de Información Agropecuaria (SIAP). 2013. Sistema de Información Agropecuaria de Consulta. SAGARPA. México. [http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ar\\_comanuar.html](http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ar_comanuar.html) (Consultado: 20 de febrero de 2015).
- Snyder, R. L. 1985. Hand calculating degree days. *Agricultural and Forest Meteorology* 35(1-4): 353-358.

- Stewart, J. I.; R. D. Misra and W. O. Pruitt. 1975. Irrigation of corn and grain sorghum with deficient water supply. Transactions of the ASAE 18 (2): 270-280.
- Tadeo, M. y A. Espinosa. 2004. Producción de semilla y difusión de variedades e híbridos de maíz de grano amarillo para Valles Altos de México. Revista FESC Divulgación Científica Multidisciplinaria 4(14): 5-10.
- Tanaka, A. y H. Yamaguchi. 1972. Producción de Materia Seca, Componentes del Rendimiento y Rendimiento del Grano de Maíz. Colegio de postgraduados. Chapingo. Texcoco, Estado de México, México. 124p.
- Wellhausen, E. J.; L. M. Roberts; X. E. Hernández y P. C. Mangelsdorf. 1951. Razas de Maíz en México. Su origen, características y distribución. Oficina de Estudios Especiales. Secretaría de Agricultura y Ganadería. D.F., México. Folleto Técnico No. 5. 236 p.
- Woo, R. J. L.; R. Vázquez; E. Olivares; F. Zavala; R. González; R. Valdez y C. Gallegos. 2004. Análisis de crecimiento en maíz (*Zea mays* L.) aplicando lodos activados y urea. Sistema de Producción agropecuaria. Agrofaz 4(1): 437-441.

## **CAPÍTULO II. CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE GENOTIPOS DE MAÍZ DE VALLES ALTOS EN COMPETENCIA CON MALEZA**

### **RESUMEN**

La presencia de maleza es uno de los factores que limitan la producción de maíz. Las mayores pérdidas en el rendimiento de este cultivo, excluyendo las variables ambientales, son causadas por la competencia con maleza. No obstante, los mecanismos fisiológicos relacionados con estas pérdidas han sido poco estudiados. A la fecha no se conocen estudios que documenten el impacto que ocasiona la competencia con maleza en el crecimiento y rendimiento de cultivares de maíz utilizados en los Valles Altos del centro de México. Los objetivos de este estudio fueron: i) documentar el efecto de la duración de la competencia con maleza en el crecimiento y rendimiento de cuatro híbridos y una población nativa (criollo) de maíz utilizados en los Valles Altos de México e ii) identificar el cultivar más tolerante a la competencia con maleza. El estudio se estableció en 2012 en condiciones de lluvia estacional en Texcoco, Edo. Méx. Los tratamientos consistieron en la siembra de los cinco genotipos de maíz (GEN) expuestos a cuatro periodos de competencia con maleza (PCM): 0, 30, 60 y 90 días de competencia (ddc) a partir de la siembra. Se calcularon el índice de área foliar (IAF), la duración del área foliar (DAFT), la tasa media de crecimiento del cultivo (TCC) y la tasa media de asimilación neta (TAN). A la madurez fisiológica se evaluó la biomasa total (BT), el índice de cosecha (IC), el rendimiento de grano (RG) y sus componentes. Se encontraron diferencias estadísticas significativas en el IAF, DAFT, BT, RG y sus componentes por efecto del GEN, PCM y su interacción. También diferencias atribuibles al PCM en la TCC y TAN. La BT más alta se presentó en el criollo Azul con 30 ddc. H-50 registró el RG más alto con 30ddc. Los híbridos estudiados disminuyeron la BT y el RG a partir de 60 ddc con maleza, mientras el criollo Azul redujo el RG a partir de los 30 ddc. H-48 fue el genotipo más tolerante a la competencia con maleza, debido a que presentó la menor reducción del RG cuando se expuso al PCM más largo (90 ddc). El criollo Azul fue el cultivar menos tolerante a la competencia con maleza.

**Palabras clave:** *Zea mays* L. subsp. *mays*; maíz criollo; H-48; H-50; manejo integrado de malezas

## ABSTRACT

Weed presence is one of the factors that limit maize production. The greatest losses in grain yield of this crop, excluding environmental variables, are caused by competence with weeds. However, the physiological mechanisms related with these losses have been poorly studied. To date there are not known studies that document the impact that causes weed competence on growth and yield of maize cultivars used in the highlands of central Mexico. The objectives of this study were: i) determine the effect of weed competition duration on growth and grain yield of four hybrids and a native population of maize (criollo) used in the High Valleys of central Mexico, and ii) identify the cultivar with more tolerance to weed competition. The study was carried out in 2012 under reinfed conditions in Texcoco, Edo. Mex. Treatments were the combination of five genotypes of maize (GEN) exposed to four periods of competition with weeds (WCP): 0, 30, 60 and 90 days of competence (doc), since sowing. The leaf area index (LAI), leaf area duration (LAD), average crop growth rate ( $\overline{CGR}$ ) and the average net assimilation rate ( $\overline{NAR}$ ) were calculated. At physiological maturity, total biomass (TB), harvest index (HI), grain yield (GY) and its components were determined. Statistical differences were found for LAI, LAD, TB, GY and its components by effect of GEN, WCP and their interaction. Also differences attributable to WCP for  $\overline{CGR}$  and  $\overline{NAR}$  were founded. The highest TB was presented by the criollo with 30 ddc. H-50 registered the highest GY with 30 doc. Hybrids decreased the TB and GY after 30 doc with weeds, while the criollo reduced the GY before this date. H-48 was the most tolerant genotype to weed competition, since it had the lowest reduction of RG when was exposed to the longest PCM (90 ddc). Blue criollo was the cultivar less tolerant to weed competence.

**Key words:** *Zea mays* L. subsp. *mays*; native population of maize; H-48; H-50; weed integrated management

## INTRODUCCIÓN

El cultivo de maíz en los Valles Altos del centro de México (2200-2600 msnm) representa casi el 20% de la superficie cultivada con este cereal a nivel nacional. En estas zonas, el rendimiento promedio es de 3.5 t ha<sup>-1</sup> (Espinosa *et al.*, 2003) lo cual es superior a la media nacional en 9%. Sin embargo, el rendimiento podría ser aumentado hasta 6 t ha<sup>-1</sup> con el uso de semilla mejorada de alta calidad y la aplicación oportuna de la tecnología de producción (Espinosa *et al.*, 2003 y Turrent, 1994). Por lo que empresas privadas e instituciones gubernamentales han desarrollado híbridos de alta productividad para estos ambientes (H-48, H-50, H-53AE, H-57, entre otros). Sin embargo su presencia en estas zonas es incipiente (6%), ya que aún predomina el cultivo de poblaciones nativas (criollos) (Espinosa *et al.*, 2012; Kato *et al.*, 2009). Excluyendo las variables ambientales, las mayores pérdidas en el rendimiento del cultivo de maíz son causadas por la competencia con maleza (Rajcan y Swanton, 2001), ya que se sabe que ésta compite con el cultivo por luz, espacio, agua y nutrimentos, lo cual resulta en el abatimiento del rendimiento (Holm *et al.*, 1977; Zita *et al.*, 2011). Debido a que los daños causados por la competencia con maleza no pueden ser observados a simple vista, como en el caso de las plagas y enfermedades, es frecuente que en el momento en que se detecta el daño, éste ya no puede ser revertido e incide directamente en la disminución de la biomasa y el rendimiento. Sin embargo, los mecanismos fisiológicos que ocasionan estas pérdidas han sido poco estudiados.

En el manejo integrado de maleza (MIM), todos los aspectos del sistema de cultivo son considerados con el objetivo de reducir el efecto de la competencia de la maleza sobre el rendimiento, al tiempo que se minimiza el impacto del cultivo sobre el ambiente (Swanton y Weise, 1991; Tollenaar *et al.*, 1994). La selección de cultivares de alto rendimiento que

sean competitivos con la maleza, se considera una de las alternativas más importantes para mejorar el MIM.

La tolerancia o respuesta competitiva del cultivo, se define como la habilidad para soportar el estrés competitivo impuesto por la maleza sin experimentar reducciones sustanciales en el rendimiento (Callaway, 1992; Jannik *et al.*, 2001; Williams II *et al.*, 2007). Los cultivares de las principales especies agrícolas, entre ellos el maíz, varían en su tolerancia hacia la maleza, misma que puede ser estimada por el rendimiento alto y la capacidad para experimentar las menores reducciones en éste por la competencia con maleza (Callaway, 1992), por lo que debería ser considerada como un atributo importante como criterio de selección en el mejoramiento genético.

El análisis de crecimiento (AC) es una herramienta cuantitativa útil para describir y cuantificar el desempeño de un sistema de cultivo en condiciones naturales o controladas, ya que provee un acercamiento explicativo, holístico e integral para interpretar la forma y el comportamiento de las plantas. Agronómicamente, el AC aporta elementos que permiten adecuar las prácticas de manejo en el cultivo para cada genotipo, así como conocer los caracteres que más contribuyen al rendimiento, por lo que beneficiaría tanto al mejorador de plantas como al agricultor. Aportando criterios de decisión más precisos al ser basados en conocimiento sistematizado sobre la respuesta ecofisiológica del genotipo cultivado (Smith y Smith, 1989; Thomas *et al.*, 2003).

Por ejemplo, el AC ha sido utilizado por Evans *et al.* (2003) para identificar las causas potenciales de las pérdidas en el rendimiento de grano de maíz debidas a la interferencia con maleza. Por otro lado, Maqbool *et al.* (2006) utilizaron la tasa media de crecimiento del cultivo ( $\overline{TCC}$ ) y el índice de área foliar (IAF) para estudiar el efecto del espaciamiento entre hileras y la duración del periodo de competencia con maleza (PCM) sobre el crecimiento y

rendimiento de un híbrido de maíz en Pakistán, encontrando la reducción máxima en la  $\overline{TCC}$  (38%), el IAF (44%) y el rendimiento de grano (RG, 51%) en el tratamiento que estuvo todo el ciclo en competencia con maleza, en comparación con el que se conservó libre de arvenses todo el ciclo. En cambio, cuando el PCM fue de 30 y 60 días a partir de la siembra, la reducción en la TCC fue de 23% y 37%, respectivamente. El RG se redujo en 17% y 32% por efecto de 30 y 60 ddc con maleza. Los estudios que relacionan la reducción en el crecimiento y rendimiento del cultivo de maíz con la competencia ejercida por la maleza son escasos; sin embargo muestran la tendencia de que la reducción en el crecimiento y rendimiento de grano del maíz están relacionadas (Evans *et al.*, 2003; Lum *et al.*, 2005; Silva *et al.*, 2011).

A la fecha, no se conocen estudios que documenten el impacto que ocasiona la competencia con maleza en la acumulación de materia seca y el rendimiento a través del análisis de crecimiento de cvs. de maíz utilizados en los Valles Altos del centro de México. Con base en lo anterior, los objetivos del presente estudio fueron: a) Determinar el efecto de la duración de la competencia con maleza en el crecimiento y rendimiento de cuatro híbridos y una población nativa (criollo) de maíz utilizados en los Valles Altos de México y b) Identificar el cultivar más tolerante a la competencia con maleza.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Área de estudio**

El estudio se realizó en el ciclo primavera-otoño en un lote experimental del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Estado de México (19° 29'N, 98° 54' O) bajo condiciones de lluvia estacional a una altitud de 2250 m. El clima es del tipo BS1 que

corresponde al menos seco de lo áridos con lluvias en verano, con temperatura y precipitación media anual de 14.6°C y 558.5 mm, respectivamente (García, 2005).

### **Material genético**

Se utilizaron cuatro híbridos de maíz generados por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) para la región de los Valles Altos: H-48, H-50, H-53AE y H-57; además de la población nativa (criollo) cv. San Miguelito de grano azul, proveniente de San Andrés Tocuila, Estado de México.

### **Diseño experimental y manejo del experimento**

La siembra se realizó de manera manual el 8 de mayo de 2012. Los tratamientos se integraron con la combinación de cinco genotipos de maíz (GEN) expuestos a cuatro periodos de competencia con maleza (PCM): 0, 30, 60 y 90 días de competencia (ddc) a partir de la siembra. Lo cual generó un total de 20 tratamientos (Cuadro 1).

**Cuadro 1. Diseño de tratamientos del estudio de cinco cultivares de maíz de Valles Altos en competencia con maleza. Montecillo, México. Mayo-Noviembre, 2012.**

Tratamiento	Genotipo (GEN)	Días de competencia con maleza (ddc)
1		0 días
2	H-50	30 días
3		60 días
4		90 días
5		0 días
6	H-53AE	30 días
7		60 días
8		90 días
9		0 días
10	H-48	30 días
11		60 días
12		90 días
13		0 días
14	H-57	30 días
15		60 días
16		90 días
17		0 días
18	Criollo Azul San Miguelito	30 días
19		60 días
20		90 días

El diseño experimental fue de bloques completos al azar en arreglo de parcelas divididas con cuatro repeticiones, lo cual generó un total de 80 unidades experimentales. En la parcela mayor se colocaron los PCM y en la menor los GEN. La unidad experimental estuvo compuesta por tres surcos de 5 m de largo por 0.8 m de ancho; se consideró como parcela útil el surco central. La densidad de población fue de 6.25 pl m<sup>-2</sup>.

Después de haber prescrito la duración del PCM, las unidades experimentales correspondientes, se mantuvieron libres de maleza, a través de deshierbe manual, hasta la cosecha. . No se registraron problemas severos de plagas o enfermedades durante el desarrollo del experimento.

### **Variables meteorológicas y fenológicas**

Los datos de temperatura máxima ( $T_{\text{máx}}$ ), mínima ( $T_{\text{mín}}$ ) y precipitación pluvial diarias, fueron proporcionados por la estación Agrometeorológica del Colegio de Postgraduados. Con ellos se calcularon promedios decenales para las  $T_{\text{máx}}$  y  $T_{\text{mín}}$  y la suma decenal de la precipitación ( $P_{\text{pt}}$ , mm) y evaporación ( $E_{\text{vp}}$ , mm) durante el desarrollo del estudio.

Se registró la ocurrencia de las fases fenológicas: días a emergencia (VE), floración femenina (R1) y madurez fisiológica (R6), con base en el criterio presentado en Ritchie y Hanway (1982). Con estos datos se calculó, por fase fenológica, la acumulación de unidades térmicas por el cultivo (UC, °C día), mediante el método residual presentado por Snyder (1985):  $UC = (T_{\text{máx}} + T_{\text{mín}} / 2) - TB$ ; donde:  $T_{\text{máx}}$  = Temperatura máxima diaria (°C),  $T_{\text{mín}}$  = Temperatura mínima diaria (°C) y  $TB$  = Temperatura base (9.5°C; con base en García-Pacheco y López-Castañeda, 2002). También la evapotranspiración del cultivo ( $E_{\text{Tc}}$ ), calculada a partir de los datos de evaporación ( $E_{\text{vp}}$ ) del tanque tipo "A", utilizando 0.6 como coeficiente del evaporímetro y como coeficientes del cultivo ( $k_c$ ) inicial = 0.35; desarrollo = 1.14 y final = 0.6 (Doorenbos y Pruitt, 1986), mediante la siguiente relación:  $E_{\text{Tc}} = E_{\text{v}} * 0.6 * K_c$ .

### **Variables morfológicas y fisiológicas**

Para dar seguimiento al crecimiento del cultivo, a los 30, 60, 90 y 120 días después de la siembra (dds) se realizaron muestreos destructivos de dos plantas por parcela útil, en las que se determinó el área foliar (AF) por medio de un integrador electrónico (LI-COR 3100), así como la materia seca total (BIO, g m<sup>-2</sup>), para lo cual las muestras separadas por

órganos (tallo, hojas, inflorescencias) se colocaron en una estufa de circulación de aire forzado a 80° C hasta alcanzar peso constante.

A la madurez fisiológica de cada cultivar, se determinó la acumulación de materia seca total (BT, g m<sup>-2</sup>) y el rendimiento de grano (RG, g m<sup>-2</sup>, al 13% de humedad). También se determinó el índice de cosecha (IC, %) mediante la relación:  $IC = (RG/BIO)*100$ ; el tamaño de grano (TG, g), el número de hileras por mazorca (NH), el número de granos por hilera (NG) y el número de granos por mazorca (GM).

### **Índices calculados**

Con los datos obtenidos de los muestreos, se calcularon los índices de crecimiento presentados a continuación. Índice de área foliar (IAF) y duración del área foliar (DAF, días) con base a los siguientes ecuaciones:  $IAF = (AF/NP)*DP/100 \text{ dm}^2$ , donde AF = área foliar (dm<sup>2</sup>), NP = número de plantas muestreadas y DP = número de plantas m<sup>-2</sup>.  $DAF = \Sigma ((IAF_1 + IAF_2) (T_2-T_1))/2$ , donde:  $\Sigma$  = sumatoria de la duración del área foliar para cada periodo estudiado, IAF<sub>1</sub> = índice de área foliar en un tiempo inicial (T<sub>1</sub>, en días), IAF<sub>2</sub> = índice de área foliar en un tiempo final (T<sub>2</sub>, en días) (Escalante y Kohashi, 1993). Tasa media de crecimiento del cultivo ( $\overline{TCC}$ , g m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>) y tasa media de asimilación neta ( $\overline{TAN}$ , g m<sup>-2</sup> de hoja día<sup>-1</sup>) con base en estas relaciones:  $\overline{TCC} = [(PS_2 - PS_1) / A(T_2 - T_1)]$  donde: PS<sub>2</sub> y PS<sub>1</sub> indican el peso de la materia seca de la planta en los tiempo T<sub>2</sub> y T<sub>1</sub>, respectivamente y A representa el área ocupada por la planta.  $\overline{TAN} = [(PS_2 - PS_1) / (IAF_2 - IAF_1)] / [(\ln IAF_2 - \ln IAF_1) / (T_2 - T_1)]$ , donde: PS<sub>2</sub> y PS<sub>1</sub> expresan el peso de la materia seca de la planta, ln AF<sub>2</sub> y ln AF<sub>1</sub>, logaritmo natural del AF en el tiempo T<sub>2</sub> y T<sub>1</sub>, respectivamente (Escalante y Kohashi, 1993).

### **Análisis estadístico**

A las variables de crecimiento y rendimiento se les aplicó un análisis de varianza (ANDEVA) por medio del programa estadístico SAS Versión (9.0) (SAS, 2003); cuando se presentaron diferencias significativas, se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ).

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Especies de maleza registradas en el estudio**

En el cuadro 2 se muestran las especies de maleza que ocurrieron durante el ciclo de cultivo de los cinco genotipos de maíz estudiados. La composición de la comunidad fue de 13 familias, 21 géneros y 22 especies, de las cuales el 27% pertenece a la clase Liliópsida (monocotiledóneas) y el 73% a la Magnoliópsida (dicotiledóneas). La familia Poaceae concentra el 23% de las especies presentes en el estudio, mientras que la familia Asteraceae aporta el 18%, siendo ambas las más importantes por el número de especies incluidas en la comunidad de arvenses en estudio.

**Cuadro 2. Especies de maleza asociadas a cinco cultivares de maíz de Valles Altos. Montecillo, México. Primavera-Otoño, 2012.**

Clase	Familia	Especie	Ciclo de vida
Liliópsida	Cyperaceae	<i>Cyperus esculentus</i> L.	P
Liliópsida	Poaceae	<i>Bromus catharticus</i> Vahl	P
Liliópsida	Poaceae	<i>Eleusine multiflora</i> Hochst. ex A. Rich.	A
Liliópsida	Poaceae	<i>Eragrostis mexicana</i> (Hornem.) Link	A
Liliópsida	Poaceae	<i>Paspalum prostratum</i> Scribn. & Merr.	A/ BA
Liliópsida	Poaceae	<i>Setaria adhaerens</i> (Forssk.) Chiov.	A
Magnoliópsida	Amaranthaceae	<i>Amaranthus hybridus</i> L.	A
Magnoliópsida	Asteraceae	<i>Galinsoga quadriradiata</i> Ruiz & Pav.	A
Magnoliópsida	Asteraceae	<i>Parthenium bipinnatifidum</i> (Ortega) Rollins	A
Magnoliópsida	Asteraceae	<i>Simsia amplexicaulis</i> (Cav.) Pers.	A
Magnoliópsida	Asteraceae	<i>Sonchus oleraceus</i> L.	A
Magnoliópsida	Brassicaceae	<i>Brassica rapa</i> L.	A
Magnoliópsida	Brassicaceae	<i>Lepidium virginicum</i> L.	A/BA
Magnoliópsida	Chenopodiaceae	<i>Chenopodium berlandieri</i> Moq.	A
Magnoliópsida	Convolvulaceae	<i>Ipomoea purpurea</i> (L.) Roth	A
Magnoliópsida	Euphorbiaceae	<i>Acalypha indica</i> L.	A

Magnoliópsida	Malvaceae	<i>Fuertesimalva limensis</i> (L.) Fryxell	A
Magnoliópsida	Malvaceae	<i>Malva parviflora</i> L.	A
Magnoliópsida	Onagraceae	<i>Lopezia racemosa</i> Cav.	A/P
Magnoliópsida	Oxalidaceae	<i>Oxalis corniculata</i> L.	P
Magnoliópsida	Portulacaceae	<i>Portulaca oleracea</i> L.	A
Magnoliópsida	Solanaceae	<i>Datura stramonium</i> L.	A/P

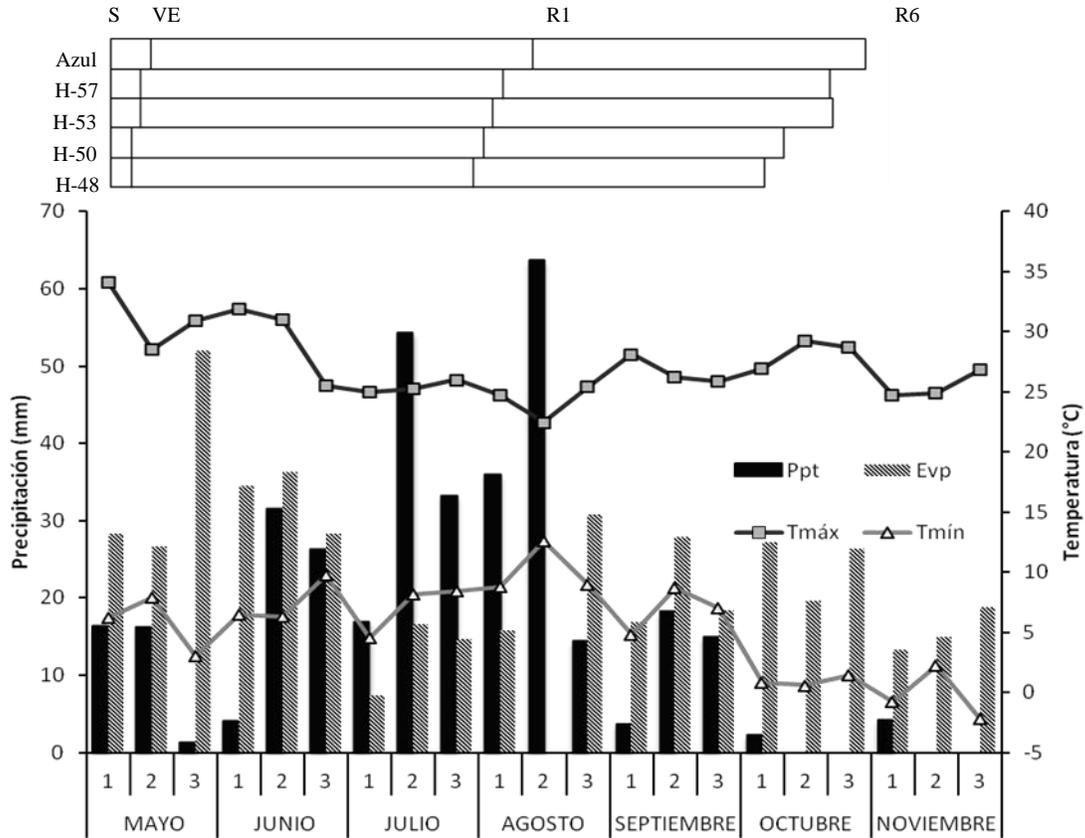
---

P = perenne; A = anual; BA = Bianual.

De las 22 especies registradas, tres tienen un ciclo de vida perenne, 15 son estrictamente anuales, dos pueden ser anuales o perennes y otras dos anuales o bianuales; sin embargo, todas son herbáceas. La mayor parte de las especies registradas en el estudio han sido reportadas como maleza en el cultivo de maíz en México (Villaseñor y Espinosa, 1998; Rosales y Medina, 2011). Al respecto, Molina-Frener *et al.* (2008) realizaron un estudio sobre la dinámica poblacional de maleza en un campo de maíz de temporal del municipio de Texcoco, Estado de México, y encontraron que en el banco de semillas se distinguieron 18 especies, siendo las más abundantes *Lopezia racemosa*, *Galinsoga parviflora*, *Salvia tiliifolia* y *Acalypha indica*, dos de las cuales aparecen en este estudio.

### **Variables meteorológicas y fenología de los cultivares**

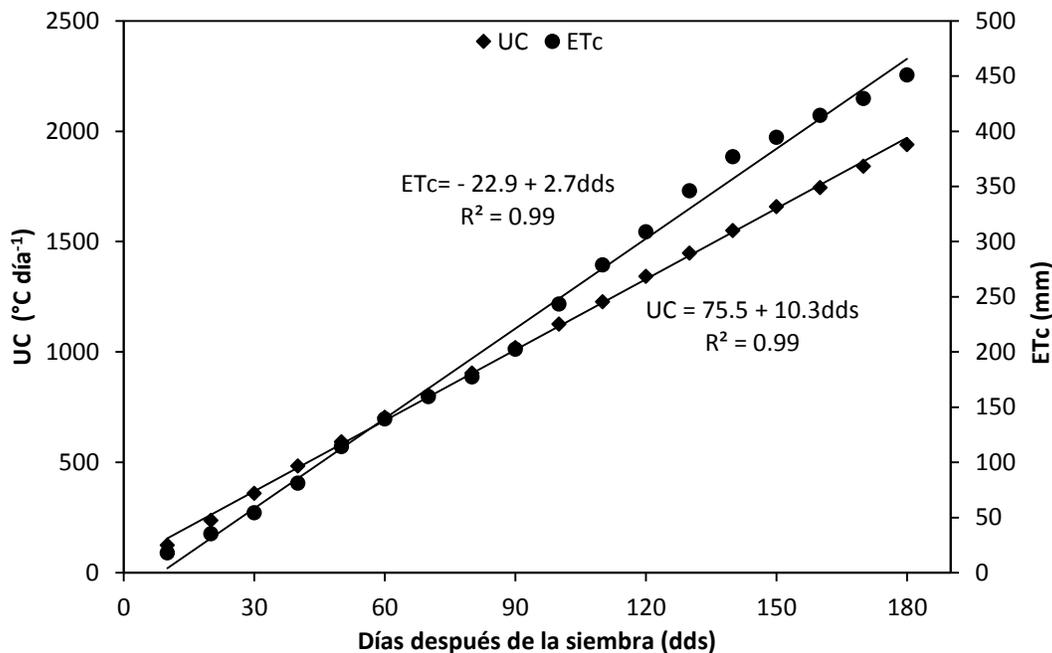
La duración de las etapas fenológicas fue variable entre los cultivares estudiados, sin embargo no fue afectada por el periodo de competencia con maleza (Figura 1). H-48 mostró ser el cultivar más precoz, ya que emergió (VE) 6 dds, la floración femenina (R1) ocurrió 84 dds y la madurez fisiológica (R6) 155 dds. H-50 mostró un comportamiento fenológico similar, aunque requirió 86 y 158 d para alcanzar R1 y R6, respectivamente. Espinosa *et al.* (2003b) indican que H-48 presenta sincronía en la floración masculina y femenina a los 82 dds, en promedio, y madurez fisiológica entre 150 y 155 dds, por lo que el comportamiento observado en este estudio coincide con lo descrito. Un caso similar es el de H-50, en cuya descripción varietal se indica que R1 ocurre 84 dds y R6 a los 155 dds, 2 y 3 días (d) antes de lo ocurrido en este estudio. H-53AE mostró ser el híbrido más tardío, VE, R1 y R6 ocurrieron a los 7, 89 y 169 dds, respectivamente, lo cual es también, 2 y 4 d más tardío en comparación con lo descrito en INIFAP (2011). El criollo Azul fue el genotipo más tardío, ya que fueron necesarios 9, 96 y 176 d para alcanzar VE, R1 y R6, respectivamente.



**Figura 1. Distribución de la precipitación pluvial (Ppt, suma decenal), evaporación (Evp, suma decenal), temperaturas máximas (Tmáx, promedio decenal) y mínimas (Tmín, promedio decenal) durante el desarrollo de cinco genotipos de maíz. Montecillo, México. Mayo-Noviembre, 2012. S = siembra; VE = Emergencia; R1 = Floración femenina y R6 =Madurez fisiológica.**

### Requerimientos hídricos y calóricos

En la Figura 2 se presentan la acumulación de unidades calor (UC) y la evapotranspiración del cultivo (ETc) en función de los días después de la siembra. Es posible observar que se ajustan a una relación lineal. Los requerimientos térmicos e hídricos de los cultivares no resultaron afectados por el periodo de competencia con maleza, pero fueron variables entre los genotipos estudiados (Cuadro 3).



**Figura 2. Unidades calor y evapotranspiración acumulada en el ciclo de crecimiento de cinco genotipos de maíz.**

H-48 fue el genotipo que presentó menor duración del ciclo de cultivo (155 días a R6) y menor UC para alcanzar R1 y R6 con 921 y 1650°Cd, respectivamente. El híbrido más tardío fue H-57 (168 a R6) que requirió 964°Cd para llegar a R1 y 1775°Cd para alcanzar R6. En promedio los híbridos requirieron 1722°Cd para alcanzar la madurez fisiológica, mientras que el criollo Azul resultó ser el más tardío ya que alcanzó R6 a los 176 dds y 1848°Cd. Al respecto, en un estudio conducido en clima templado Díaz-López *et al.* (2013) señalan que son necesarias, en promedio, 773 y 1158°Cd para alcanzar R1 y R6, respectivamente, para los genotipos incluidos en este trabajo. En contraste, Ojeda-Bustamante *et al.* (2006) indican que en clima cálido, se requieren 1451°Cd y 179 dds para alcanzar R6. Lo anterior podría indicar que los genotipos desarrollados para los Valles

Altos de México tienen altos requerimientos térmicos, en parte por la duración del ciclo de cultivo.

Los requerimientos hídricos entre los genotipos también fueron variables. Así, H-48 fue el híbrido con menor consumo de agua (413 mm) y H-57 el de mayor (434 mm). El criollo Azul destacó por mostrar el requerimiento hídrico más alto para alcanzar las etapas fenológicas registradas. Así, R1 se presentó durante la tercera decena de agosto, cuando la precipitación representó menos de la mitad de la evaporación calculada por lo que se considera que la humedad atmosférica y edáfica fueron limitantes en la etapa de polinización, lo que el número de óvulos fecundados podría haber experimentado una disminución; lo que podría explicar el bajo rendimiento de grano mostrado por este cultivar en R6.

**Cuadro 3. Requerimientos térmicos e hídricos para la ocurrencia de etapas fenológicas en cinco cultivares de maíz.**

Cultivar	Emergencia		Floración		Madurez	
	(VE)		femenina (R1)		fisiológica (R6)	
	UC	ETc	UC	ETc	UC	ETc
H-48	73.6	24.1	921.3	199.5	1650.3	412.9
H-50	73.6	24.1	943.6	209.5	1680.3	416.7
H-53AE	83.5	26.1	974.1	219.8	1784.7	435.4
H-57	83.5	26.1	964.05	216.17	1775.4	433.9
Azul	106.1	30.6	1051.25	247.2	1848.1	449.3

## Componentes fisiológicos durante el desarrollo del cultivo

### Índice de área foliar máximo y duración del área foliar en periodo vegetativo y reproductivo

El análisis de varianza para IAFmax, DAFPv, DAFPr y DAFT reveló cambios significativos por genotipo (GEN), periodo de competencia con maleza (PCM) y la interacción genotipo\*periodo de competencia con maleza (GEN\*PCM) (Cuadro 4).

**Cuadro 4. IAF máximo y DAF en periodo vegetativo (DAFPv), reproductivo (DAFPr) y DAFT por cultivar y periodo de competencia.**

FACTOR		IAF Max	DAFPv	DAFPr	DAFT
GENOTIPO	AZUL	2.9 a	93.6 c	80.5 a	174.2 ab
	H-48	2.9 a	106.3 a	73.5 b	179.8 a
	H-50	2.7 b	98.4 b	71.3 bc	169.7 b
	H-57	2.6 b	89.6 c	69.1 c	158.6 c
	H-53AE	2.5 b	83.0 d	74.2 b	157.2 c
PCM	0	3.5 a	129.3 a	94.9 a	224.3 a
	30	3.3 b	112.9 b	87.8 b	200.6 b
	60	2.1 c	68.8 c	57.5 c	126.4 c
	90	2.0 c	65.7 d	54.7 c	120.4 d
Prob. F	Genotipo	**	**	**	**
	PCM	**	**	**	**
DMS Tukey 0.05	Genotipo	0.17	4.57	3.91	6.77
	PCM	0.10	2.89	4.21	4.94

Medias dentro de columnas con letras iguales son estadísticamente equivalentes (Tukey, 0.05). \*: Significancia a  $P < 0.05$  y \*\*:  $P < 0.01$ .

En el cuadro 4, se consignan el IAFMax (registrado a los 90 dds), la DAFPv, la DAFPr y la DAFT las cuales mostraron diferencias altamente significativas entre genotipos y periodos de competencia con maleza.

### **Genotipos**

El criollo Azul y H-48 mostraron el valor más alto de IAF, lo cual fue consistente con la DAFT, que es un indicador del periodo en que las hojas mantienen sus capacidad fotosintética, debido a que estos cultivares fueron los que mantuvieron el dosel funcional por más tiempo. H-48 mostró la mayor DAFPv, pero no la más alta DAFPr, que resultó menor que en el criollo, ya que éste fue el cultivar con la DAFPr más prolongada de todo el estudio. H-48 fue el cultivar que requirió la menor cantidad de tiempo térmico y cronológico para llegar a R6. Sin embargo, mostró las mayores DAFPv y DAFT.

El maíz H-57 resultó ser el genotipo de menor DAFPv y DAFPr, y en consecuencia menor DAFT, lo cual contrasta con su mayor longitud del ciclo (168 días a R6), que lo hace acumular mayor cantidad de biomasa pero mostrar un rendimiento de grano más bajo.

### **Periodo de competencia con maleza**

El PCM mostró un efecto negativo sobre las variables fisiológicas estudiadas, ya que a medida que aumentó la duración de la competencia con maleza, tanto el IAF como la DAF disminuyeron hasta llegar a ser mínimos con 90 ddc. Estos resultados concuerdan con lo señalado por Maqbool *et al.* (2006), quienes encontraron que el IAF de híbridos de maíz se redujo en 22 y 41% con 30 y 60 ddc con maleza, respectivamente; resultados similares a los encontrados en el presente estudio (Cuadro 4). Esta disminución en el IAF podría ser el resultado de una limitada disposición de agua y nutrimentos para la planta de maíz,

derivado de la competencia con maleza (Maqbool *et al.* 2006; Zita *et al.*, 2011). En promedio la DAFT disminuyó en 10.5, 43.6 y 46.3% por efecto de 30, 60 y 90 ddc con maleza, estas reducciones fueron similares para la DAF en fase vegetativa y reproductiva (DAFPv y DAFPr, respectivamente). Al respecto, Escobar-Gutiérrez y Combe (2012) señalan que después de R1 la eficiencia del fotosistema II disminuye con mayor velocidad en plantas de maíz sometidas a estrés hídrico que en plantas irrigadas, lo cual implica que la actividad fotoquímica del dosel disminuye en magnitud y duración debido al estrés hídrico. Otros estudios (Rajcan y Tollenaar, 1999) han demostrado que la senescencia del dosel puede afectar seriamente la producción del cultivo debido a los efectos negativos sobre la asimilación de carbono y traslocación de materia seca de las hojas hacia el grano. Rajcan y Swanton (2001) indican que la reducción en el IAF durante el llenado de grano es resultado de una acelerada senescencia de las hojas bajo condiciones de competencia con maleza, comparado con un cultivo libre de esta interferencia.

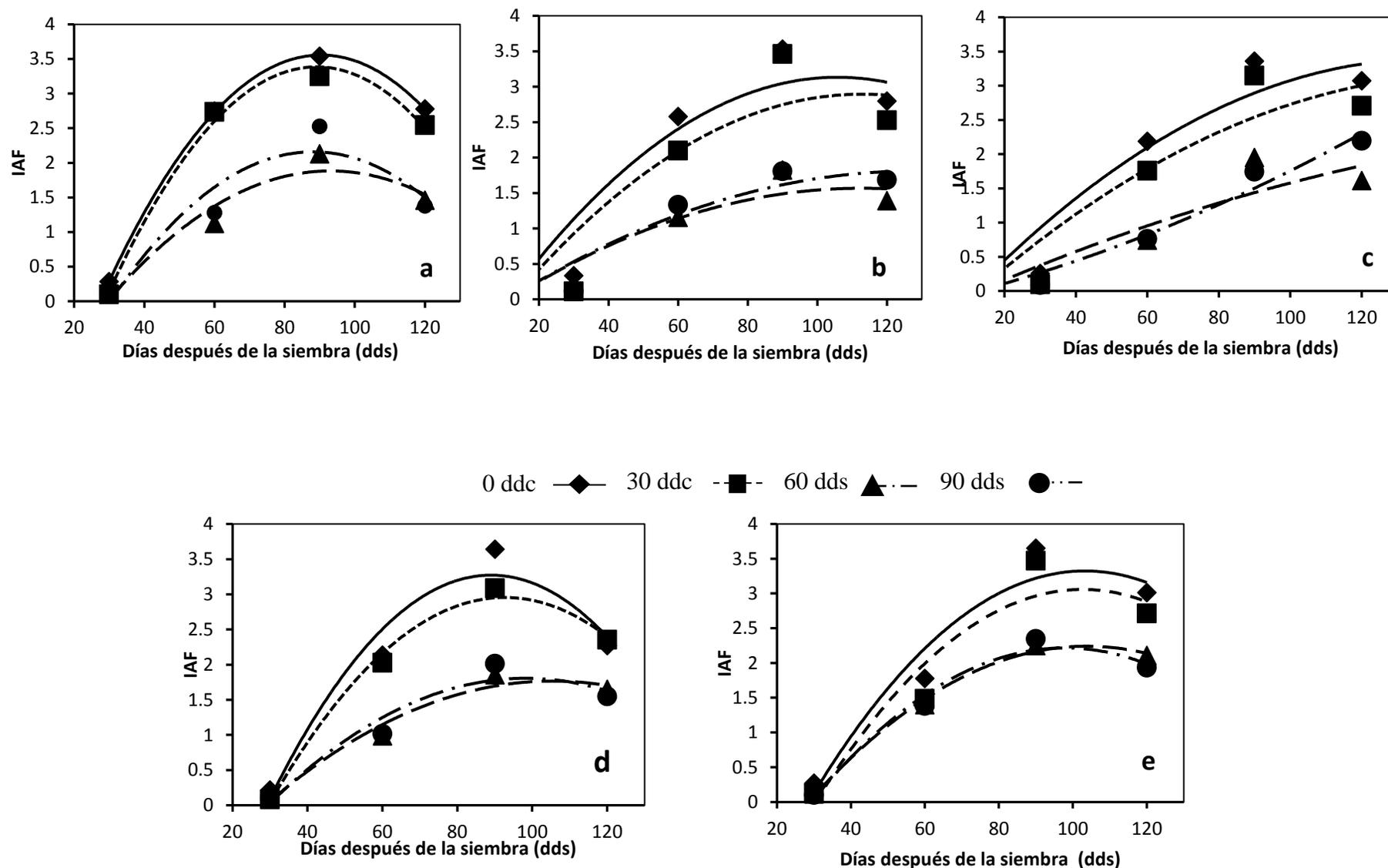
### **Dinámica del índice de área foliar**

El IAF en los cultivares estudiados aumentó conforme avanzaba el ciclo del cultivo hasta alcanzar un valor máximo a los 90 dds, después del cual disminuyó hasta el final del ciclo, lo cual puede ser descrito matemáticamente por medio de un polinomio de segundo grado (Figura 3 y Cuadro 5).

La influencia del PCM sobre la dinámica del AF de cada genotipo fue diferente, de lo cual se podría inferir una tolerancia genotípica distinta a la interferencia con maleza. Sin embargo, se observaron tendencias similares en lo que concierne al efecto global de los tratamientos.

### **Genotipos y periodo de competencia con maleza**

Los IAF más altos se encontraron con 0 ddc con maleza para todos los genotipos, a partir de este valor, se registraron disminuciones diferenciales por genotipo y periodo de competencia (Cuadro 5). Es posible notar que con 30 ddc con maleza el efecto negativo es de baja magnitud sobre la dinámica del IAF (reducción de 7.4%, en promedio, a los 90 dds). Sin embargo, si se permite la coexistencia de la maleza y el cultivo por 60 y 90 ddc, la magnitud de la reducción es de 44%, en promedio. El mismo valor promedio encontrado con 90 ddc, lo cual podría indicar que el efecto de más de 60 ddc con maleza en maíz no ocasiona reducciones drásticas en el IAF. Al respecto, Maqbool *et al.* (2006) señalan que el IAF a los 75 dds en un híbrido de maíz iraní se redujo 41 y 44% con 60 y todo el ciclo con maleza, respectivamente; esto sugiere que la reducción del IAF después de 60 ddc tiende a ser mínimas. Debido a que el IAF define la habilidad del dosel para interceptar la radiación incidente, es un factor determinante en la acumulación de materia seca, por lo que cualquier reducción en el IAF óptimo implica menor proporción de radiación incidente interceptada, lo cual tiene un impacto directo en el rendimiento (Loomis *et al.*, 1968). La época de reducción del IAF es importante debido que este fenómeno durante R1 y las tres semanas subsecuentes reduce el número de granos establecidos (pegados) y durante el llenado de grano, el peso del cariósido (Rajcan y Swanton, 2001).



**Figura 3.** Dinámica del IAF de cinco cultivares de maíz en función de la duración del periodo de competencia con maleza (0, 30, 60 y 90 ddc). Montecillo, México. Mayo-Noviembre, 2012. a = H-48; b = H-50; c = H-53AE; d = H-57 y e = Criollo Azul.

**Cuadro 5. Modelos cuadráticos que describen la dinámica del IAF de cinco genotipos de maíz. Montecillo, México. Mayo-Noviembre, 2012. a = H-48; b = H-50; c = H-53AE; d = H-57 y e = Criollo Azul.**

	PCM	Modelo	R <sup>2</sup>
<b>a</b>	0 ddc	$y = - 3.76 + 0.162x - 0.0009x^2$	0.99
	30 ddc	$y = - 3.98 + 0.165x - 0.0009x^2$	0.99
	60 ddc	$y = - 2.85 + 0.114x - 0.0006x^2$	0.90
	90 ddc	$y = - 2.15 + 0.087x - 0.0005x^2$	0.93
	PCM	Modelo	R <sup>2</sup>
<b>b</b>	0 ddc	$y = - 3.5 + 0.152x - 0.0008x^2$	0.99
	30 ddc	$y = - 3.75 + 0.15x - 0.0008x^2$	0.98
	60 ddc	$y = - 1.84 + 0.076x - 0.0004x^2$	0.98
	90 ddc	$y = - 1.74 + 0.073x - 0.0004x^2$	0.99
	PCM	Modelo	R <sup>2</sup>
<b>c</b>	0 ddc	$y = - 3.03 + 0.123x - 0.0006x^2$	0.94
	30 ddc	$y = - 3.12 + 0.12x - 0.0006x^2$	0.91
	60 ddc	$y = - 2.02 + 0.082x - 0.0004x^2$	0.99
	90 ddc	$y = - 2.29 + 0.092x - 0.0005x^2$	0.98
	PCM	Modelo	R <sup>2</sup>
<b>d</b>	0 ddc	$y = - 2.96 + 0.124x - 0.0006x^2$	0.99
	30 ddc	$y = - 3 + 0.118x - 0.0006x^2$	0.98
	60 ddc	$y = - 1.55 + 0.06x - 0.0003x^2$	0.89
	90 ddc	$y = - 0.91 + 0.034x - 6E-05x^2$	0.99
	PCM	Modelo	R <sup>2</sup>
<b>e</b>	0 ddc	$y = - 3.96 + 0.163x - 0.0009x^2$	0.95
	30 ddc	$y = - 3.43 + 0.138x - 0.0007x^2$	0.99
	60 ddc	$y = - 1.57 + 0.063x - 0.0003x^2$	0.97
	90 ddc	$y = - 1.88 + 0.075x - 0.0004x^2$	0.94

### **Interacción genotipo\*periodo de competencia con maleza (GEN\*PCM)**

En lo relativo a la respuesta diferencial en la dinámica del IAF de los genotipos de maíz estudiados, es importante señalar que el criollo Azul y H-48 destacaron por ser los cultivares que experimentaron menor reducción del IAF durante todo el ciclo (31 y 39% a los 90 dds, respectivamente), mientras que H-53AE y H-50 fueron en los que más se redujo el IAF (55 y 48% a los 90 dds, respectivamente). Lo anterior indica que el criollo Azul y H-48 son los genotipos más tolerantes a la competencia con maleza, considerando solamente esta variable. Lo anterior concuerda con estudios que señalan que los cultivares varían en su efecto competitivo o tolerancia hacia la maleza, y que las principales características relacionadas con el dosel que la influyen son: la rápida formación del dosel, un IAF alto, una prolongada duración del área foliar, además de alta tasa de ramificación axilar (Callaway, 1992). Al respecto, Tollenaar, *et al.* (1994) encontró que una respuesta diferencial a la interferencia con maleza, entre los híbridos estudiados de manera que el más antiguo resultó ser el que más redujo el IAF por efecto de la competencia con maleza.

### **Análisis de crecimiento**

#### **Tasa media de crecimiento del cultivo ( $\overline{TCC}$ )**

La velocidad de producción de materia seca de un cultivo a través del tiempo es descrita por la  $\overline{TCC}$  (Escalante y Kohashi, 1993). Los cinco genotipos de maíz estudiados mostraron una velocidad de acumulación de biomasa baja al principio del ciclo y aumentó conforme avanzaba el mismo hasta llegar al máximo en el periodo de 60-90 ó 90-120 dds, dependiendo de la ocurrencia de las etapas fenológicas y la extensión del ciclo de cultivo

del genotipo correspondiente, después del cual disminuyó paulatinamente hasta ser mínima en R6 (modelo de campana de Gauss). Esta dinámica concuerda con la descrita por Ghodrati *et al.* (2013), quienes señalaron que la máxima TCC en maíz fue alcanzada en la floración, etapa a partir de la cual decreció hasta llegar a cero después de R6.

### **Periodo de competencia con maleza**

La  $\overline{TCC}$  promedio en el tratamiento de 0 ddc con maleza en el periodo 60-90 dds de los genotipos en estudio, fue de 22.61 g m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>, que es menor a la indicada por Rasheed *et al.* (2003) y Maqbool *et al.* (2006), quienes reportan una  $\overline{TCC}$  para híbridos de maíz de EEUU e Irán, a los 75 dds, de 27.97 y 28.48 g m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>, respectivamente.

En cambio, durante el mismo periodo, pero con 30 ddc la  $\overline{TCC}$  mostró un valor promedio más alto (25.9 g m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>) que en el tratamiento sin competencia con maleza. Este valor es 14.8% superior al indicado por Maqbool *et al.* (2006) para el híbrido Dahklab 919 con 30 días de competencia con una comunidad de maleza de ocurrencia natural en Irán.

En lo referente a la  $\overline{TCC}$ , cuando se permitió una competencia de 60 y 90 dds los valores fueron similares entre sí, pero menores a los registrados en los tratamientos con menos tiempo de competencia con maleza (18.7 y 17.65 g m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>, respectivamente).

El hecho que la  $\overline{TCC}$  más alta registrada en este estudio sea menor a las reportadas por otros autores, podría obedecer a que los dos estudios a los que se hace referencia se desarrollaron en condiciones de riego suplementario y fertilización adecuada, además de tratarse de cultivares diferentes. Sin embargo, es interesante notar que la competencia durante los primeros 30 días del ciclo de cultivo, en general, aumentó la velocidad de producción de biomasa ( $\overline{TCC}$ ) en 14% lo cual podría ser explicado al efecto de facilitación que la flora

arvense puede tener sobre los cultivos, en este caso, ejemplificado por medio de la mayor retención e infiltración de agua en los tratamientos con maleza, que en los que se tenía el suelo desnudo (0 ddc), considerando que ni la magnitud ni la distribución de la precipitación fue la adecuada para el cultivo de maíz en el año 2012.

### **Interacción GEN\*PCM**

Se detectaron respuestas diferenciales en la  $\overline{TCC}$  de los cultivares por efecto del PCM (Figura 4) mismas que se reflejan en los modelos gaussianos correspondientes a cada GEN y PCM (Cuadro 6). En H-53AE, H-57 y el criollo Azul en el periodo de 60-90 dds las tasas más altas se registraron con 0 ddc con maleza y experimentaron una reducción de 8.5, 8.6 y 18.2 % cuando se expusieron a 30 ddc y de 18.3, 30 y 45.4% al exponerlos a 60 ddc. La reducción promedio en la  $\overline{TCC}$  por efecto de 90 ddc en estos genotipos fue de 43.1%. Estos resultados sugieren que los cultivares mencionados poseen una alta tolerancia a la competencia con maleza los primeros 30 días del ciclo, ya que si se comparan con la reducción ocasionada en el híbrido Dahklab 919, las reducciones fueron en promedio menores en 10.7% (Maqbool *et al.*, 2006). En cambio, H-48 y H-50 mostraron las tasas de mayor magnitud con 30 ddc en el periodo de 60-90 dds (32.2 y 24.2 g m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>, respectivamente) y se redujeron a partir de los 60 ddc en un 42.8 y 6.36 %, con respecto al tratamiento de 0 ddc. Estos datos indican que los cultivares estudiados muestran una tolerancia diferente a la competencia con maleza, destacando H-48 y H-50, que no registran merma en la producción de biomasa por efecto de 30 ddc con maleza.

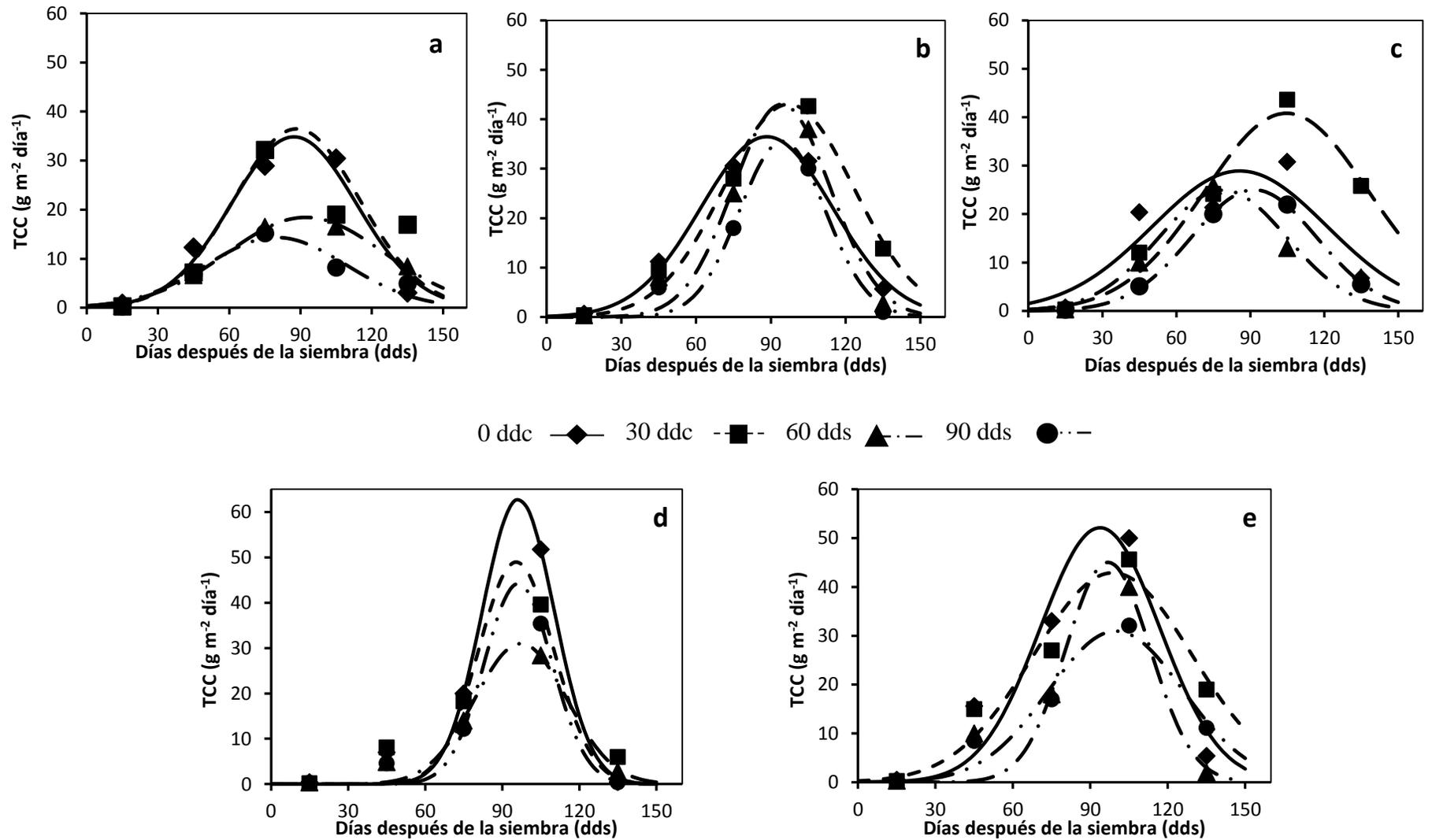


Figura 4. Dinámica de la TCC de cinco cultivares de maíz en función de la duración del periodo de competencia con maleza (0, 30, 60 y 90 ddc). Montecillo, México. Mayo-Noviembre, 2012. a = H-48; b = H-50; c = H-53AE; d = H-57 y e = Criollo Azul.

**Cuadro 6. Modelos de campana de Gauss que describen la TCC de cinco genotipos de maíz. Montecillo, México. Mayo-Noviembre, 2012.**

GEN	PCM	Modelo	
H-48	0 ddc	$y = 34.8e^{\frac{-(x-87.2)^2}{26.4}}$	0.96
	30 ddc	$y = 32.2e^{\frac{-(x-83.3)^2}{24.3}}$	0.92
	60 ddc	$y = 18.4e^{\frac{-(x-92.2)^2}{33.1}}$	0.99
	90 ddc	$y = 47.2e^{\frac{-(x-94.9)^2}{30.4}}$	0.90
H-50	0 ddc	$y = 28.9e^{\frac{-(x-85.7)^2}{70.6}}$	0.88
	30 ddc	$y = 40.8e^{\frac{-(x-104.6)^2}{66.2}}$	0.97
	60 ddc	$y = 25e^{\frac{-(x-91.5)^2}{50.8}}$	0.99
	90 ddc	$y = 24.9e^{\frac{-(x-78.9)^2}{52}}$	0.92
H-53AE	0 ddc	$y = 36.4e^{\frac{-(x-88.3)^2}{52.8}}$	0.98
	30 ddc	$y = 43e^{\frac{-(x-97.2)^2}{52.2}}$	0.98
	60 ddc	$y = 43e^{\frac{-(x-94.3)^2}{39}}$	0.95
	90 ddc	$y = 35.5e^{\frac{-(x-94.6)^2}{34.4}}$	0.95
H-57	0 ddc	$y = 62.8e^{\frac{-(x-96.2)^2}{28}}$	0.97
	30 ddc	$y = 40.9e^{\frac{-(x-95.4)^2}{29.2}}$	0.94
	60 ddc	$y = 30.9e^{\frac{-(x-97.1)^2}{35.8}}$	0.96
	90 ddc	$y = 44.1e^{\frac{-(x-96.1)^2}{26.4}}$	0.97
Azul	0 ddc	$y = 52.1e^{\frac{-(x-93.7)^2}{46.2}}$	0.90
	30 ddc	$y = 42.9e^{\frac{-(x-98.7)^2}{61.4}}$	0.93
	60 ddc	$y = 45e^{\frac{-(x-96.8)^2}{32.6}}$	0.90
	90 ddc	$y = 30.9e^{\frac{-(x-99.8)^2}{52}}$	0.93

## **Tasa media de asimilación neta ( $\overline{TAN}$ )**

### **Genotipos y periodos de competencia**

La  $\overline{TAN}$  es una medida de la eficiencia del dosel para producir materia seca por unidad de área foliar (Escalante y Kohashi, 1993), por lo que puede considerarse una medida indirecta de la eficiencia fotosintética de las hojas. En la Figura 5 se presenta la dinámica de la  $\overline{TAN}$  de cuatro híbridos y un criollo expuestos a diferentes periodos de PCM. En todos los GEN y PCM se encontró la  $\overline{TAN}$  más alta a los 15 dds, a partir de la cual decreció hasta los 75 dds; se sabe que en los primeros estadios de crecimiento del maíz la mayor parte de las hojas se encuentran expuestas a la radiación solar, sin embargo, conforme avanza el ciclo aumenta el IAF y con éste el sombreado de las hojas, por lo que la TAN disminuye (Ghodrat *et al.*, 2009). Tendencias de disminución de la  $\overline{TAN}$  a lo largo del ciclo fueron indicadas por Woo *et al.* (2004) y Díaz-López *et al.* (2013), al estudiar el efecto de la suplementación de Fósforo y de lodos activados sobre el crecimiento y rendimiento de cultivares de maíz.

### **Interacción GEN\*PCM**

La influencia del PCM sobre la dinámica de la  $\overline{TAN}$  mostró diferencias entre los genotipos estudiados (Cuadro 7). En los cuatro híbridos evaluados, las  $\overline{TAN}$  más altas se registraron en el tratamiento de 30 ddc con maleza y no en el cultivo libre de maleza todo el ciclo, que en H-53AE y H-57 resultó ser el tratamiento en donde se registraron los menores valores de  $\overline{TAN}$ . Este fenómeno podría explicarse si se toma en cuenta que 30 ddc con maleza ocasionan una disminución “ligera” del IAF, lo que se esperaría conllevarse a una disminución en la acumulación de biomasa. Sin embargo, las TCC se mantienen altas con

este periodo de interferencia, por lo que la planta podría estar compensando la reducción en el área foliar, haciendo este dosel más eficiente para producir materia seca. El criollo Azul, mostró una dinámica de la  $\overline{TAN}$  peculiar debido a que en el periodo de 0-30 dds se registraron  $\overline{TAN}$  mayores en los tratamientos de 60 y 90 ddc con maleza, sin embargo, en el periodo de 60-90 dds las tasas más altas fueron encontradas con 0 y 30 ddc. El comportamiento inicial de las tasas en este genotipo obedece a que en el periodo de 0-30 dds el único tratamiento que registra diferencia en el manejo es el de 0 ddc, ya que los restantes aún están sometidos a la interferencia de las arvenses, además de que el criollo presenta menor uniformidad en las variables de crecimiento y rendimiento, debido a que no ha sido sometidos a un proceso formal de mejoramiento genético que favorece la fijación y homogeneización de los caracteres deseables para el fitomejorador.

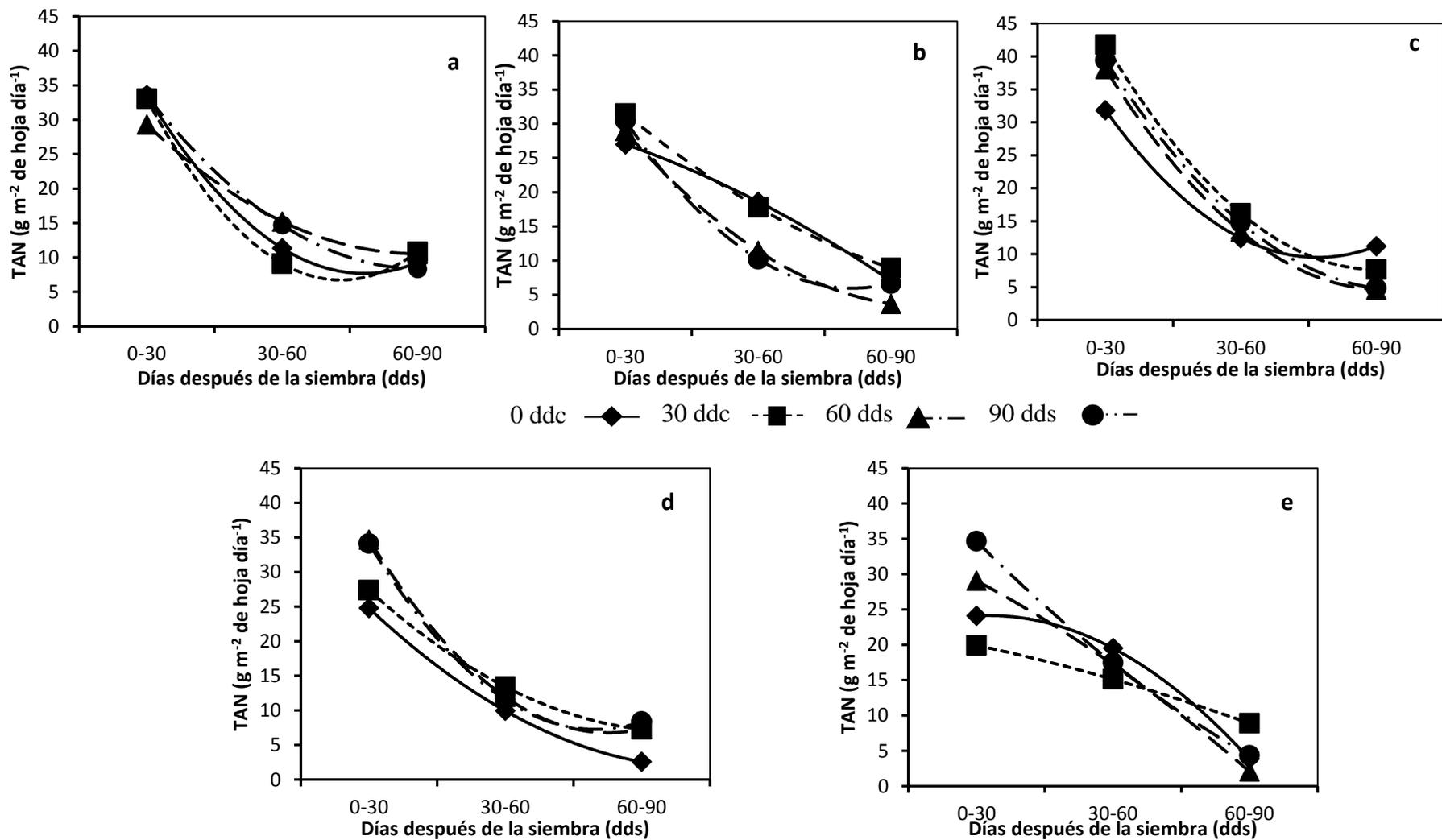


Figura 5. Tasa media de asimilación neta ( $\text{g m}^{-2}$  de hoja día<sup>-1</sup>) de cinco cultivares de maíz en competencia con maleza (0, 30, 60 y 90 ddc). Montecillo, México. a = H-48; b = H-50; c = H-53AE; d = H-57 y e = Criollo Azul.

**Cuadro 7. Modelos cuadráticos que describen la dinámica de la TAN de cinco genotipos de maíz en competencia con maleza (0, 30, 60 y 90 ddc). Montecillo, México. Mayo-  
Noviembre, 2012. a = H-48; b = H-50; c = H-53AE; d = H-57 y e = Criollo Azul.**

	PCM	Modelo	R <sup>2</sup>
<b>a</b>	0 ddc	$y = 52 - 1.4x + 0.011x^2$	1
	30 ddc	$y = 55 - 1.6x + 0.0142x^2$	1
	60 ddc	$y = 40 - 0.8x + 0.0052x^2$	1
	90 ddc	$y = 47 - 1.0 + 0.0069x^2$	1
<b>b</b>	0 ddc	$y = 32.19 - 3.59x - 1.6x^2$	1
	30 ddc	$y = 49.98 - 20.89x + 2.4x^2$	1
	60 ddc	$y = 56.22 - 32.16x + 4.9x^2$	1
	90 ddc	$y = 67.47 - 45.33x + 8.3x^2$	1
<b>c</b>	0 ddc	$y = 69.44 - 46.68x + 9.1x^2$	1
	30 ddc	$y = 84.43 - 51.15x + 8.5x^2$	1
	60 ddc	$y = 78.66 - 48.50x + 7.9x^2$	1
	90 ddc	$y = 78.78 - 46.68x + 7.3x^2$	1
<b>d</b>	0 ddc	$y = 47.03 - 25.9x + 3.72x^2$	1
	30 ddc	$y = 49.05 - 25.6x + 3.88x^2$	1
	60 ddc	$y = 75.46 - 49.8x + 9.03x^2$	1
	90 ddc	$y = 76.11 - 51.7x + 9.72x^2$	1
<b>e</b>	0 ddc	$y = 23.29 - 2.6x - 0.71x^2$	1
	30 ddc	$y = 17.61 + 12x - 5.54x^2$	1
	60 ddc	$y = 37.62 - 6.9x - 1.64x^2$	1
	90 ddc	$y = 55.96 - 23.4x + 2.1x^2$	1

## **Biomasa, rendimiento y sus componentes**

El cálculo de las variables fisiológicas e índices de crecimiento en el cultivo de maíz, permite conocer la capacidad y eficiencia con la que se llevan a cabo dos de los procesos físico-biológicos más importantes para la producción de alimentos, los cuales son la intercepción de la radiación solar y su posterior conversión a energía química que pueda ser utilizada para producir biomasa. Por lo que es posible afirmar que la acumulación de biomasa puede ser estimada directamente con el cálculo de estos índices, sin embargo, la generación del rendimiento es un proceso que involucra a la fotosíntesis, pero también a la remobilización de metabolitos producidos con anterioridad hacia las cariósides en desarrollo (Tanaka y Yamaguchi, 1972; Escobar-Gutiérrez y Combe, 2012).

El ANDEVA para biomasa total, rendimiento de grano y sus componentes mostró cambios significativos y altamente significativos por efecto del GEN y PCM en todas las variables evaluadas a excepción del tamaño de grano (Cuadro 8). Andrade *et al.* (1996) señalan que el peso del grano es un componente menos afectado por el ambiente, ya que depende más de factores genéticos, además, se conoce que en maíz, el rendimiento de grano está más asociado al número final de granos que al peso de los mismos. En lo concerniente a la interacción GEN\*PCM, se encontraron diferencias significativas y altamente significativas en BIO, IC, RG y sus componentes (Cuadro 8).

**Cuadro 8. Biomasa total, rendimiento de grano y componentes de cinco cultivares de maíz bajo cuatro periodos de competencia con maleza.**

Factor	BT (g m <sup>-2</sup> )	RG (g m <sup>-2</sup> )	IC (%)	TG (g)	NH	NG	GM	
H-48	1307 ab	520 a	40 a	0,34	15,1 a	26,6 a	403 a	
H-50	1359 ab	516 a	38 ab	0,35	15,1 a	25,3 a	380 ab	
GEN	H-53	1197 bcd	425 ab	35 ab	0,33	14,3 ab	24,0 ab	342 bc
	H-57	1270 ab	402 bc	32 b	0,33	14,3 ab	25,7 a	366 abc
	Azul	1486 a	310 c	20 c	0,33	13,1 b	20,6 b	314 c
	0	1554 b	568 a	37 a	0,37	15,1 a	27,7 a	419 a
	30	2020 a	644 a	32 ab	0,36	15,0 a	29,1 a	435 a
PCM	60	881 c	289 b	33 ab	0,33	14,5 ab	22,7 b	328 b
	90	837 c	237 b	30 b	0,30	12,8 b	18,4 c	262 b
Media general	1324	435	33	0,34	14,5	24,8	364	
Prob. F	GEN	*	**	**	ns	*	**	*
	PCM	**	**	*	ns	*	**	**
DMS 0.05	GEN	219,7	101	7	ns	1,8	4,5	59
	PCM	201,6	114	6	ns	1,8	3,9	70

Medias dentro de columnas con letras iguales son estadísticamente equivalentes (Tukey, 0.05). \*\*, \*\*\* Significancia a P<0.05 y 0.001, respectivamente. BIO: Biomasa total; RG: Rendimiento de grano; IC: Índice de cosecha; TG: Tamaño de grano; Mm: Mazorcas por m<sup>-2</sup> GM: Granos por mazorca; NH: Número de hileras; GH: Granos por hilera.

### Genotipo

En general, en todas las variables evaluadas a la cosecha, es posible notar la separación de dos grupos: los híbridos y el criollo Azul. En el RG y sus componentes, los híbridos fueron

superiores, no así en la producción de BT que fue mayor en el criollo Azul, lo cual podría explicarse por la fenología de los cultivares, ya que éste fue el genotipo más tardío (Arellano *et al.*, 2003); además de ser el de mayor altura de planta (datos no presentados). Antonio *et al.* (2004) indican que los RG experimentales de maíces azules cultivados en zonas templadas va de 2.9-5.4 t ha<sup>-1</sup>; en tanto Dickerson (2003) señala que el RG de lo cultivares azules de maíz son bajos comparados con los de los híbridos mejorados.

De los híbridos, destacan H-48 y H-50 por mostrar los valores más altos de RG (520 y 516 g m<sup>-2</sup>), NH (15.1, en ambos casos) y NG (26,6 y 25,3). El RG es menor al obtenido por Pecina *et al.* (2011), quienes analizaron un grupo de genotipos mejorados desarrollados para Valles Altos. Sin embargo, supera en gran medida a la media estatal con riego (4.05 t ha<sup>-1</sup>) y al RG del criollo Azul evaluado en este experimento, lo cual indica que el uso de híbridos podría elevar el RG de maíz incluso en zonas de lluvia estacional (Tadeo y Espinosa, 2004). No obstante, el cultivo de criollos continúa siendo importante debido a los subproductos que de ellos se derivan, además de las características nutraceuticas que han sido descubiertas en los mismos (Salinas *et al.*, 2003).

### **Periodo de competencia con maleza**

La competencia con maleza los primeros 30 días del ciclo no afectó la BIO, el RG y sus componentes, pero sí el IC de los cultivares estudiados. Por el contrario, la BIO experimentó un aumento del 30% en relación al testigo sin competencia. El IC disminuyó 12.2% por efecto de 30 y 60 ddc con maleza. La competencia durante los primeros 60 y 90 días del ciclo redujo significativamente la BIO, IC, RG y sus componentes en los híbridos y criollo estudiados.

Estos datos contrastan con lo afirmado tradicionalmente para el control de maleza en el cultivo de maíz, que indican que el control temprano es esencial para prevenir pérdidas en el RG, ya que

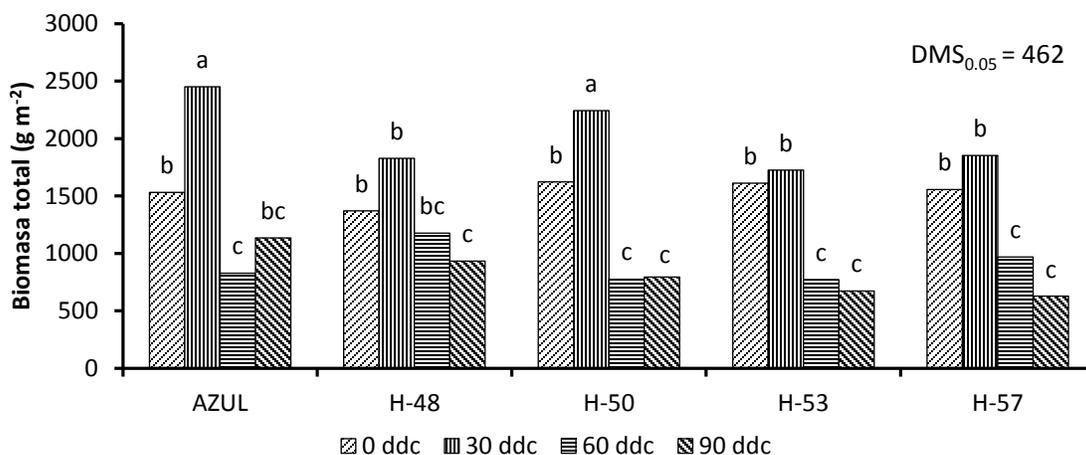
las cohortes de maleza que emergen junto con el cultivo o poco tiempo después, causan mayores reducciones sobre el RG que las emergidas en etapas más tardías de desarrollo (Swanton *et al.*, 1999; Maqbool *et al.*, 2006). Estas afirmaciones están sustentadas sobre hallazgos como los de Maqbool *et al.* (2006) en Irán, quienes describen una reducción en el rendimiento de 16.6 y 32.5% cuando el híbrido Dahklab 919 estuvo expuesto a 30 y 60 ddc con maleza, respectivamente.

En contraste, Norsworthy y Oliveira (2004) señalan que durante las primeras semanas después de la emergencia del cultivo, los recursos presentes en el ambiente son generalmente suficientes para soportar el crecimiento tanto de la maleza como del cultivo. En el caso de nuestro estudio, el recurso más limitante fue el agua, ya que la precipitación del año 2012 fue menor a las normales climatológicas de la zona, además de haber presentado una distribución poco adecuada para el cultivo de maíz. Se ha estudiado que el efecto del estrés hídrico en maíz depende de la etapa fenológica en la que éste se encuentre, además de la severidad y duración del mismo (Lorens *et al.*, 1987). Así, durante la etapa vegetativa puede limitar la altura de planta, la acumulación de biomasa y la tasa de aparición de hojas, pero no necesariamente el RG. Thomas y Allison (1975) encontraron que el contenido de humedad en el suelo fue mayor en parcelas de maíz con presencia de maleza que en las libres de interferencia. Todo lo anterior podría explicar que el RG no se haya reducido en presencia de maleza los primeros 30 días del ciclo.

### **Interacción GEN\*PCM**

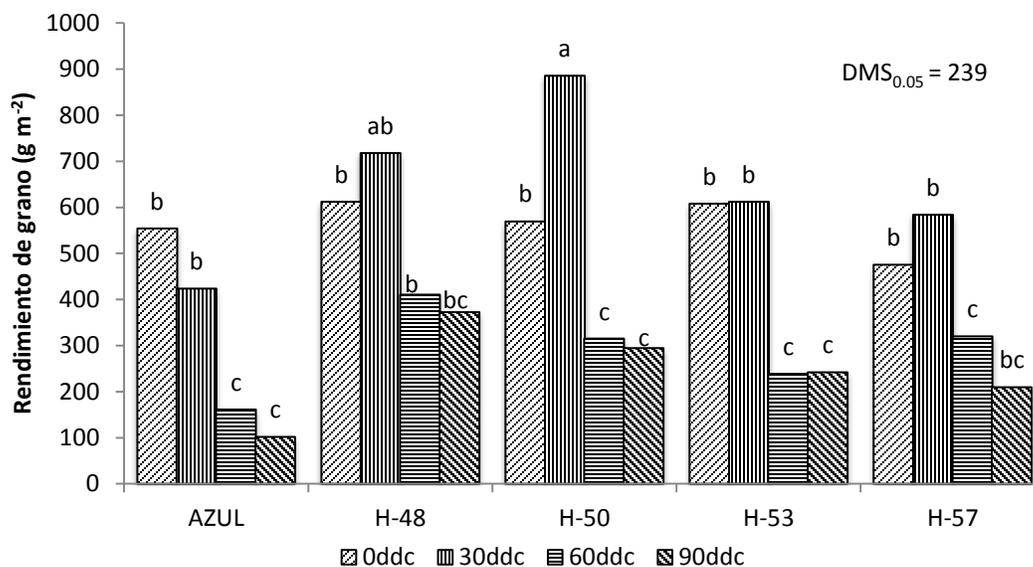
Se registraron diferencias estadísticas significativa en la BT, RG y sus componentes por efecto del interacción GEN\*PCM. En la Figura 6 se muestran los efectos de la interacción GEN\*PCM sobre BIO. La BIO más alta se observó en el criollo Azul con 30 ddc con maleza (2451 gm<sup>-2</sup>),

seguida por H-50 con el mismo PCM ( $2244 \text{ g m}^{-2}$ ) y después por H-57, H-48 y H-53AE con 30 ddc. Los tratamientos libres de maleza acumularon menor cantidad de BIO que los expuestos a 30 ddc con maleza, pero más que los de 60 y 90 ddc. La menor BIO se registró en H-57 con 90 ddc ( $627 \text{ g m}^{-2}$ ).



**Figura 6. Biomasa total de genotipos de maíz expuestos a cuatro periodos de competencia con maleza.**

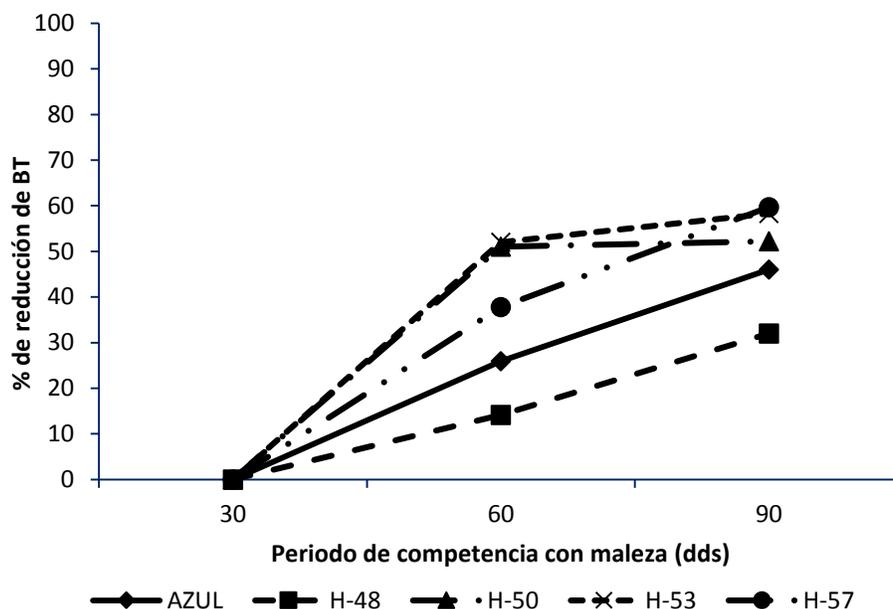
El comportamiento del RG fue diferente en los híbridos y en el criollo (Figura 7). En los híbridos, los RG más altos se encontraron cuando se expusieron a 30 ddc con maleza, seguidos por los que estuvieron libres de maleza todo el ciclo, hasta ser mínimos con 90 ddc. El RG más alto fue mostrado por H-50 con 30 ddc con maleza ( $886 \text{ g m}^{-2}$ ), seguido por H-48 con el mismo PCM ( $717 \text{ g m}^{-2}$ ); los más bajos por H-53AE y H-57 con 90 ddc ( $242$  y  $209 \text{ g m}^{-2}$ , respectivamente). El criollo azul presentó un comportamiento diferente, ya que mostró el RG más alto ( $554 \text{ g m}^{-2}$ ) en ausencia de competencia con maleza, desde el cual disminuyó hasta ser mínimo con 90 ddc con maleza ( $102 \text{ g m}^{-2}$ ).



**Figura 7. Rendimiento de grano de cinco genotipos de maíz expuestos a cuatro periodos de competencia con maleza.**

### **Reducción de BIO y RG por efecto de la interacción GEN\*PCM**

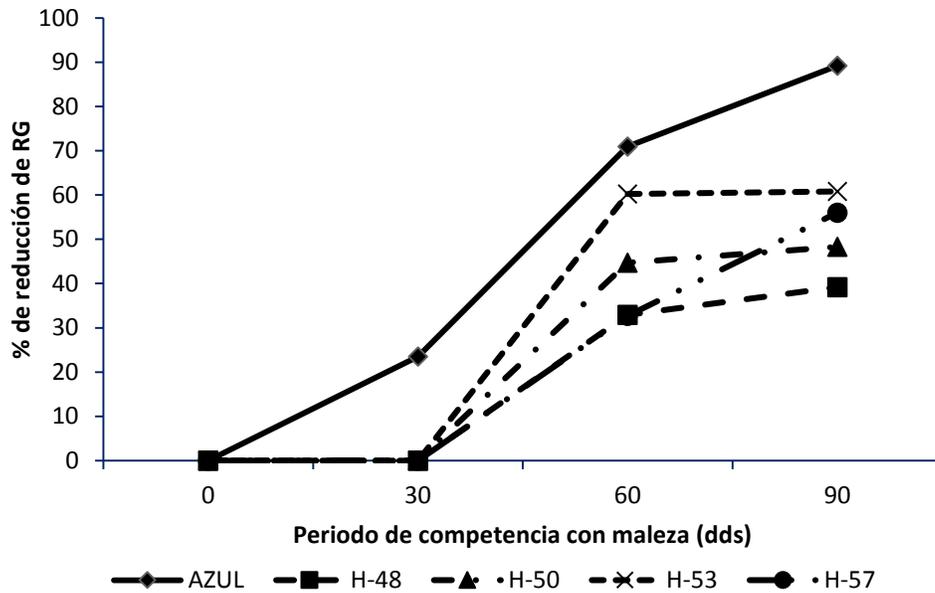
En la Figura 8 se presenta la reducción en BIO total por efecto del PCM en cada cultivar. Se registró reducción en BIO después de los 30 ddc con maleza para todos los genotipos estudiados. Es posible notar que la mayor reducción fue registrada en H-57 y H-53AE. Los cultivares menos afectados fueron H-48 y el criollo Azul, que registraron las reducciones menores (32% y 43% con 90ddc, respectivamente); a diferencia de H-50, H-53AE y H-57 que experimentaron una reducción de la BT mayor al 50% por efecto de 90 ddc con maleza.



**Figura 8. Reducción de biomasa total (BT) por efecto de la duración de la competencia con maleza en cinco cultivares de maíz.**

El RG en los híbridos se redujo a partir de 30 ddc con maleza. El híbrido que mostró la menor reducción fue H-48 (39.2% con 90ddc); la mayor se encontró en H-53AE (60.8% con 90ddc). El criollo Azul mostró reducción del RG antes de 30 ddc (23.5%), evidenciando la máxima reducción con 90ddc (89.2%) (Figura 9). Estos resultados concuerdan con lo afirmado por Staniforth (1961), quien concluyó que los híbridos de maíz de ciclo corto (madurez temprana) fueron más tolerantes a altas densidades de *Setaria glauca* (L.) Beauv que los de ciclo tardío, ya que H-48 y H-50 fueron los genotipo de ciclo más corto. Callaway (1992) indica que el RG, *per se*, es una medida importante de la tolerancia de los genotipos a la competencia con maleza, ya que generalmente es indicativo de mayor eficiencia fisiológica. Por lo que, de los datos derivados de este estudio, se podría inferir que los híbridos son más tolerantes que el criollo a la competencia con maleza y que dentro de los híbridos, H-48 y H-50 son los de mayor habilidad

competitiva debido a que muestran altos rendimientos y bajas reducciones en el mismo (Figura 9).



**Figura 9. Reducción del rendimiento de grano por efecto de la duración de la competencia con maleza en cinco cultivares de maíz.**

## CONCLUSIONES

Existen diferencias en el índice de área foliar, duración del tasa de crecimiento del cultivo, tasa de asimilación neta, biomasa total, rendimiento de grano y sus componentes por efecto de la duración del periodo de competencia con maleza en lo genotipos de maíz estudiados.

El criollo Azul presentó la más alta BT del estudio cuando se sometió a 30 ddc con maleza. En contraste, el RG más alto fue registrado en H-50 con 30 ddc con maleza.

El criollo Azul redujo el RG debido a la competencia con maleza a partir de 30 ddc después de la siembra. Los híbridos disminuyeron la BT y el RG a partir de 60 ddc con maleza.

H-48 fue el genotipo más tolerante a la competencia con maleza, ya que experimentó la menor reducción del RG cuando se expuso al PCM más largo.

El criollo Azul fue el cultivar menos tolerante a la competencia con maleza.

## LITERATURA CITADA

- Andrade, F. H., A. Cirilo, S. A. Uhart y M. Otegui. 1996. Ecofisiología del Cultivo de Maíz. Editorial La Barrosa. Dekalb Press. CERBAS-EEA INTA Balcarce, FCA-UNMP.
- Antonio, M. M., J. L. Arellano, G. García- de los Santos, C. Miranda, J. A. Mejía, y C. F. González. 2004. Variedades criollas de maíz azul raza Chalqueño. Características agronómicas y calidad de semilla. *Revista Fitotecnia Mexicana* 27(1): 9-15.
- Arellano, V. J. L.; C. C. Tut; R. A. María; M. Y. Salinas y G. O. R. Tabeada. 2003. Maíz azul de los Valles Altos de México. I. Rendimiento de grano y caracteres agronómicos. *Revista Fitotecnia Mexicana* 26(2): 101-107.
- Callaway, M. B. 1992. A compendium of crop varietal tolerance to weeds. *American Journal of Alternative Agriculture* 7: 169-180.
- Díaz- López, E.; J. M. Loeza-Corte; J. M. Campos-Pastelín; E. J. Morales-Rosales; A. Domínguez-López y O. Franco-Mora. 2013. Eficiencia en el uso de la radiación, tasa de asimilación neta e integral térmica en función del fósforo en maíz (*Zea mays* L.). *Agrociencia* 47: 135-146.
- Dickerson, W. G. 2003. Nutritional analysis of New Mexico blue corn and dent corn kernels. Cooperative extension service, college of agriculture and home economics. New Mexico State University. Las Cruces, NM. 2 p.
- Doorenbos, J. y W. O. Pruitt. 1977. Las necesidades de agua de los cultivos. Serie Riego y Drenaje N° 24. Roma. 194 p.
- Escalante, E. J. A. S., S. J. Kohashi. 1993. El Rendimiento y Crecimiento del Frijol. Manual Para la Toma de Datos. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 84 p.

- Escobar-Gutiérrez, A. J. and L. Combe. 2012. Senescence in field-grown maize: From flowering to harvest. *Field Crops Research* 134: 47-58.
- Espinosa, A.; M. Tadeo; J. Lothrop; S. Azpíroz; C. Tut y Couoh y Y. Salinas. 2003. H-50, híbrido de maíz de temporal para los Valles Altos del centro de México (2200 a 2600 msnm). *Agricultura Técnica en México* 29 (01):89-92.
- Espinosa, A.; M. Tadeo; J. Lothrop; S. Azpíroz; C. Tut y Couoh y Y. Salinas. 2003b. H-50, híbrido de maíz de temporal para los Valles Altos del centro de México (2200 a 2600 msnm). *Agricultura Técnica en México* 29(01): 89-92.
- Espinosa-Calderón, A.; M. Tadeo-Robledo; I. Arteaga-Escamilla; A. Turrent-Fernández; M. Sierra-Macías; N. Gómez-Montiel; A. Palafox-Caballero; R. Valdivia-Bernal; V. Trejo-Pastor y E. Canales-Islas. 2012. Rendimiento de las generaciones F1 y F2 de híbridos trilineales de maíz en los valles altos de México. *Universidad y Ciencia* 28(1): 57-64.
- Evans, P. S., S. Knezevik; J. Lindquist and S. Shapiro. 2003. Influence of nitrogen and duration of weed interference on corn growth and development. *Weed Science* 51(3): 456-566.
- García, E. 2005. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. 4ª Edición. Instituto de Geografía. Universidad Autónoma de México. 217 p.
- García-Pacheco, A. D. y C. López-Castañeda. 2002. Temperatura base y tasa de extensión foliar en maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana* 25(4): 381-386.
- Ghodrat, V.; M. Rousta and A. Karampour. 2013. Growth analysis of corn (*Zea mays* L.) as influenced by indole-butyric acid and gibberllic acid. *Journal of Basic and Applied Scientific Research* 3(2):180-185.
- Holm, L.; D. Plucknett; J. Pancho and J. Herberger. 1977. *The World's Worst Weeds: Distribution and Biology*. University of Hawaii Press, Honolulu. 609 pp

- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). 2011. Día de Campo CEVAMEX 2011. Campo Experimental Valle de México. Memoria Técnica # 12. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. pp. 306.
- Jannik, J. L.; J. H. Orf; N. R. Jordan and R. G. Shaw. 2001. Index selection for weed suppressive ability in soybean. *Crop Science* 40:1087-1094.
- Kato, T.; C. Mapes; L. Mera; J. Serratos y R. Bye. 2009. Origen y Diversificación del Maíz: Una Revisión Analítica. Universidad Nacional Autónoma de México y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. D.F., México. 116 pp.
- Loomis, R.; W. Williams; W. Duncan; A. Dovrat and F. Núñez. 1968. Quantitative descriptions of foliage display and light absorption in field communities of corn plant. *Crop Science* 8:352-356.
- Lorens, G.; J. Bennett and L. Loggale. 1987. Differences in drought resistance between two corn hybrids. I. Water relation and root length density. *Agronomy Journal* 79: 802-807.
- Lum, A. F.; D. Chicoye and S. O. Adestyan. 2001. Control of *Imperata cylindrica* (L.) Raeuschel (speargrass) with nicosulfuron and its effects on the growth, grain yield and food components of maize *Crop Protection* 11(6): 586-1601.
- Maqbool, M.; A. Tanveer; Z. Ata and R. Ahmad. 2006. Growth and yield of maize (*Zea mayz* L.) as affected by row spacing and weed competition durations. *Pakistan Journal of Botany* 38(4):1227-1236
- Norsworthy, J. K. and M. J. Oliveira. 2004. Comparison of the critical period for weed control in wide- and narrow-row corn. *Weed Science* 52(5): 802-807.
- Ojeda-Bustamante, W.; E. Sifuentes-Ibarra y H. Unland-Weiss. 2006. Programación integral del riego en maíz en el norte de Sinaloa, México. *Agrociencia* 40: 13-25.

- Pecina, M. J. A., M. C. Mendoza C., J. A. López S., F. Castillo G., M. Mendoza R. y J. Ortiz-C. 2011. Rendimiento de grano y sus componentes en maíces nativos de Tamaulipas evaluados en ambientes contrastantes. *Revista Fitotecnia Mexicana* 34(2): 85-92.
- Rajcan, I. and M. Tollenaar. 1999. Source:sink ratio and leaf senescence in maize. I. Dry matter accumulation and partitioning during grain filling. *Field Crops Research* 60:245-253.
- Rajcan, I. and C. Swanton. 2001. Understanding maize-weed competition: resource competition light quality and the whole plant. *Field Crops Research* 71:139-150
- Rasheed, M.; T. Mahmood and M. Shafi Nazir. 2003. response of hybrid maize to different planting methods and nutrient management. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences* 40: 39-42.
- Ritchie, S. W. and J. J. Hanway. 1982. How a corn plant develops. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service. Special report No. 48. Ames Iowa, EEUU. 21 p.
- Salinas-Moreno, Y.; F. Martínez-Bustos, M. Soto-Hernández, M. Ortega-Paczka y J. L. Arellano-Vázquez. 2003. Efecto de la nixtamalización sobre las antocianinas del grano de maíces pigmentados. *Agrociencia* 37: 617-628.
- SAS Institute. 2003. SAS/STAT user's guide Release 9.1. SAS Institute. Cary, NC, USA.
- Silva, P. S. L.; P. I. B. Silva; K. M. B. Silva; V. R. Oliveira and F. S. T. Pontes-Filho. 2011. Corn growth and yield in competition with weeds. *Planta Daninha Vicosa-MG* 29(4): 793-802.
- Smith, I. and O. Smith. 1989. The description and assessment of distances between inbred lines of maize: The use of morphological traits as descriptors. *Maydica* 34: 141-150.
- Snyder, R. L. 1985. Hand calculating degree days. *Agric. For. Meteorol.* 35: 353-358.

- Staniforth, D.W. 1961. Responses of corn hybrids to yellow foxtail competition. *Weeds* 9: 132–136.
- Swanton, C. J.; S. Weaver; P. Cowan; R. van Acker; W. Deen and A. Shrestha. 1999. Weed thresholds: theory and applicability. *Journal of Crop Production* 2:9-29.
- Swanton, C. J. and S. F. Weise. 1991. Integrated weed management: the rationale and approach. *Weed Technology* 5:657-663.
- Tadeo, M. y Espinosa, A. 2004. Producción de semilla y difusión de variedades e híbridos de maíz de grano amarillo para Valles Altos de México. *Revista FESC Divulgación Científica Multidisciplinaria* 4(14):5-10
- Tanaka, A. y H. Yamaguchi. 1972. Producción de Materia Seca, Componentes Del Rendimiento y Rendimiento Del Grano De Maíz. Colegio de postgraduados. Chapingo, México. 124 p.
- Thomas, B.; D. J. Murphy and D. Murray. 2003. *Encyclopedia of applied plant sciences*. Academic Press, London. 579-585.
- Thomas, P. E. L. and J. C. S. Allison. 1975. Competition between maize and *Rottboellia exaltata*. *Journal of Agricultural Sciences* 84: 305-312.
- Tollenaar, M.; S. P. Nissanka; A. Aguilera; S. F. Weise and C. J. Swanton. 1994. Effect of Weed Interference and Soil Nitrogen on Four Maize Hybrids. *Agronomy Journal* 86: 596-601.
- Turrent, A. 1994. Plan de investigación del Sistema maíz-tortilla en la Región Centro. CIRCE, INIFAP, SARH. Publicación especial No. 12, Chapingo, México.
- Williams II, M. M.; R. A. Boydston and A. S. Davis. 2007. Wild Proso (*Panicum miliaceum*) Suppressive Ability among Three Sweet Corn Hybrids. *Weed Science* 57: 245-251.

- Woo, R. J. L.; R. Vázquez A.; E. Olivares S.; F. Zavala G.; R. González G.; R. Valdez C. y C. Gallegos V. 2004. Análisis de crecimiento en maíz (*Zea mays* L.) aplicando lodos activados y urea. Sistema de producción agropecuaria. Agrofaz. 4(1):437 - 441.
- Zita, G. 2011. Biología y Ecología de la Maleza. En G. Bojórquez, E. Rosales, G. Zita, V. Vargas, y V. Esqueda. Manejo de Malezas en México. Guadalajara, Jalisco, México: Universidad Autónoma de Sinaloa, ASOMECEMA A. C.

# **CAPÍTULO III. ÁREA Y ÁNGULO FOLIAR, COEFICIENTE DE EXTINCIÓN DE LUZ Y SU RELACIÓN CON LA BIOMASA Y RENDIMIENTO EN GENOTIPOS DE MAÍZ**

## **RESUMEN**

La magnitud de la extinción de luz en el dosel de entre cultivares de maíz está influenciada por su arquitectura, definida en términos del tamaño, la forma y la orientación de los componentes de la parte aérea de la planta. La estructura del dosel varía entre los genotipos de maíz. En los Valles Altos del centro de México se utilizan una amplia gama de materiales genéticos para la producción de maíz, pero las características estructurales del dosel de éstos han sido escasamente descritas y estudiadas. Los objetivos de este estudio fueron: i) caracterizar cinco genotipos de maíz de Valles Altos con base en atributos morfológicos y fisiológicos del dosel, así como por el perfil de atenuación o coeficiente de extinción de luz, y ii) determinar cómo influye la estructura del dosel en la acumulación total de biomasa y el rendimiento de grano de los genotipos estudiados. El estudio se estableció en 2012 en condiciones de lluvia estacional en Texcoco, Edo. Méx., utilizando como tratamientos los híbridos H-48, H-50, H-53AE y H-57 desarrollados por el INIFAP y la población nativa de grano Azul (criollo) cv. San Miguelito de San Andrés Tocuila, Edo. Mex. A los 100 días después de la siembra se determinaron el número de hojas verdes (NHV), altura de planta hasta la hoja bandera (ALThb), altura de la mazorca (ALTm), área foliar promedio por hoja (AFH), área foliar por planta (AFP), el índice de área foliar (IAF), el ángulo de inserción de las hojas en el tallo (AIF), el coeficiente de extinción de luz (k) y la radiación interceptada (RI). Se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la estructura del dosel de los genotipos estudiados. El criollo Azul mostró un

comportamiento diferente al de los híbridos en características del dosel, tales como mayor ALThb, ALTm y AFH. También el AFP, el NHV por arriba de la mazorca y el área de la hoja en la que se inserta la mazorca fueron de menor tamaño que en los híbridos, pero el AIF fue mayor, lo que indica que el criollo Azul posee un dosel semihorizontal. H-48 y H-50 mostraron el k y la RI más altos. La estructura del dosel tuvo influencia sobre el rendimiento de grano. Las variables morfológicas más importantes fueron el tamaño de la hoja que subtiende a la mazorca, el índice de área foliar, el dosel semierecto y una distribución vertical del área foliar, adecuada para la filtración e interceptación de la radiación solar.

**Palabras clave:** *Zea mays* L. subsp. *mays*; arquitectura del dosel; distribución del área foliar; índice de área foliar

## ABSTRACT

The extinction of light of maize cultivars canopy is influenced by the structure, defined in terms of size, shape and orientation of the components of aerial part of the plant. Canopy structure varies between corn genotypes. In the highlands of central Mexico, a wide range of genetically improved varieties for maize production is utilized, but the canopy structural characteristics of these have been poorly described and studied. The objectives of this study were: i) characterize five maize genotypes of highlands based on morphological and physiological canopy attributes, as well as by the attenuation profile or light extinction coefficient, and ii) determine the influence of canopy architecture on total biomass accumulation and grain yield of the genotypes studied. The study was established on 2012 under rainfed conditions in Texcoco, Edo. Mex., Mexico. Treatments were H-48, H-50, H-53AE and H-57, hybrids developed by the INIFAP and a native maize population of blue grain (criollo) cv. San Miguelito. At 100 days after planting the green leaves number (GLN), plant height at the flag leaf insertion (PHfl), ear height (EH), average area per leaf (AAL), leaf area per plant (LAP), leaf area index (LAI), insertion angle of leaves on the stem (IAL), light extinction coefficient ( $k$ ) and the intercepted radiation (IR) were determined. Statistically significant differences in the canopy composition among genotypes were found. Blue criollo showed a different behavior with respect to hybrids in canopy characteristics such as greater PHfl, EH and AAL. Also the LAP, GLN above the ear and foliar area on which ear is inserted were smaller than hybrids, but IAL was higher, indicating that the Blue criollo has a semi-horizontal canopy. H-48 and H-50 showed the highest LEC and IR. Canopy structure had influence on grain yield. The size of leaf that subtends the ear, leaf area index, semi-erect canopy and a vertical distribution of leaf area,

suitable for filtration and interception of solar radiation were the most important morphological variables.

**Key words:** *Zea mays* L. subsp. *mays*; canopy structure; distribution of leaf area; leaf area index

## INTRODUCCIÓN

La fotosíntesis de los cultivos está determinada por la captura y utilización de la energía solar, y debido a que la luz no puede ser almacenada como tal, la competencia por este recurso dentro de una población vegetal (cultivos) es un proceso que ocurre de manera instantánea (Williams II *et al.*, 2006). Por lo que la distribución de la radiación solar es considerada como el elemento microclimático más importante en una comunidad vegetal y es determinada por la estructura del dosel.

La estructura del dosel vegetal es el arreglo espacial de los órganos aéreos de las plantas en una comunidad. Las hojas y otros órganos fotosintéticos funcionan como colectores de energía solar, así también como intercambiadores de gases (Russell *et al.*, 1990), por lo que su magnitud y disposición en la planta determinan la producción de biomasa y rendimiento de grano (Valentinuz y Tollenaar, 2006).

El rendimiento del maíz es función del patrimonio genético del cultivar, cuya expresión depende de varios factores ambientales y fisiológicos propios de la planta, que generalmente están interrelacionados. Algunos de ellos como la distribución vertical del área foliar y la radiación transmitida dentro del dosel se relacionan estrechamente con el proceso fotosintético. Así, la parte del dosel de las plantas que reciben la mayor proporción de energía radiante incidente incrementará su eficiencia fotosintética (Wall y Kanemasu, 1990; Camacho *et al.*, 1995).

Se ha señalada que las diferencias en la atenuación (extinción) de luz entre cultivares de maíz está influenciada por la estructura del dosel (Boote y Loomis, 1991), definida en términos de la magnitud, la forma y la orientación de los componentes de la parte aérea de la planta. El coeficiente de extinción de luz del dosel ( $k$ ) es un factor importante en la ley de Lambert-Beer, ya que su valor está determinado por la estructura del dosel, la especie y el patrón de plantación (Zarea *et al.*, 2005). Puede ser calculado con la ecuación:

$$k = \frac{-\ln(RFAt/RFAi)}{IAF}$$

Donde: RFAt y RFAi son la radiación fotosintéticamente activa transmitida e incidente, respectivamente (Flénet *et al.*, 1996) e IAF es el índice de área foliar.

De acuerdo con Madonni y Otegui (1996), la estructura del dosel difiere entre los híbridos de maíz con sus respectivos efectos sobre el coeficiente de extinción de luz.

Las propiedades estructurales del dosel que determinan la intercepción de la luz por especie son el índice de área foliar (IAF), la altura de planta (ALT), la distribución vertical del área foliar y el ángulo de inserción foliar.

Se ha demostrado que los híbridos de maíz varían en altura, número de hojas, área foliar individual, ángulo de inserción de las hojas y la distribución del área foliar a lo largo del tallo (Edmeades y Lafitte, 1993; Madonni y Otegui, 1996). Otros autores (Begna *et al.*, 2001) han detectado diferencias en la arquitectura del dosel entre genotipos de maíz, mismas que por ser determinantes en la cantidad de radiación fotosintéticamente activa interceptada, tienen impacto sobre el rendimiento de grano y la supresión de la maleza.

En los Valles Altos del centro de México se utiliza una amplia gama de materiales genéticos para la producción de maíz (tanto poblaciones nativas (criollos) como mejorados); no obstante, las características estructurales del dosel de éstos, han sido

escasamente descritas y estudiadas, por lo tanto se desconoce su efecto sobre el rendimiento de grano, por lo que los objetivos del presente estudio fueron: a) Caracterizar cinco genotipos de maíz de Valles Altos con respecto a los atributos morfológicos y fisiológicos del dosel, así como por el perfil de atenuación o coeficiente de extinción de luz, y b) Determinar cómo influye la estructura del dosel en la acumulación total de biomasa y el rendimiento de grano de los genotipos estudiados.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Área de estudio**

El estudio se realizó en el ciclo primavera-otoño de 2012 en un lote experimental del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México (19° 29'N, 98° 54' O, 2250 m de altitud), bajo condiciones de lluvia estacional a una altitud de 2250 m. El clima es del tipo BS1 que corresponde al menos seco de lo áridos con lluvias en verano, una temperatura median anual de 14.6°C y precipitación media anual de 558.5 mm (García, 2005).

### **Diseño de tratamientos, diseño experimental, manejo y análisis estadístico**

El 8 de mayo de 2012 se sembraron de manera manual cuatro híbridos generados por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) para la región de Valles Altos: H-48, H-50, H-53AE y H-57, además de una población nativa de maíz de grano azul (criollo) cv. San Miguelito perteneciente a la raza Chalqueño (Wellhausen *et al.*, 1971) originario de San Andrés Tocuila, Texcoco, Estado de México.

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, en donde los tratamientos fueron los cinco genotipos de maíz estudiados. La unidad experimental estuvo

compuesta por tres surcos de 5 m de largo y 0.8 m de ancho, se consideró como parcela útil el surco central. La densidad de población fue de 6.25 pl m<sup>-2</sup> (patrón de siembra 80 x 20 cm, aproximadamente). No se registraron problemas importantes de plagas o enfermedades durante el desarrollo del experimento. La maleza se manejó de manera manual durante todo el ciclo.

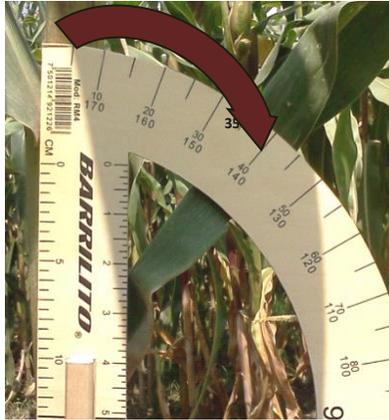
### **Variables meteorológicas y fenología**

Los datos de temperatura máxima (T<sub>máx</sub>), mínima (T<sub>mín</sub>) y precipitación pluvial diarias, fueron proporcionados por la estación Agrometeorológica del Colegio de Postgraduados. Con ellos se calcularon promedios decenales para las T<sub>máx</sub> y T<sub>mín</sub> y la suma decenal de la precipitación (Ppt, mm) y evaporación (Evp, mm) durante el desarrollo del estudio.

Se registró la ocurrencia de las fases fenológicas: días a emergencia (VE), floración femenina (R1) y madurez fisiológica (R6), con base en el criterio presentado en Ritchie y Hanway (1982). A los 100dds, una vez que todos los cultivares habían alcanzado R1, se determinaron las variables fisiológicas y morfológicas.

### **Variables morfológicas**

En dos plantas de la parcela útil se tomaron las siguientes mediciones: altura de planta desde el suelo hasta la lígula de la hoja bandera (Pepper *et al.*, 1977), y ángulo de inserción foliar de las hojas verdes presentes en R1, medido desde el tallo hasta la nervadura central de cada hoja, en el sentido de las manecillas del reloj, con un transportador de madera de 40 cm de longitud (Winter y Ohlrogge, 1973; Figura 1).



**Figura 1. Medición del ángulo de inserción foliar con respecto al tallo (vertical) por medio de un transportador de madera.**

### **Variables fisiológicas**

Se registró la longitud (L) y el ancho máximo (A) de la lámina de cada hoja verde presente en R1, y con estos datos se calculó el área foliar por hoja (AF) mediante el modelo propuesto por Montgomery (1911):  $AF = 0.75 * L * A$ . La suma de las AF permitió conocer el área foliar total por planta (AFP) y con ella se calculó el IAF con la ecuación  $IAF = (AFP/NP) * DP / 100 \text{ dm}^2$ ; donde AFP = área foliar por planta ( $\text{dm}^2$ ), NP = número de plantas muestreadas y DP = número de plantas  $\text{m}^{-2}$ .

Las lecturas de luz se realizaron a medio día ( $\pm 0.5$  hrs) utilizando un sensor lineal de quanta (Quantum Line 6 sensor Bar, Spectrum Technologies, Inc.) que mide la radiación fotosintéticamente activa (400-700 nm, RFA). El sensor se colocó perpendicular a las hileras del cultivo (Egli, 1994) y lo más horizontalmente posible. Se tomaron dos lecturas por estrato de 30 cm partiendo desde el suelo (tRFA) y hasta la hoja bandera; además se hicieron dos lecturas por encima de la inflorescencia masculina para conocer la RFA

incidente (iRFA). Con los datos relativos de estas observaciones, se determinó el perfil de atenuación de luz de cada cultivar.

Los coeficientes de extinción de luz ( $k$ ) se calcularon de acuerdo con la fórmula  $k = -\ln(tRFA/iRFA) / IAF$  (Pepper, 1977; Flénet *et al.*, 1996). Para determinar la radiación interceptada por el dosel de los cultivares se utilizó el modelo  $RI = (iRFA - tRFA)/iRFA$  (Flénet *et al.*, 1996; Awal *et al.*, 2005).

A las variables en estudio les fue aplicado un análisis de varianza (ANDEVA), y a las que resultaron con diferencias estadísticas significativas la prueba de comparación de medias de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ), mediante el programa estadístico SAS versión 9.0 (SAS, 2003).

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Variables meteorológicas y fenología de los cultivares**

La Ppt acumulada durante la estación de crecimiento fue de 356 mm, la que sumada a los 100mm aproximados, suministrados en los riegos, da un total de 456 mm, de los cuales el 66% se presentó en el periodo vegetativo y el 34% en el reproductivo (Cuadro 1).

En promedio, la  $T_{m\acute{a}x}$  osciló entre 22.5 y 34.1°C y la  $T_{m\acute{i}n}$  entre -2.2 y 12.6 °C. La temperatura más alta se registró en la decena en la que se realizó la siembra (1era decena de mayo) y las más bajas en el mes de noviembre, cuando los cultivares ya habían alcanzado la MF.

**Cuadro 1. Precipitación pluvial (Ppt, suma decenal), precipitación pluvial acumulada (Ppt<sub>ac</sub>, suma acumulativa por decenas), temperaturas máximas (T<sub>máx</sub>, promedio decenal) y mínimas (T<sub>mín</sub>, promedio decenal) durante el desarrollo de cinco genotipos de maíz. Montecillo, México. Mayo-Noviembre, 2012.**

Mes	Decena	T <sub>máx</sub> .(°C)	T <sub>mín</sub> .(°C)	Ppt. (mm)	Ppt <sub>ac</sub> (mm)
Mayo	1	34.10	6.20	16.24	16.24
	2	28.50	7.88	16.18	32.42
	3	30.93	3.00	1.25	33.67
Junio	1	31.90	6.50	3.99	37.66
	2	31.00	6.30	31.42	69.08
	3	25.50	9.79	26.23	95.31
Julio	1	25.00	4.50	16.89	112.20
	2	25.25	8.17	54.21	166.41
	3	26.00	8.40	33.09	199.50
Agosto	1	24.70	8.79	35.91	235.41
	2	22.46	12.60	63.56	298.97
	3	25.44	8.93	14.37	313.34
Septiembre	1	28.13	4.80	3.61	316.95
	2	26.21	8.67	18.21	335.16
	3	25.90	7.00	14.90	350.06
Octubre	1	26.92	0.80	6.20	356.26
	2	29.25	0.58	0.00	356.26
	3	28.67	1.40	0.00	356.26

La ocurrencia de las etapas fenológicas fue variable entre cultivares. H-48 fue el más precoz. Así, la emergencia (VE) se presentó a los 6 dds, la floración femenina (R1) a los 84 dds y la madurez fisiológica (R6) a los 155 dds. H-50 mostró un comportamiento fenológico similar a H-48, aunque requirió 86 y 158 d para alcanzar R1 y R6,

respectivamente. Espinosa *et al.* (2003) indican que H-48 presenta sincronía en la floración masculina y femenina a los 82 dds, en promedio, y madurez fisiológica entre 150 y 155 dds, por lo que el comportamiento observado en este estudio coincide con lo descrito. Caso similar es el de H-50, cuya descripción indica que R1 ocurre a los 84 dds y R6 a los 155 dds, dos y tres días antes de lo ocurrido en este estudio. H-53AE mostró ser el híbrido más tardío, con VE, R1 y R6 a los 7, 89 y 169 dds, respectivamente, 2 y 4 días más tardío en comparación con lo descrito por INIFAP (2011). El criollo Azul fue el más tardío, con 9, 96 y 176 d para alcanzar VE, R1 y R6, respectivamente.

**Número de hojas verdes (NHV), área foliar por hoja (AFH), área foliar por planta (AFP) e índice de área foliar (IAF)**

El número de hojas verdes por planta (NHV), el área foliar promedio por hoja (AFH), el área foliar por planta (AFP), el índice de área foliar (IAF) y la altura de planta hasta la hoja bandera (ALThb) a los 100 dds (11 días después de R1, en promedio), mostraron diferencias significativas entre genotipos (Cuadro 2).

**Cuadro 2. Número de hojas verdes por planta (NHV), área foliar promedio por hoja (AFH, dm<sup>2</sup>), área foliar total por planta (AFP, dm<sup>2</sup>), índice de área foliar (IAF) y altura de planta hasta la hoja bandera (ALThb, cm) a los 100 dds de cinco genotipos de maíz de Valles Altos. Montecillo, México. Primavera-otoño, 2012.**

GENOTIPO	NHV	AFH (dm <sup>2</sup> )	AFP (dm <sup>2</sup> )	IAF	ALThb (cm)
H-48	12.3 ab	4.42 d	57.46 b	3.6 b	249.0 b
H-50	11.33 b	4.46 cd	62.90 ab	3.9 ab	253.0 ab
H-53AE	14.0 a	4.95 bc	77.67 a	4.9 a	241.0 b
H-57	11.33 b	5.36 ab	71.65 ab	4.5 ab	248.7 b
Azul	11.33 b	5.51 a	71.32 ab	4.5 ab	298.0 a
Prob. F	*	**	*	*	*
DMS	2.39	0.52	12.23	0.77	46.8
C.V.	7.02	3.76	6.65	6.64	6.43

En cada columna medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey  $P \leq 0.05$ )  
 \* :  $P \leq 0.05$ , \*\* :  $P \leq 0.01$ ; NS = no significativo. DMS = diferencia mínima significativa (Tukey  $P \leq 0.05$ ). C.V. = Coeficiente de variación.

El mayor NHV a los 100 dds fue presentado por H-53AE (14.0), seguido por H-48 (12.3). Sin embargo el tamaño promedio de hoja fue mayor en el criollo Azul y H-57 (5.52 y 5.36 dm<sup>2</sup>, respectivamente). Estos datos contrastan con lo encontrado por Camacho *et al.* (1995), quienes al caracterizar nueve genotipos de maíz en Venezuela no observaron diferencias estadísticas significativas para el área promedio por hoja, lo cual indica que la variabilidad en esta característica del dosel en los genotipos del presente estudio es mayor a la de otros. Los valores más altos de área foliar por planta e IAF se encontraron en H-53AE (77.7 dm<sup>2</sup> y 4.9, respectivamente), lo cual podría ser atribuido al alto NHV. El grupo conformado por

H-53AE, H-57, Azul y H-50 presentó los más altos AFP e IAF. H-48 mostró el menor tamaño de hoja (AFH) y AFP (4,4 y 57,5 cm<sup>2</sup>), lo cual dio lugar al IAF más bajo entre los cultivares estudiados (3.6). Los datos del IAF se encuentran en el rango reportado por Maddonni y Otegui (1996) para dos híbridos argentinos (3.6 a 4.7) cuando fueron sembrados a una densidad de 7 plantas m<sup>-2</sup>; y son mayores a lo indicado por Stewart *et al.* (2003), quienes al analizar híbridos convencionales, foliosos y de altura reducida en Canadá, sembrados a 8 plantas m<sup>-2</sup>, encontraron IAF en el rango de 1.53 a 4.65.

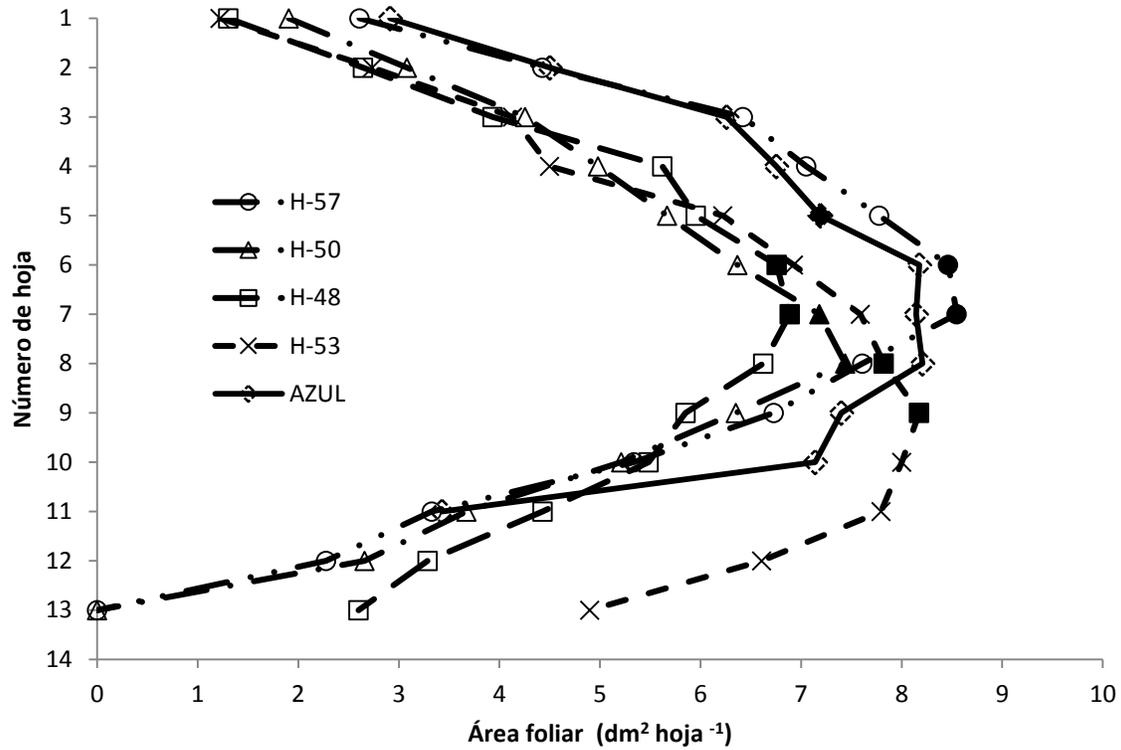
### **Altura de planta**

En la variable altura de planta, el criollo Azul se distinguió por ser el de mayor porte al alcanzar 2.98 m hasta la hoja bandera, lo cual indica que la altura total de la planta sobrepasa los 3 m (3.4 m, en promedio); por lo que podría ser más propenso al acame con los vientos presentes en los Valles Altos de México. Lo anterior concuerda con lo apuntado por Reyes (1990), quien menciona que algunos genotipos criollos pueden alcanzar una altura de hasta 8 m. También coincide con los descriptores para la raza Chalqueño realizados por Hernández (1987), donde se indica que los cultivares de esta raza son de porte alto. De entre los híbridos, H-50 fue el de mayor altura (2.53 m), después del cual se identificó un grupo de menor altura integrado por H-48, H-53AE y H-57 (2.41-2.49 m), que se encuentran dentro del rango de altura para sus descripciones varietales; excepto H-57, para el que se ha descrito puede alcanzar una altura de 2.6 a 2.8 m (Espinosa *et al.*, 2003; INIFAP, 2011).

### **Perfil vertical del área foliar**

Tanto el área foliar promedio por hoja (AFH), como el área de cada hoja en una misma posición, mostraron variación entre genotipos. Las diferencias en el AFH con respecto a su posición en el tallo se presentan en la Figura 2.

Se observa que el AFH aumenta progresivamente desde la base de la planta hasta llegar al nudo en el que se insertan la o las mazorcas, punto a partir del cual el AFH tiende a disminuir hasta llegar a la hoja bandera. Es decir, la distribución del área foliar, una vez que todas las hojas están expandidas, puede ser representada con una curva en forma de campana en función del número de hoja, lo cual coincide con estudios como los Dwyer y Stewart (1986), Maddonni y Otegui (1996), Elings (2000) y Valentinuz y Tollenaar (2006), quienes en diferentes condiciones geográficas, climáticas y variando las prácticas agronómicas, encontraron una distribución semejante en el perfil vertical del área foliar en híbridos de maíz, que incluso pudieron ser predichas por medio de modelos matemáticos.



**Figura 2. Distribución del área foliar individual de cinco genotipos de maíz de Valles Altos (La hoja 1 representa la hoja bandera). Primavera-otoño, 2012. Los marcadores con relleno en negro indican el nudo en el que se insertan la o las mazorcas.**

Ha sido señalado que el perfil vertical del área foliar tiene influencia sobre la intercepción y utilización de la radiación solar por el dosel, y en consecuencia sobre la acumulación de materia seca y el rendimiento de grano, por lo que su descripción y estudio podrían contribuir y ser considerados como uno de los atributos deseables a considerar en un proceso de mejoramiento genético (Valentinuz y Tollenaar, 2006).

### **Posición de la mazorca en el tallo**

Todos los híbridos estudiados produjeron dos mazorcas, a diferencia del criollo azul, que produjo solamente una. El nudo en el cual se insertaron las mazorcas fue variable entre los genotipos, sin embargo coincidió con la o las hojas con mayor AFH, a excepción del criollo azul.

En el caso de los híbridos, las mazorcas se insertaron entre los nudos 6 y 9 (considerando a la hoja bandera como el nudo 1), los cuales coincidieron con las hojas de mayor magnitud, lo que sugiere una traslocación de fotoasimilados mayor y más directa hacia los frutos en formación. En el criollo azul, la mazorca se encontró en el nudo 5, que además de ser una posición muy alta (2.1 m aprox.), no coincide con una de las hojas más grandes, lo cual podría limitar el suministro de fotoasimilados para el llenado de grano. La posición del nudo en el que se inserta la mazorca en los genotipos estudiados coincide con el intervalo descrito por Stewart *et al.* (2003) para híbridos de características morfológicas contrastantes en Canadá (5.7-9.7).

### **Área foliar de la hoja en que se inserta la mazorca**

En lo relativo al AF de la hoja en la que se inserta la mazorca o mazorcas, dependiendo del genotipo, H-57 y H-53AE destacaron por contar con una o más hojas de tamaño mayor a 8 dm<sup>2</sup>, lo cual excede lo registrado por Maddonni y Otegui (1996), Maddonni *et al.* (2001) y Lambert *et al.* (2014), quienes encontraron un tamaño máximo de hoja de la mazorca de aproximadamente 7.5 dm<sup>2</sup>. Estos hallazgos sugieren que los cultivares de maíz utilizados en los Valles Altos del centro de México, presentan hojas de la mazorca de AF más grande en comparación a las descritas en otros estudios, antiguos y recientes, en los que la máxima AFH de la mazorca ha sido de hasta 8 dm<sup>2</sup>, pero más comúnmente entre 6 y 7.5 dm<sup>2</sup>

(Dwyer y Stewart, 1986; Maddonni y Otegui, 1996; Maddonni *et al.*, 2001; Stewart *et al.*, 2003 y Lambert *et al.*, 2014). Lo anterior podría permitir a los cultivares de Valles Altos optimizar el proceso de translocación hacia el grano y, con ello, aumentar el rendimiento ya que ha sido señalado que las hojas que se encuentran próximas a la mazorca (generalmente en la parte media del dosel) tienen la capacidad inherente de aportar mayor cantidad de fotosintatos a la mazorca y con esto ser determinantes en el incremento del rendimiento de grano (Pendleton, *et al.*, 1968).

### **Área foliar acumulada y número de hojas arriba de la mazorca**

El área foliar acumulada por arriba de la mazorca en la planta de maíz es importante, ya que se relaciona con la radiación solar interceptada (RI), la cual, a su vez, determina la cantidad de fotosintatos disponibles para los órganos de demanda, en este caso los carióspsides. Se trata de hojas más jóvenes en comparación con las basales lo cual está relacionado con un mayor actividad metabólica.

Se encontraron diferencias altamente significativas para las variables: área foliar por arriba de la mazorca (AFpa) y número de hojas por arriba de la mazorca (NHpa) entre los genotipos estudiados (Cuadro 3).

**Cuadro 3. Área foliar por arriba de la mazorca (AFpa, dm<sup>2</sup>) y número de hojas por arriba de la mazorca (NHpa) de cinco genotipos de maíz de Valles Altos, 100 dds. Montecillo, México. Primavera-otoño, 2012.**

GENOTIPO	AFpa (dm <sup>2</sup> )	NHpa
H-48	31.5 bc	6.3 b
H-50	27.1 bc	6.0 b
H-53AE	43.7 a	8.7 a
H-57	38.2 ab	6.3 b
Azul	22.9 c	4.0 c
Prob. F	**	**
DMS	11.2	1.5
C.V.	12.1	8.5

En cada columna medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey  $P \leq 0.05$ ). \*\* :  $P \leq 0.01$ , DMS: diferencia mínima significativa (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). C.V.: Coeficiente de variación.

En lo que respecta al NHpa el híbrido H-53AE presentó un mayor NHpa (8.7), seguido del grupo integrado por H-48, H-50 y H-57 con un promedio de 6.2 hojas por arriba de la mazorca y, por último, el criollo azul, con cuatro hojas. El AFpa más alta se encontró en H-53AE, seguida por H-57, que no obstante contar con un NHpa similar al de H-48 y H-50, presenta una mayor AFH, por lo que exhibió mayor AFpa que estos híbridos. El criollo Azul mostró la más baja AFpa, lo cual podría limitar su capacidad de interceptar la radiación solar y con ello la fotosíntesis, lo que se reflejaría en valores menores del coeficiente de extinción de luz (Maddonni y Otegui, 1996). Además se ha demostrado que las hojas superiores a la mazorca al ser más jóvenes y cuando ya se encuentran completamente expandidas presentan mayor actividad metabólica y tienen la capacidad de producir mayor cantidad de fotoasimilados y exportar éstos, principalmente hacia la mazorca durante el periodo de llenado de grano, mientras que las hojas bajas exportan una

mayor proporción a los entrenudos inferiores y raíces (Tollenaar, 1977; Subedi y Ma, 2005).

### **Ángulo de inserción foliar**

El ángulo de inserción foliar en conjunto con el índice de área foliar ejercen influencia sobre la eficiencia fotosintética del dosel. Así, para IAF altos la eficiencia es mayor con hojas erectas (Pendleton *et al.*, 1968; Duncan, 1971; Pepper *et al.*, 1977). En el caso de los genotipos estudiados, se encontraron diferencias estadísticas significativas tanto para el ángulo foliar promedio como para el ángulo foliar por estrato del dosel (Cuadro 4). En general, el mayor ángulo promedio (61.7) fue mostrado por el criollo Azul, lo cual indica que posee un dosel más planófilo, que aunque podría captar mayor radiación que un dosel erecto también implica un mayor sombreado a las hojas de los estratos bajos, lo que conlleva a la senescencia acelerada de estas hojas, así como a la reducción de la eficiencia fotosintética de las mismas (Rajcan y Swanton, 2001; Subedi y Ma, 2005). Los híbridos se separaron en dos grupos, el conformado por H-48, H-50 y H-53AE que mostró un ángulo de inserción de entre 40° y 50°, y H-57 que resultó tener la menor magnitud del ángulo (38.4°, en promedio); es decir, presenta hojas más erectas. La posición erecta de las hojas es un rasgo deseable en la planta de maíz cuando se conjunta con un IAF mayor a 5 (Winter y Ohlrogge, 1973; Pepper *et al.*, 1977). Debido a la capacidad de las hojas de esta especie para llevar a cabo el proceso fotosintético igualmente bien, independientemente de si la luz incide sobre la superficie adaxial o abaxial (Pendleton *et al.*, 1968).

**Cuadro 4. Ángulo de inserción (° de inclinación con respecto al tallo) de las hojas por abajo, alrededor, por arriba de la mazorca y promedio de todas las hojas verdes a los 100 dds de cinco genotipos de maíz de Valles Altos. Primavera-otoño, 2012.**

GENOTIPO	Por abajo	Alrededor	Por arriba	Promedio
H-48	37.0 b	59.0 ab	44.0 b	46.7
H-50	35.7 b	49.2 b	64.2 a	49.7
H-53AE	33.7 b	44.2 b	42.0 b	39.9
H-57	37.8 b	43.5 b	34.0 b	38.4
Azul	45.3 a	73.7 a	66.0 a	61.7
Media	37.9	53.9	50.0	47.3
Prob. F	**	**	**	
DMS	6.1	20.9	10.24	
C.V.	5.7	13.75	7.26	

En cada columna medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey  $P \leq 0.05$ ). \*\* :  $P \leq 0.01$ , DMS: diferencia mínima significativa (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). C.V.: Coeficiente de variación.

Respecto al ángulo foliar por estratos del dosel, se encontró que el menor ángulo promedio de todos los genotipos se ubicó en las hojas que se encuentran por debajo de la mazorca (37.9°), seguidas por las ubicadas por arriba de la mazorca (50°). El mayor ángulo promedio se registró para la hojas en las que se inserta la mazorca y las adyacentes (53.9°), lo cual se espera, debido a que el ángulo aumenta conforme crece la mazorca. Estos resultados se encuentran en concordancia con lo propuesto por Mock y Pearce (1975) para el ideotipo de la planta de maíz, que es el término acuñado por Donald (1968) para describir a las plantas con características modelo cuya arquitectura influye de mejor manera sobre la fotosíntesis, el crecimiento y el rendimiento de grano.

Al analizar el ángulo foliar por estrato y genotipo, se encontró que en todos los casos el criollo Azul mostró los mayores ángulos en los tres estratos del dosel, lo cual indica que es un dosel planófilo. Para los híbridos, las hojas por abajo de la mazorca mostraron un ángulo foliar estadísticamente, el cual osciló entre 34 y 38°. En lo que corresponde a las hojas

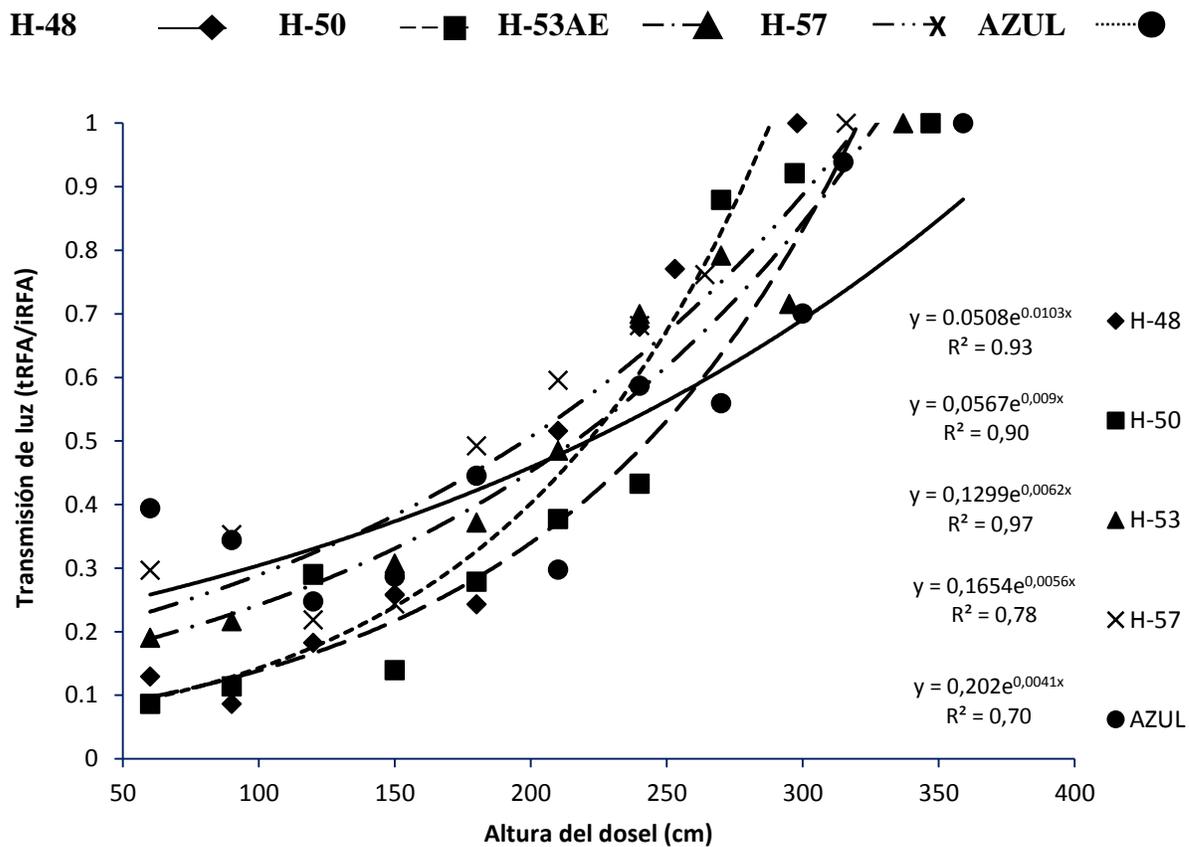
alrededor de la mazorca, H-48 presentó el mayor ángulo foliar ( $59^\circ$ ), en comparación con los tres híbridos restantes que mostraron un rango de  $43.5-49.2^\circ$ . Las hojas por arriba de la mazorca de los híbridos H-48, H-53AE y H-57 son las que presentan un ángulo de menor magnitud entre  $34^\circ$  y  $44^\circ$  que indica que son las más erectas. En contraste, las hojas de H-50 y el criollo Azul presentan los mayores ángulos con  $64^\circ$  y  $66^\circ$ , respectivamente, por lo que tienden a ser más horizontales. Pendleton *et al.* (1968) señaló que el maíz con las hojas superiores a la mazorca con un ángulo de inclinación cercano a  $10^\circ$  (con respecto al tallo lo cual da lugar a una hoja erecta) posee ventajas en el rendimiento de grano cuando se encuentra acompañado de un índice de área foliar mayor a cuatro. Además, hojas erectas en la parte superior del dosel generan coeficientes de extinción de luz ( $k$ ) más bajos, debido a que menos luz es interceptada por unidad de IAF (Duncan, 1971; Pepper *et al.*, 1977), por lo que mayor cantidad de área foliar por unidad de superficie es necesaria para una mayor cantidad de radiación interceptada (Monteith, 1969; Saeki, 1960; Pepper *et al.*, 1977). Es importante destacar que la verticalidad de las hojas por arriba de la mazorca permite una transmisión más uniforme de la luz a lo largo de todo el dosel, y de esta manera contribuye a que las hojas en las que se inserta la mazorca y las que se encuentran debajo de ésta reciban energía solar y continúen el proceso de fotosíntesis, además de retrasar la senescencia de las mismas.

### **Coefficiente de extinción de luz**

Las características del dosel, tales como el ángulo de inserción e índice de área foliar ejercen influencia sobre la cantidad de radiación interceptada por la planta (RI), así como sobre la manera en que ésta se extingue o atenúa a través del dosel del maíz (Boote y Loomis, 1991; Maddonni, *et al.*, 2001). Debido a que los cultivares estudiados mostraron diferencias notables en la estructura del dosel, se infiere que el perfil de atenuación de luz

sea diferente para cada genotipo. En la Figura 3 se muestran los perfiles de atenuación de los genotipos estudiados y se observan claras diferencias genotípicas. En todos los casos la extinción de luz se ajustó a un modelo exponencial, el cual indica que la transmisión de luz decrece de manera proporcional con el descenso en el perfil del dosel; los coeficientes de determinación ( $R^2$ ) fueron superiores al 70%. Los genotipos H-48 y H-50 fueron los que capturaron la mayor proporción de la radiación incidente, y H-48 presenta el mayor valor de la pendiente, que indica una velocidad de extinción de luz más alta. H-50 muestra un comportamiento similar, aunque la luz decrece a través del dosel de manera más paulatina. H-53AE y H-57 presentan una velocidad de atenuación similar; sin embargo, la cantidad de radiación transmitida hacia el suelo es mayor en H-57, lo que advierte que esa fracción de la radiación puede ser utilizada para la germinación y crecimiento de maleza dentro del cultivo. El criollo Azul permite mayor transmisión de radiación hacia el suelo y muestra menor velocidad de atenuación de luz, lo cual indica una menor cobertura del suelo en comparación con el resto de los genotipos estudiados, por lo que se esperaría que la maleza en este genotipo tuviera un mayor desarrollo.

La atenuación de la luz a través del dosel del maíz, puede ser descrita mediante modelos exponenciales que relacionan la altura de la planta con la radiación solar transmitida a estratos inferiores del dosel.



**Figura 3. Perfil de transmisión de luz de cinco genotipos de maíz de Valles Altos.**

**Datos a los 100 dds. Montecillo, Estado de México. Primavera-otoño, 2012.**

En el Cuadro 5 se presentan los valores del coeficiente de extinción de luz ( $k$ ) de los genotipos estudiados. El análisis de varianza reveló diferencias significativas entre los materiales genéticos a los 60, 90, 150 y 210 cm de altura de las plantas (a partir de la superficie del suelo). Sin embargo, en todos se observaron bajos valores de  $k$  en la parte superior del dosel, que se incrementaron a medida que se desciende en el perfil, lo cual es razonable debido a que el coeficiente de atenuación es una medida indirecta de la luz que es capaz de transmitirse por el dosel. Estos resultados concuerdan con los reportados por

Scarsbrook y Doss (1973) y Camacho *et al.*, (1995), quienes al caracterizar nueve genotipos de maíz en Venezuela encontraron que a 2.5 m de altura el k promedio fue de 0.2, y que aumentó conforme se disminuyó la altura, hasta llegar a 0.52 a los 0.5 m de altura de planta.

**Cuadro 5. Coeficiente de extinción de luz (k) a 60, 90, 150 y 210 cm de altura y radiación solar interceptada (RI, en la base de la planta) de cinco genotipos de maíz de Valles Altos a los 100 dds. Montecillo, Estado de México. Primavera-otoño, 2012.**

GENOTIPO	K					k PROM	RI
	Altura sobre el suelo (cm)						
	60	90	150	210	240		
H-48	0.62 a	0.63 a	0.52 a	0.08 ab	0.09	0.39	0.89 a
H-50	0.54 a	0.46 a	0.43 a	0.22 a	0.06	0.34	0.88 a
H-53AE	0.60 a	0.53 a	0.25 b	0.11 ab	0.12	0.32	0.87 a
H-57	0.48 ab	0.43 a	0.43 a	0.06 b	0.08	0.30	0.73 ab
Azul	0.35 b	0.18 b	0.15 b	0.10 ab	0.09	0.17	0.57 b
Media	0.52	0.45	0.36	0.11	0.09	0.3	0.79
Prob. F	**	**	**	*	ns		**
Tukey 0.05	0,17	0,22	0,18	0,16	-		0,21
C.V.	11,6	17,3	17,8	7,8	7,9		9,7

En cada columna medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey  $P \leq 0.05$ ). \*:  $P \leq 0.05$ ; \*\* :  $P \leq 0.01$ , DMS: diferencia mínima significativa (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). C.V.: Coeficiente de variación.

Al analizar el comportamiento por estrato del dosel, se aprecia que a 2.4 m los valores de k son bajos, debido a que en la mayoría de los casos por encima de esta altura solamente se encontraba la panícula (inflorescencia masculina), y en otros la panícula más una o dos hojas, por lo que la luz pudo penetrar con facilidad en el dosel de manera similar en todos los genotipos estudiados. A 2.1 m los valores de k aumentaron ligeramente, lo que indica que menos luz es transmitida a los estratos inferiores del dosel. La k más alta fue

presentada por H-50, que mostró, en promedio, 3.3 hojas por arriba de este punto. La  $k$  más baja se encontró en H-57, con sólo 2 hojas en promedio por arriba de 2.1 m, ya que es uno de los genotipos de menor altura de planta. Los valores de  $k$  continúan aumentando conforme se llega al estrato inferior. Así, a 1.5 m la mayor extinción de luz fue mostrada en H-48 ( $k = 0.52$ ), que es estadísticamente similar al  $k$  de H-50 y H-57, que en promedio presentaron tres hojas en este estrato. El  $k$  más bajo (0.15) fue presentado por el criollo Azul, que no obstante tener el mayor promedio de área por hoja, muestra el menor número de hojas y área foliar en el estrato por arriba de la mazorca, por lo cual no intercepta la misma radiación que los híbridos. A 90 y 60 cm los híbridos mostraron los  $k$  más altos, destacó H-48 ( $k = 0.63$  y  $0.62$ , respectivamente), el cual no obstante tener bajo IAF y altura total de planta, mostró el mayor NHV, mismas que en los estratos de abajo y arriba de la mazorca mantuvieron ángulos de inserción menores a  $45^\circ$ . Esto contribuyó a una distribución apropiada para alcanzar una RI más alta, ya que esta variable fue máxima en este genotipo (89%). H-50 y H-53AE mostraron un comportamiento comparable estadísticamente a H-48; en tanto H-57 a 90 y 60 cm (0.43 y 0.48, respectivamente), resultó ser el híbrido con  $k$  más bajos y con 73% de la RI por debajo de las HV, lo cual es interesante ya que en este genotipo se encontraron las hojas de mayor tamaño promedio, así como uno de los IAF más altos del estudio. Lo anterior podría atribuirse a una inapropiada distribución de las hojas en el tallo para capturar la radiación solar (Maddonni *et al.*, 2001). El criollo Azul fue el cultivar que mostró consistentemente los  $k$  más bajos en todos los estratos medidos, lo cual explica la menor RI (57%). Estos resultados contrastan con lo esperado para un material criollo con hojas generalmente planófilas, lo cual se registró en el estrato superior del dosel donde el ángulo de inserción promedio fue de  $66^\circ$ . Esto implicaría una mayor RI en comparación con los materiales con un dosel más erecto. Sin embargo, las

hojas por debajo de la mazorca mostraron un ángulo de inserción promedio de 45.3°, el cual, si bien es mayor al de las hojas de los híbridos, se podría catalogar como un dosel semierecto. Una planta de maíz con hojas erectas por debajo de la mazorca y más planófilas en la parte superior, se contrapone al ideotipo para este cultivo propuesto por Mock y Pearce (1975), que establece que las hojas del estrato inferior deben tener ángulos foliares amplios, que generen hojas planófilas, para lograr la mayor RI posible y evitar que ésta llegue al suelo; mientras que las hojas superiores del dosel deben tener ángulos más cerrados, los cuales dan lugar a hojas más erectas que permitan que la radiación penetre hacia el estrato inferior del dosel. Las características anteriores, de acuerdo con Fakorede y Mock (1978), resultarían en una alta eficiencia fotosintética y translocación de fotosintatos hacia el grano.

### **Biomasa y rendimiento de grano**

La modificación de las características del dosel con el propósito de aumentar el rendimiento de grano en maíz han sido tema de estudio desde hace décadas (Ford *et al.*, 2008), ya que aunque se cuente con una planta con la arquitectura perfecta para la cosecha de energía solar y una alta capacidad fotosintética, si el proceso de translocación de los fotoasimilados hacia el grano y el llenado de éstos no se lleva a cabo de manera apropiada, estas características ideales no serían determinantes para el rendimiento de grano. La acumulación de biomasa está estrechamente relacionada con la capacidad fotosintética de la planta, mientras el rendimiento de grano con la translocación de fotoasimilados. En el Cuadro 6 se presentan la biomasa total (BT) y el rendimiento de grano (RG) de los genotipos estudiados, que mostraron cambios estadísticos significativos en función del cultivar. H.57 acumuló la mayor BT (1783 g m<sup>-2</sup>), seguido de H-50. La BT más baja

correspondió a H-48 con 1388 g m<sup>-2</sup>. En contraste, el RG más bajo fue encontrado en el criollo (501 g m<sup>-2</sup>) y el más alto en H-48 y H-53AE con 605 y 602 g m<sup>-2</sup>, respectivamente, seguido por H-50 con 568 g m<sup>-2</sup>, respectivamente.

**Cuadro 6. Biomasa total (BT, g m<sup>-2</sup>) y rendimiento de grano (RG, g m<sup>-2</sup>) a madurez fisiológica de cinco genotipos de maíz de Valles Altos. Montecillo, Estado de México. Primavera-otoño, 2012.**

GEN	BT (g m <sup>-2</sup> )	RG (g m <sup>-2</sup> )
H-57	1783.5 a	516.0 b
H-50	1612.6 ab	568.3 a
H-53AE	1597.5 ab	601.9 a
Azul	1572.6 ab	500.9 b
H-48	1388.1 b	604.9 a
Prob. F	*	*
DMS 0.05	338.9	46.7

En cada columna medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey  $P \leq 0.05$ ). \*:  $P \leq 0.05$ ; \*\*:  $P \leq 0.01$ , DMS: diferencia mínima significativa (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). C.V.: Coeficiente de variación.

La mayor BT de H-57 puede atribuirse a que se trata uno de los cultivares con el ciclo más largo (168 días a madurez fisiológica), lo que le permite acumular mayor cantidad de energía solar; sin embargo acumula baja cantidad de área foliar por arriba de la mazorca, en comparación con los otros genotipos estudiados, lo cual aunado a los ángulo de inserción foliar promedio más bajos del experimento, dan lugar a un coeficiente de extinción de luz y

radiación interceptadas bajo, lo cual podría haber limitado el suministro de fotosintatos dirigidos hacia la mazorca por lo cual haber mostrado uno de los RG más bajos del estudio. En contraste, la BT más baja y el alto rendimiento de grano de H-50 y H-48, podrían explicarse, en parte, a la duración de su ciclo, ya que H-48 fue el cultivar más precoz seguido de H-50 (155 y 157 días a madurez fisiológica; respectivamente), lo cual aunado al IAF más bajo entre los cvs. estudiados, podría limitar su capacidad para producir materia seca, no así para generar RG, ya que H-48, mostró algunas características decisivas para la generación del RG, entre ellas: a) un AIF promedio de 49.6 que se categoriza como semierecto (SNICS, 2009), pero que tiene la particularidad de contar con hojas más erectas por debajo de la mazorca que por arriba de ella, lo cual contrasta con las características del ideotipo de este cultivo (Mock y Pearce, 1975); b) un alto número de hojas por planta pero con la menor AFH y que cuentan con una distribución vertical del área foliar que permite la penetración uniforme de la luz, c) las hojas en las que se insertan las mazorcas son considerablemente más grandes que las encontradas en otras posiciones en este genotipo lo cual es importante ya que ha sido demostrado que las hojas que más contribuyen al establecimiento y llenado de los granos son las que están alrededor de la mazorca, por lo que se busca que ésta, se inserte en las hojas más grandes para que pueda tener un suministro mayor de fotoasimilados (Rajcan *et al.*, 1999; Subedi y Ma, 2005). Los asimilados producidos después de la floración son la fuente más importante en el llenado de grano y, en general, no provienen del tallo, debido a que no pueden ser removilizados desde éste para cubrir los requerimientos de los frutos en crecimiento (Tollenaar, 1977; Lizaso, 2003; Subedi y Ma, 2005). Las características anteriores dan lugar al coeficiente de extinción de luz y radiación interceptada más altos de los cultivares estudiados ( $k = 0.39$  y  $RI = 89\%$ ). Esto sugiere que una gran cantidad de radiación es captada y que se distribuye

uniformemente a lo largo de todo el perfil vertical del área foliar, permitiendo así a las hojas de los estratos medio y bajo realizar el proceso fotosintético de manera apropiada, al retrasar la senescencia y promover la translocación de los productos hacia el grano (Chen *et al.*, 2014; Tollenaar y Lee, 2006).

En resumen, el criollo Azul mostró un comportamiento diferente al de los híbridos en varias características del dosel, tales como mayor altura de planta y de mazorca así como de área foliar promedio. El área foliar total, el número de hojas por arriba de la mazorca y el área de la hoja en la que se inserta la mazorca fueron de menor magnitud que en los híbridos, pero el ángulo de inserción foliar promedio fue mayor, lo que provocó un coeficiente de extinción de luz y radiación interceptada bajos.

De entre los híbridos, H-53AE destacó por presentar los valores más altos para las variables número de hojas verdes, área foliar por planta, índice de área foliar y área foliar y número de hojas por arriba de la mazorca. H-57 tuvo el mayor tamaño de hoja que subtiende a la mazorca y los menores ángulos de inserción foliar promedio, por abajo y por arriba de la mazorca, lo cual lo caracteriza como el material con el dosel más erecto. H-48 mostró la menor área foliar promedio por hoja y planta, lo cual dio lugar al IAF más bajo del estudio, pero presentó los mayores coeficiente de extinción de luz promedio y radiación interceptada. H-50 fue el híbrido de mayor altura de planta y exhibió altos coeficientes de extinción de luz en todos los estratos del dosel, además de una alta radiación interceptada.

## **CONCLUSIONES**

Existen diferencias en la estructura del dosel de los genotipos estudiados.

Los híbridos H-48 y H-50 presentan el coeficiente de extinción de luz más alto y radiación interceptada que se refleja en los más altos RG del estudio.

La estructura del dosel mostró tener influencia sobre la acumulación de biomasa y el rendimiento de grano. Las variables morfológicas más importantes fueron la magnitud de la hoja en que se inserta la mazorca, el índice de área foliar, el dosel semierecto y una distribución vertical del área foliar, apropiada para una mayor transmisión e intercepción de la radiación solar.

## LITERATURA CITADA

- Awal, M. A.; W. I. W. Ismail; M. H. Harun and J. Endan. 2005. Methodology and measurement of radiation interception by quantum sensor of the oil palm plantation. *Journal of Science and Technology* 27: 1083-1093.
- Begna, S.H.; R.I. Hamilton; L.M. Dwyer; D.W. Stewart; D. Cloutier; L. Assemat; K. Foroutan-pour and D.L. Smith. 2001. Morphology and yield response to weed pressure by corn hybrids differing in canopy architecture. *European Journal of Agronomy* 14: 293–302.
- Boote, K. J. y R. S. Loomis. 1991. The Prediction of Canopy Assimilation. In *Modeling Crop Photosynthesis – from Biochemistry to Canopy*. American Society of Agronomy Journal and Crop Science Society of America. CSSA Special Publication, 19.
- Camacho, R.; O. Garrido y M. Lima. 1995. Caracterización de nueve genotipos de maíz (*Zea mays* L.) en relación a área foliar y coeficiente de extinción de luz. *Sci. Agric., Piracicaba* 52 (2): 294-298.
- Chen, Y.; C. Xiao; X. Chen; Q. Li; J. Zhang; F. Chen; L. Yuan and G. Mi. 2014. Characterization of the plant traits contributed to high grain yield and high grain nitrogen concentration in maize. *Field Crops Research* 159: 1-9.
- Donald, C. M. 1968. The breeding of crop ideotypes. *Euphytica* 17: 385-403.
- Duncan, W. G. 1971. Leaf angles, leaf area, and canopy photosynthesis. *Crop Science* 11: 482-485.
- Dwyer, L.M. and D.W. Stewart. 1986. Effects of leaf age and position on net photosynthetic rates in maize (*Zea mays* L.) *Agric. For. Meteorol.* 37:29–46.

- Edmeades, G. O. and H. R. Lafitte. 1993. Defoliation and plant density effects on maize selected for reduced plant height. *Agronomy Journal* 85:850-857.
- Egli, D. B. 1994. Mechanisms responsible for soybean yield response to equidistant planting patterns. *Agronomy Journal* 86: 1046-1049.
- Elings A. 2000. Estimation of leaf area in tropical maize. *Agronomy Journal* 92(3): 436-444.
- Espinosa, A.; M. Tadeo; J. Lothrop; S. Azpiroz; R. Martínez; J. Pérez; C. Tut; J. Bonilla; A. María y Y. Salinas. 2003. H-48, nuevo híbrido de maíz de temporal para los Valles Altos del Centro de México. *Agricultura Técnica en México* 29(01): 85-87
- Fakorede, M.A. and J. J. Mock. 1978. Changes in morphological and physiological traits associated with recurrent selection for grain yield in maize. *Euphytica* 27: 397-409.
- Flénet, F.; J. E. Kiniry; J. E. Board; M. E. Westgate and D. C. Reicosky. 1996. Row spacing effects on light extinction coefficients of corn, sorghum, soybean, and sunflower. *Agronomy Journal* 88: 185-190.
- Ford, E. D.; A. Cocke; L. Horton; M. Fellner and E. Van Volkenburgh. 2008. Estimation, variation and importance of leaf curvature in *Zea mays* hybrids. *Agricultural and Forest Meteorology* 148:1598-1610.
- García E. 2005. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. 4ª Edición. Instituto de Geografía. Universidad Autónoma de México. 217 p.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). 2011. Día de Campo CEVAMEX 2011. Campo Experimental Valle de México. Memoria Técnica # 12. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. pp. 306.

- Lambert, R. J.; B. D. Mansfield and R. H. Mumm. 2014. Effect of leaf area on maize productivity. *Maydica* 59:58-64.
- Lizaso, J.I.; W.D. Batchelor and M.E. Westgate. 2003. A leaf area model to simulate cultivar-specific expansion and senescence of maize leaves. *Field Crops Research* 80:1-17.
- Maddonni, G. A. and M. E. Otegui. 1996. Leaf area, light interception, and crop development in maize. *Field Crops Research* 48: 81-87.
- Maddonni G. A.; M. E. Otegui y A. G. Cirilo. 2001. Plant population density, row spacing and hybrid effects on maize canopy architecture and light attenuation. *Field Crops Research* 71: 183-193.
- Monteith, J. L. 1969. Light interception and radiative exchange in crop stands. J. D. Eastin, F.A. Haskins, C. Y. Sullivan y C. H. M. Van Bavel (Ed.). *Physiological aspects of crop yield*. American Society of Agronomy and Crop Science Society of America, Madison, Wis.
- Mock, J. and R. Pearce. 1975. An ideotype of maize. *Euphytica* 24: 613-623.
- Montgomery, E. C. 1911. Correlation studies in corn. In: *Nebraska Agric. Exp. Stn. Annu. Rep.* Lincoln, NE. pp. 108-159.
- Pendleton, J. W.; G. E. Smith; S. R. Winter and T. J. Johnston. 1968. Field investigations of the relationships of leaf angle in corn to grain yield and apparent photosynthesis. *Agronomy Journal* 60: 422-424.
- Pepper, G. E.; R. B. Pearce and J. J. Mock. 1977. Leaf orientation and yield of maize. *Crop Science* 17: 883-886.
- Rajcan, I. and C. Swanton. 2001. Understanding maize-weed competition: resource competition light quality and the whole plant. *Field Crops Research* 71: 139-150

- Reyes C., P. 1990. El Maíz y su Cultivo. AGT-EDITOR S.A. México. 460 pp.
- Ritchie, S. W. and J. J. Hanway. 1982. How a corn plant develops. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service. Special report No. 48. Ames Iowa, EEUU. 21 p.
- Russell, G.; B. Marshall and P. G. Jarvis. 1990. Plant Canopies: Their Growth, Form And Function. Cambridge University Press.
- Saeki, T. 1960. Interrelationships between leaf amount, light distribution and total photosynthesis in a plant community. Bot. Mag. Tokyo 73:55-63.
- SAS Institute. 2003. SAS/STAT user's guide Release 9.1. SAS Institute. Cary, NC, USA.
- Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS). 2009. Manual Gráfico para la Descripción Varietal del Maíz (*Zea mays* L.). SNICS-CP.
- Scarsbrook, C. E. and B. D. Doss. 1973. Leaf area index and radiation as related to corn yield. Agronomy Journal 15: 459-461.
- Stewart, D. W.; C. Costa; L. M. Dwyer; D. L. Smith; R. I. Hamilton and B. L. Ma. 2003. Canopy Structure, Light Interception, and Photosynthesis in Maize. Agronomy Journal 95: 1465-1474.
- Subedi, K. D. and B. L. Ma. 2005. Ear position, leaf area, and contribution of individual leaves to grain yield in conventional and leafy maize hybrids. Crop Science 45: 2246-2257.
- Tollenaar, M. 1977. Sink source relationships during reproductive development in maize: A review. Maydica 22:49-75.
- Tollenaar, M. and E. A. Lee. 2006. Dissection of physiological processes underlying grain yield in maize by examining genetic improvement and heterosis. Maydica 51: 399-408.

- Valentinuz, O. R. and M. Tollenaar. 2006. Effect of genotype, nitrogen, plant density, and row spacing on the area-per-leaf profile in maize. *Agronomy Journal* 98: 94-99.
- Wall, G. W. and E. T. Kanemasu. 1990. Carbon dioxide exchange rates in wheat canopies II. Photosynthetic and phytomass production efficiencies. *Agricultural and Forest Meteorology* 49: 103-122.
- Wellhausen, E. J.; L. M. Roberts; X. E. Hernández y P. C. Mangelsdorf. 1951. Razas de Maíz en México. Su origen, características y distribución. Oficina de Estudios Especiales. Secretaría de Agricultura y Ganadería. D.F., México. Folleto Técnico No. 5. 236 p.
- Winter S.R. and A. J. Ohlrogge. 1973. Leaf angle, leaf area, and corn (*Zea mays* L.) yield. *Agronomy Journal* 65(3): 396-397.
- Williams, M. M. II; R. Boydston and A. Davis. 2006. Canopy variation among three sweet corn hybrids and implications for light competition. *HortScience* 41: 1-6.
- Zarea, M. J.; A. Ghalavand and J. Daneshian. 2005. Effect of planting patterns of sunflower on yield and extinction coefficient. *Agron. Sustain. Dev.* 25:513-518.

## **CAPÍTULO IV. COMPOSICIÓN Y PRODUCTIVIDAD DE LA COMUNIDAD DE ARVENSES ASOCIADA A CINCO GENOTIPOS DE MAÍZ DE VALLES ALTOS**

### **RESUMEN**

La capacidad competitiva de un cultivo influye en la composición y acumulación de biomasa de la comunidad de maleza asociada, y puede ser empleada como una estrategia dentro del manejo integrado de malezas. A la fecha, se desconoce si los genotipos de maíz cultivados en los Valles Altos del centro de México tienen influencia sobre el crecimiento de la maleza. Los objetivos del estudio fueron: i) evaluar si las características estructurales del dosel de cinco genotipos de maíz influyen en la composición y desarrollo de las poblaciones de maleza, ii) describir la comunidad de arvenses en el cultivo de maíz a los 0, 30, 60 y 90 días después de la siembra (dds), y iii) evaluar el efecto de la duración del periodo de competencia con maleza sobre la biomasa y el rendimiento de grano del maíz. El estudio se estableció en 2012 en condiciones de lluvia estacional en Texcoco, Edo. Méx. Los tratamientos consistieron en la siembra de cuatro híbridos y un criollo (GEN) expuestos a cuatro periodos de competencia con maleza (PCM): 0, 30, 60 y 90 días de competencia (ddc) a partir de la siembra. Para maíz, se registró la ocurrencia de las etapas fenológicas (VE, R1 y R6) y a madurez fisiológica (R6) se determinó la BT (BTmaíz) y el rendimiento de grano (RG). Se calcularon la densidad (DP), biomasa total de la maleza (BTmal) y la BT del maíz más la maleza (BTm+m) por PCM. Se describió la composición florística de la comunidad de maleza presente en el estudio y se calcularon la densidad, frecuencia y cobertura relativas para obtener el índice de valor de importancia (IVI). La DP de maleza más alta se registró con 30 ddc con maleza. La competencia con maleza durante los primeros 30 días del cultivo no disminuyó la BT ni el RG del maíz. H-50 mostró la BT

y RG más altos con 30 ddc con maleza; H-57 la menor BT del estudio con 90 ddc. La DP y BTmal no fueron afectadas por la asociación con los genotipos de maíz, las diferencias se atribuyen a la distribución por conglomerados de la maleza en campo. La composición florística de la maleza estuvo dominada por las familias Asteraceae y Poaceae. Las especies con mayor IVI fueron *Portulaca oleraceae* L., *Amaranthus hybridus* L. y *Simsia amplexicaulis* (Cav.) Pers.

**Palabras clave:** *Zea mays* L. subsp. *mays* composición florística; manejo integrado de maleza; biomasa de maleza; densidad de maleza

## ABSTRACT

The competitive ability of a crop influences the composition and biomass production of weed community associated, and can be employed as a strategy within the integrated weed management. To date, it is not known if the genotypes cultivated in the High Valleys of central Mexico have influence on weed growth. The objectives of this study were: i) evaluate if canopy architecture characteristics of five maize genotypes influence the composition and development of weed populations, ii) describe weed community in corn crop at 0, 30, 60 and 90 days after sowing (das), and iii) assess the effect of weed competence period duration on biomass and grain yield of maize. The treatments consisted in the sowing of four hybrids and one maize criollo (GEN) exposed to four weed competition periods (WCP): 0, 30, 60 and 90 days of competence (doc) from sowing. The occurrence of phenological stages was recorded (VE, R1 and R6). We calculated the density (WD) and total biomass of weeds (TBw) by WCP. At physiological maturity of maize we evaluated TB (TBmaize) and the grain yield (GY), as well as the TB of maize plus weed (TBm+w). The floristic composition of weed community was described and relative density, frequency and coverage were calculated to obtain the importance value index (IVI). The highest WD of weeds was recorded with 30 doc with weeds. Weed competence during the first 30 days of the crop did not decrease the TB nor GY of maize. H-50 showed the highest TB and GY with 30 doc with weed; H-57 has the lowest TB with 90 doc. The PD and Tbw were not affected by the association with maize genotypes, the differences are attributed to aggregated distribution of weed in the field. Weed floristic composition was dominated by Asteraceae and Poaceae families. The species with the highest IVI were *Portulaca oleraceae* L., *Amaranthus hybridus* L. y *Simsia amplexicaulis* (Cav.) Pers.

**Key words:** *Zea mays* L. subsp. *mays*; floristic composition; weed integrated management; Integrated weed management; weed biomass; weed density

## INTRODUCCIÓN

La presencia de maleza es uno de los factores bióticos que limitan la producción de maíz. En algunos casos, las pérdidas de rendimiento causadas por la maleza son mayores a las causadas en conjunto por plagas y enfermedades, lo cual pone de manifiesto la importancia del estudio de la competencia ejercida por dichos organismos sobre el cultivo (Ripusudan *et al.*, 2001).

El término competencia implica que distintos individuos ejerzan demanda sobre un conjunto común de recursos limitados (Booth *et al.*, 2003), los más comunes dentro del agrosistema son el agua, la luz, los nutrimentos y el espacio. Dado que esta la situación es muy frecuente, la competencia es una interacción clave que determina la estructura y dinámica poblacional en cualquier sistema biológico.

Conocer la composición de la comunidad de maleza debería de ser el punto desde el cual partieran todas las estrategias de manejo de las mismas, ya que de la correcta identificación de las especies y del conocimiento de la biología y ecología de las mismas derivarían estrategias de manejo más apropiadas social y ambientalmente (Swanton y Weise, 1991).

Las familias botánicas con mayor número de representantes de maleza en el mundo son Asteraceae, Poaceae, Amaranthaceae y Fabaceae (Cobb y Reade, 2010). La flora arvense de México conserva este mismo patrón, compuesta por una proporción importante de especies nativas, como lo mostró Vibrans (1998) en el cultivo de maíz en la región centro de México en un estudio que indica la existencia de 317 especies de maleza asociadas al cultivo de maíz; encontró que las especies exóticas representan el 16% y que los campos estaban dominados por especies del nuevo mundo distribuidas en México y Centroamérica. En un estudio llevado a cabo en Montecillo, Texcoco, Estado de México se encontraron 17 especies de maleza en el cultivo de cebolla. Las familias con mayor número de especies

encontradas fueron Poaceae, Asteraceae y Chenopodiaceae. Las especies con mayor valor de importancia fueron *Simsia amplexicaulis* (Cav.) y *Amaranthus hybridus* L (Ramírez, 2002).

La competencia con maleza generalmente es referida al número de días en los que el cultivo se encuentra expuesto a ésta, por lo que existen estudios en los que se ha comparado el efecto de diferentes duraciones del periodo de competencia con maleza (PCM) sobre la biomasa (BT), rendimiento (RG) e índices de crecimiento del maíz. Es el caso de Maqbool *et al.* (2006) quienes encontraron que el RG de grano de un híbrido de maíz, disminuyó 17% y 32% cuando el PCM fue de 30 y 60 días, respectivamente. Las reducciones más acusadas en los índices de crecimiento y RG se detectaron cuando el cultivo estuvo todo el ciclo en competencia con maleza.

Las diferencias genotípicas en la supresión de malezas han sido descritas para varios cultivos (Callaway, 1992), una de las características más importantes para esta habilidad es la estructura del dosel, que por ser determinante en la cantidad de radiación fotosintéticamente activa interceptada tiene impacto sobre el rendimiento de grano y la supresión de malezas (Begna, *et al.*, 2001), fenómeno que es considerado para el desarrollo del manejo integrado de maleza.

El manejo integrado de maleza implica la utilización de una diversidad de estrategias de manejo para suprimir el desarrollo de la misma. Las actuales preocupaciones económicas y ambientales justifican la continua evaluación de estrategias de manejo de los cultivos que reduzcan la dependencia hacia los herbicidas, pero que mantengan o incluso incrementen la productividad (Toler *et al.*, 1999; Sankula *et al.*, 2004).

Los herbicidas son la principal herramienta para el control de maleza en sistemas comerciales de producción. En México, la venta de herbicidas supera en valor monetario a

las de insecticidas y fungicidas. Sin embargo, considerando las preocupaciones económicas y ambientales de nuestra época se justifica el estudio y el desarrollo de estrategias de manejo que puedan reducir el uso de herbicidas, pero que mantengan la productividad del cultivo. Es en este escenario donde se inserta el trabajo propuesto ya que se estudiaron cinco genotipos de maíz expuestos a diferentes periodos de competencia con la comunidad de maleza de ocurrencia natural, con la finalidad de determinar si las diferencias en la estructura del dosel, influyen sobre la composición y la productividad de las poblaciones de maleza que crecen en el cultivo. Con los siguientes objetivos: i) Evaluar si las características arquitectónicas del dosel de los genotipos de maíz estudiados influyen en la composición y la producción de biomasa de las poblaciones de maleza. ii) Describir la composición florística de la comunidad de maleza a los 30, 60 y 90 días después de la siembra y iii) Evaluar el efecto de la duración del periodo de competencia con maleza sobre la biomasa y el rendimiento de grano del maíz.

## **MATERIALES Y MÉTODO**

### **Área de estudio**

El estudio se realizó en el ciclo primavera-otoño de 2012 en un lote experimental del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Estado de México (19° 29'N, 98° 54' O y 2250 m de altitud) bajo condiciones de lluvia estacional. El clima es del tipo BS1 que corresponde al menos seco de lo áridos con lluvias en verano, con una temperatura media anual de 14.6°C y precipitación media anual de 558.5 mm (García, 2005).

### **Material genético**

Se utilizaron cuatro híbridos de maíz generados por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) para la región de los Valles Altos: H-48, H-50, H-53AE y H-57; además de una población nativa de grano azul (criollo) cv. San Miguelito, de la raza Chalqueño (Wellhausen *et al.*, 1971) proveniente de San Andrés Tocuila, Estado de México.

### **Diseño experimental y manejo del experimento**

La siembra se realizó de manera manual el 8 de mayo de 2012. Los tratamientos se integraron con la combinación de cinco genotipos de maíz (GEN) expuestos a cuatro periodos de competencia con maleza (PCM): 0, 30, 60 y 90 días de competencia (ddc) a partir de la siembra. Lo cual generó un total de 20 tratamientos (Cuadro 1).

**Cuadro 1. Diseño de tratamientos del estudio de cinco cultivares de maíz de Valles Altos en competencia con maleza. Montecillo, Estado de México. Mayo-Noviembre, 2012.**

Tratamiento	Genotipo (GEN)	Días de competencia con maleza (ddc)
1		0 días
2	H-50	30 días
3		60 días
4		90 días
5		0 días
6	H-53AE	30 días
7		60 días
8		90 días
9		0 días
10	H-48	30 días
11		60 días
12		90 días
13		0 días
14	H-57	30 días
15		60 días
16		90 días
17		0 días
18	Criollo Azul San Miguelito	30 días
19		60 días
20		90 días

El diseño experimental fue de bloques completos al azar en arreglo de parcelas divididas con cuatro repeticiones, lo cual generó un total de 80 unidades experimentales. En la parcela mayor se colocaron los PCM y en la menor los GEN. La unidad experimental estuvo compuesta por tres surcos de 5 m de largo por 0.8 m de ancho; se consideró como parcela útil el surco central. La densidad de población fue de 6.25 pl m<sup>-2</sup>.

Después de haber prescrito la duración del PCM, las unidades experimentales correspondientes, se mantuvieron libres de maleza, a través de deshierbe manual, hasta la

cosecha. . No se registraron problemas severos de plagas o enfermedades durante el desarrollo del experimento.

### **VARIABLES REGISTRADAS PARA LA MALEZA Y CÁLCULO DE ATRIBUTOS DE LA COMUNIDAD**

Después del tratamiento de duración del PCM, un cuadro metálico de 0.25 x 0.25 m fue colocado en el surco central de cada una de las unidades experimentales.

Los especímenes de maleza que se encontraron dentro del cuadro fueron cortados a ras del suelo y colocados en bolsas de papel estraza para su posterior separación, recuento e identificación por especie. Una vez separadas las muestras por especie, fueron colocadas en una estufa de circulación de aire forzado a 80° C hasta peso constante. Posteriormente fueron pesadas en una balanza analítica para determinar la biomasa total (BTmaleza) por especie y unidad experimental.

Para el cálculo de los atributos de la comunidad: densidad, dominancia y frecuencia absolutas y relativas, se consideró lo propuesto por Cox (1978). Con la suma de la densidad, dominancia y frecuencia relativas, se obtuvo el índice de valor de importancia (IVI) de cada especie de maleza.

### **VARIABLES REGISTRADAS PARA MAÍZ**

Se registró la ocurrencia de las fases fenológicas: días a emergencia (VE), floración femenina (R1) y madurez fisiológica (R6), con base en el criterio presentado en Ritchie y Hanway (1982). A la madurez fisiológica de cada cultivar, se determinó la acumulación de materia seca total (BTmaíz, g m<sup>-2</sup>) y el rendimiento de grano (RG, g m<sup>-2</sup>) al 13% de humedad, aproximadamente.

### **Análisis estadístico**

A la densidad (DM) y biomasa totales de maleza (BTmaleza), así como a la biomasa total del maíz (BTmaíz) y el rendimiento de grano de maíz (RG) se les aplicó un análisis de varianza (ANDEVA) por medio del programa estadístico SAS Versión (9.0) (SAS, 2003), y a las que presentaron diferencias significativas, la prueba de comparación de medias de Tukey ( $\alpha=0.05$ ).

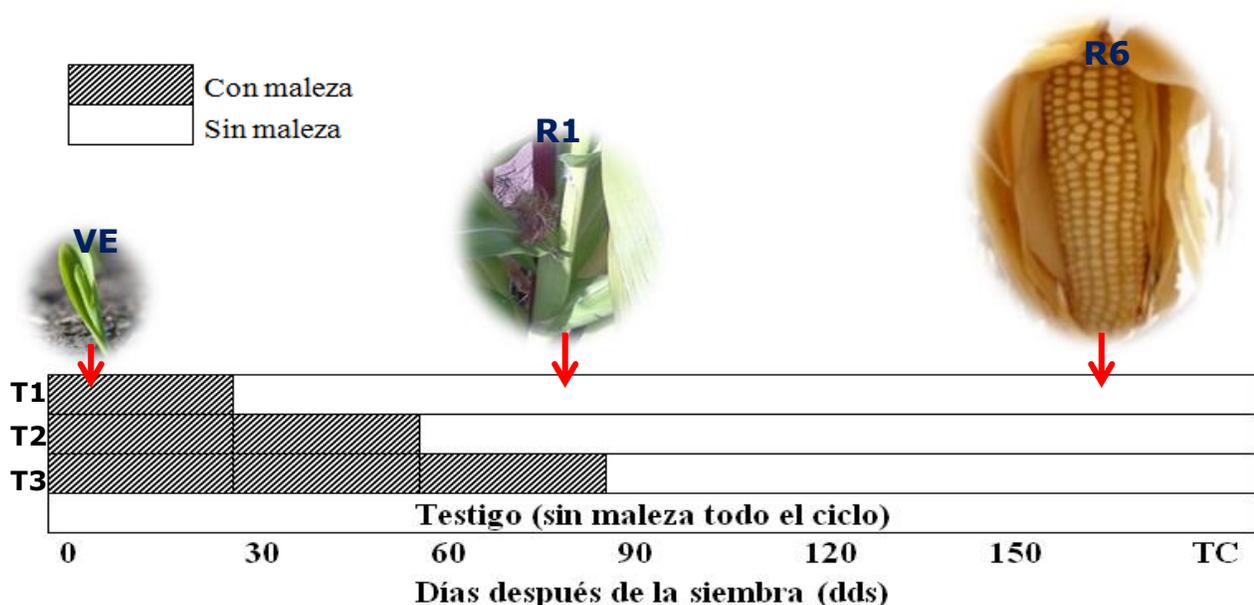
Al IVI de las especies de maleza que mostraron los valores más altos y que por lo tanto fueron las dominantes en la comunidad se les aplicó un ANDEVA no paramétrico de dos vías o también llamado prueba de Friedman en función del PCM, ya que las poblaciones de maleza no cumplen con el supuesto de normalidad necesario para realizar un ANDEVA paramétrico (Santos *et al.*, 2005).

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Fenología de los cultivares**

La ocurrencia de las etapas fenológicas fue variable entre los cultivares estudiados, sin embargo, no se observaron diferencias en la duración de éstas, por efecto del periodo de competencia con maleza puesto que los testigos, concuerdan en la duración de las etapas fenológicas con los expuestos a la competencia con maleza (Figura 1). H-48 mostró ser el cultivar más precoz, ya que emergió (VE) 6 dds, la floración femenina (R1) ocurrió 84 dds y la madurez fisiológica (R6) 155 dds. H-50 mostró un comportamiento fenológico similar, aunque requirió 86 y 158 d para alcanzar R1 y R6, respectivamente. Espinosa *et al.* (2003) indican que H-48 presenta sincronía en la floración masculina y femenina a los 82 dds, en

promedio, y madurez fisiológica entre 150 y 155 dds, por lo que el comportamiento observado en este estudio coincide con lo descrito. Un caso similar es el de H-50, ya que se ha descrito que R1 ocurre 84 dds y R6 a los 155 dds, que son solamente 2 y 3 días (d) antes de lo ocurrido en este estudio. H-53AE mostró ser el híbrido más tardío, VE, R1 y R6 ocurrieron a los 7, 89 y 169 dds, respectivamente, lo cual es también, 2 y 4 d más tardío en comparación con lo descrito en INIFAP (2011). El criollo azul fue el genotipo más tardío,



ya que fueron necesarios 9, 96 y 176 d para alcanzar VE, R1 y R6; respectivamente.

**Figura 1. Ocurrencia de etapas fenológicas promedio de cinco cultivares de maíz de Valles Altos de México y su relación con el periodo de competencia con maleza (PCM). Montecillo, Estado de México. Primavera-otoño, 2012. VE = Emergencia; R1 = Floración femenina y R6 = Madurez fisiológica.**

### **Densidad total de maleza (DP) y rendimiento de grano de maíz (RG)**

El número de individuos de maleza por unidad de área no mostró cambios estadísticamente significativos atribuibles al GEN (Cuadro 2). La mayor densidad de maleza se presentó en H-50 y la menor en H-53AE, sin embargo, estas variaciones podrían explicarse tomando en cuenta que el patrón de distribución de la maleza en el campo es del tipo agregado o por conglomerados, lo cual implica que habrá mayor densidad de una especie alrededor de donde se encuentra o se encontró la planta madre en otros ciclos (Booth *et al.*, 2003; Cardina *et al.*, 1997) independientemente del genotipo debajo del cual estén creciendo.

La duración del periodo de competencia tuvo un efecto significativo en la densidad total de maleza (DP). La DP más alta se encontró en donde la maleza estuvo en competencia con el maíz los primeros 30 dds y fue estadísticamente igual al de 60 ddc. Es importante mencionar que la dinámica de la DP comenzó en cero cuando no hubo competencia con maleza, aumentó hasta ser máxima con 30 ddc (642 ind m<sup>-2</sup>) y desde este punto disminuyó a los 60 ddc (566 ind m<sup>-2</sup>) hasta ser mínima a los 90 ddc (120 ind m<sup>-2</sup>). Este comportamiento indica que la colonización del suelo por la maleza es rápida y alcanza el mayor número de individuos por unidad de área 30 dds, cuando los recursos son suficientes para sostener al cultivo y a la maleza (Norsworthy y Oliveira, 2004) ,pero después de este punto el agrosistema no es capaz de sostener a las arvenses y al cultivo, por lo que se presenta cambios en la fisonomía de la comunidad de tal manera que la densidad de maleza disminuye debido a que la capacidad de carga del agrosistema no puede ser rebasada (Booth *et al.*, 2003).

Las densidades de maleza encontradas en este estudio son superiores a las indicadas por Sankula *et al.* (2004) quienes al estudiar dos genotipos de maíz con características

contrastantes del dosel encontraron como DP más alta 24 ind m<sup>-2</sup>, valor menor a la densidad más baja registrada en este estudio (40 NI m<sup>-2</sup> con H-48 y 90 ddc).

La interacción GEN\*PCM no mostró efectos significativos sobre la densidad de la maleza y su dinámica fue similar a la descrita en el párrafo anterior, con excepción del criollo Azul, en el cual la densidad de maleza a los 60 dds fue mayor que a los 30 dds.

**Cuadro 2. Densidad de maleza y rendimiento de grano en función del genotipo y periodo de competencia de cinco genotipos de maíz de Valles altos. Montecillo, Estado de México. Primavera-Otoño, 2012.**

FACTOR		DP (NI m <sup>-2</sup> )	RG MAÍZ (g m <sup>-2</sup> )
GENOTIPO (GEN)	H-50	383.3	516 a
	Azul	373.3	310 c
	H-48	315.3	520 a
	H-57	306.7	402 bc
	H-53AE	282.7	425 ab
PCM	0	0.0 c	568 a
	30	642.1 a	644 a
	60	566.4 a	289 b
	90	120.5 b	237 b
H-50	0	0.0	570 b
	30	826.7	886 a
	60	517.3	315 c
	90	189.3	294 c
Azul	0	0.0	554 b
	30	549.3	423 b
	60	832.0	161 c
	90	112.0	102 c
H-48	0	0.0	612 b
	30	682.7	717 ba
	60	538.7	411 b
	90	40.0	372 bc
H-57	0	0.0	476 b
	30	533.3	584 b
	60	503.3	320 bc
	90	160.0	209 c
H-53	0	0.0	608 b
	30	618.7	612 b
	60	410.7	238 c
	90	101.3	242 c
Prob. F	GEN	ns	**
	PCM	**	**
	GEN*PCM	ns	*
DMS Tukey 0.05	GEN	ns	101
	PCM	120.1	114
	GEN*PCM	ns	239

En cada columna medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey  $P \leq 0.05$ ). \*:  $P \leq 0.05$ ; \*\* :  $P \leq 0.01$ , DMS: diferencia mínima significativa (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). C.V.: Coeficiente de variación.

El RG de maíz mostró cambios altamente significativos por efecto del GEN y PCM (Cuadro 2); y cambios significativos por efecto de la interacción GEN\*PCM. El más alto RG fue encontrado en H-48 (520 g m<sup>-2</sup>) y fue estadísticamente similar a H-50 (516 g m<sup>-2</sup>) y el más bajo en el criollo Azul (310 g m<sup>-2</sup>). La duración del PCM mostró efectos determinantes sobre el RG, así, los valores más altos, se encontraron cuando el maíz creció sin y con 30 ddc con maleza (568 y 644 g m<sup>-2</sup>); el RG más bajo se registró con 90 ddc (237 g m<sup>-2</sup>).

La interacción GEN\*PCM indica un comportamiento diferencial entre los híbridos y el criollo y el testigo y la competencia con maleza durante 30 d. Los híbridos presentaron los RG más altos con 30 ddc con maleza, seguidos por los que estuvieron libres de maleza todo el ciclo, hasta ser mínimos con 90 ddc. A diferencia del criollo azul que presentó el RG más alto (554 g m<sup>-2</sup>) en ausencia de competencia con maleza, a partir del cual disminuyó hasta ser mínimo y el más bajo del estudio con 90 ddc con maleza (102 g m<sup>-2</sup>).

En el cuadro 2 se observa que la reducción en el RG en los genotipos de maíz bajo estudio se encontró particularmente cuando el periodo de competencia fue mayor a 30 d. De entre los híbridos, el RG más alto correspondió a H-50 con (886 g m<sup>-2</sup> con 30 ddc), seguido por H-48 (717 g m<sup>-2</sup> con 30 ddc); los más bajos por H-53 y H-57 con 90ddc (242 y 209 g m<sup>-2</sup>, respectivamente).

Estos resultados contrastan con los de Maqbool *et al.* (2006) quienes al estudiar el efecto de la duración del PCM sobre la densidad de maleza y el RG de maíz, encontraron que la densidad fue mínima con 0 ddc y aumentó hasta alcanzar su valor máximo con 45 ddc, desde el cual disminuyó hasta el final del ciclo. El RG del híbrido pakistaní evaluado en este estudio, mostró su valor más alto cuando creció libre de malezas (densidad 0) y desde

este punto disminuyó conforme la duración del PCM y la densidad de la maleza aumentaron.

La no reducción en el RG por competencia con maleza durante los primeros 30 días, podría explicarse en parte por lo afirmado por Norsworthy y Oliveira (2004) quienes señalan que durante las primeras semanas después de la emergencia del cultivo, los recursos presentes en el ambiente son generalmente suficientes para abastecer el crecimiento tanto de la maleza como del cultivo. En el caso del presente estudio, se supone que como fue señalado por Lorens *et al.* (1987) la maleza durante los primeros 30 d fue factor para conservar el agua del suelo en beneficio del cultivo y de esta manera el RG no fue afectado para la competencia (Thomas y Allison, 1975).

### **Biomasa de maleza y maíz**

La producción de biomasa de maleza (BTmal) y maíz (BTmaíz) por unidad de superficie mostró cambios significativos por efecto del GEN, PCM y la interacción GEN\*PCM (Cuadro 3). La más alta BIoMaleza se presentó donde se cultivó H-53, seguido por H-57 (539 y 404 g m<sup>-2</sup>, respectivamente); la menor BIoMaleza se registró en las arvenses que crecieron con H-48 (152 g m<sup>-2</sup>). La BT producida por la maleza es muy superior a la encontrada en otros estudios, como los reportados por Maqbool *et al.* (2006) quienes encontraron una BIoMaleza de 125 g m<sup>-2</sup> con 60ddc con maleza, y con competencia durante todo el ciclo una BIoMaleza de 159 g m<sup>-2</sup>, valor similar al encontrado en este estudio a los 30 dds. Las altas densidades y acumulación de materia seca de las arvenses encontradas en este estudio indican un banco de semillas de malezas con amplias reservas, que al encontrar con las condiciones ambientales y de cultivo apropiadas para la germinación y establecimiento de las semillas conducen a una alta infestación de malezas.

**Cuadro 3. Biomasa de maleza (BTmal), maíz (BTmaíz), y biomasa total (BIO maíz+maleza) en función del genotipo y periodo de competencia de cinco genotipos de maíz de Valles altos. Montecillo, México. Primavera-Otoño, 2012.**

FACTOR		BTmal (g m <sup>-2</sup> )	BTmaíz (g m <sup>-2</sup> )	BTm+m (g m <sup>-2</sup> )
GEN	H-53	539.7 a	1197 bd	1736.7
	H-57	404.2 ab	1270 ab	1674.2
	H-50	295.7 bc	1359 ab	1654.7
	Azul	276.8 bc	1486 a	1762.8
	H-48	151.9 c	1307 ab	1492
PCM	0	0.0 c	1554 a	1554
	30	132.8 c	2020 b	2153
	60	414.7 b	884 c	1298
	90	787.2 a	837 c	1624
Azul	0	0.0 c	1512.2 bc	1512.2
	30	130.7 c	2274.9 a	2405.5
	60	361.7	887.9 c	1249.6
	90	614.9 b	884.5 c	1499.4
H-48	0	0.0 c	1368.3 bc	1368.3
	30	148.2 c	1835.0 ab	1983.2
	60	180.3	1207.5 bc	1387.9
	90	279.0 b	949.9 bc	1228.9
H-50	0	0.0 c	1612.6 ab	1612.6
	30	157.3 c	2248.0 a	2405.3
	60	374.7	759.0 c	1133.7
	90	651.0 b	795.9 c	1446.9
H-53AE	0	0.0c	1597.5 bc	1597.5
	30	84.3 c	1791.8 ab	2634.5
	60	636.0	678.9 c	1314.9
	90	1438.4 a	773.0 c	2211.4
H-57	0	0.0 c	1534.8 bc	1534.8
	30	143.5 c	1954.6 ab	2098.1
	60	521.0	647.8 c	1168.8
	90	952.5 b	816.7 c	1769.2
Prob. F	GEN	**	*	ns
	PCM	**	**	**
	GEN*PCM	**	*	ns
DMS Tukey 0.05	GEN	150.8	220	-
	PCM	277.7	106.0	369.1

GEN\*PCM

449.7

673.01

-

---

En cada columna medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey  $P \leq 0.05$ ). \*:  $P \leq 0.05$ ; \*\* :  $P \leq 0.01$ , DMS: diferencia mínima significativa (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). C.V.: Coeficiente de variación.

Entre los genotipos estudiados, el criollo Azul fue el que mostró la más alta BT (1486 g m<sup>-2</sup>) a diferencia de H-48, que presentó la más baja (1307 g m<sup>-2</sup>). Dicho comportamiento podría ser explicado por las diferencias en la duración del ciclo, puesto que el maíz Azul presentó un ciclo de 176 d, lo que le permitió mayor tiempo de captura de radiación solar que se tradujo en una mayor BT en relación con H-48 de un ciclo 155d.

En cuanto a la duración del PCM sobre la acumulación de biomasa de maleza y maíz, la respuesta fue contrastante. La BTmaíz fue más alta en cuanto fue menor la duración del PCM. La BTmaleza fue más alta entre mayor fue el PCM (Cuadro 3).

En la interacción GEN\*PCM, la BIo maíz más alta se encontró con 30 ddc y la más baja con 90 ddc. El criollo Azul y H-50 fueron los genotipos que mostraron las BT más altas con 30 ddc con maleza (2275 g m<sup>-2</sup> y 2248 g m<sup>-2</sup>, respectivamente). El híbrido H-57 mostró la más baja BTmaíz del estudio cuando se expuso a 60 ddc con maleza (648 g m<sup>-2</sup>).

Con relación a la variable biomasa de maíz más biomasa de maleza (BTm+m) se encontraron cambios estadísticos altamente significativos atribuidos al PCM. El GEN por sí solo, no mostró diferencias estadísticas significativas. La BIo m+m producida 30 dds fue la más alta del estudio (2153 g m<sup>-2</sup>). El criollo Azul (2405.5 g m<sup>-2</sup>) y H-50 (2405.3 g m<sup>-2</sup>), mostraron las BIo m+m más altas del estudio con 30 ddc.

La similitud en la producción de biomasa total (BTm+m) por unidad de superficie a pesar de las diferencias encontradas en la BT del cultivo y maíz por GEN y PCM podría ser explicada debido a que todos los sistemas físico-biológicos poseen una capacidad

determinada para mantener un número de individuos o una cantidad de biomasa indefinidamente, denominada capacidad de carga (K) y ésta, no puede ser rebasada, a menos de que se introduzcan insumos que disminuyan la competencia dentro del sistema (Booth *et al.*, 2003) . Tomando en cuenta que el estudio se realizó en condiciones de lluvia estacional y sin fertilización adicional al suelo, la K de este agrosistema no fue aumentada, por lo que se espera que la cantidad total de biomasa acumulada por unidad de superficie (BT<sub>m+m</sub>) sea similar. Sin embargo, por ser el maíz una planta C4 de alto potencial de RG, se esperaría que muestre una BT máxima cuando crece libre de maleza. La similitud estadística en el RG entre los tratamientos de maíz libre de maleza y con competencia en los primeros 30 dds, puede explicarse de la manera siguiente: en el caso del testigo, el suelo entre los surcos se encontró sin cobertura vegetal lo cual promovió la evaporación reduciendo el agua disponible para el cultivo y sometiénolo a un estrés hídrico más severo (finales de mayo y principios de junio, 2012). Dicho estrés hídrico pudo ser menos severo en los tratamientos en que el maíz estuvo expuesto a 30 ddc con maleza, lo cual pudo reducir la evaporación directa del suelo dejando mayor cantidad de agua disponible para el cultivo en comparación con el testigo sin competencia. El comportamiento de la humedad del suelo con maleza antes mencionado ha sido también reportado por Thomas y Allison (1975).

Los cambios en la densidad y biomasa de la maleza por efecto del genotipo descritos en este estudio no son consistentes, ya que a pesar de que en el caso de la biomasa, se encontraron cambios estadísticos significativos cuando se analizaron en función del genotipo asociado, las diferencias detectadas, pueden ser explicadas de mejor manera atendiendo a la distribución espacial de la maleza en el campo, la cual posee un alto nivel de agregación (Wiles *et al.* 1992; González-Andujar *et al.*, 2003). Este patrón de

distribución determina que ciertas especies muestren una alta densidad y producción de biomasa en una zona o zonas específicas del terreno y que en otras no se encuentren, fenómeno que ha sido explicado tomando en cuenta las características del ciclo de vida, fenología, reproducción y dispersión de las arvenses, además de los métodos y estrategias humanas para el control de la maleza (Cardina *et al.* 1997). Al respecto, Sankula *et al.* (2004) encontraron cambios atribuibles a la estructura del dosel de los híbridos estudiados solamente cuando el estudio se llevó a cabo bajo riego, pero no cuando fue realizado en condiciones de lluvia estacional, lo que conduce a los autores a suponer que la habilidad supresora de los híbridos que ellos estudiaron, no puede ser observada cuando la densidad de plantación es baja o la humedad es deficiente. Como ya ha sido mencionado, el presente estudio se llevó a cabo en condiciones de lluvia estacional y en presencia de una alta infestación de maleza en cuanto a densidad, pero también a diversidad de especies encontradas; todo lo cual pudo haber impedido que se observaran diferencias concretas y determinantes en la comunidad de arvenses por efecto del genotipo.

### **Composición florística de la comunidad de maleza**

En el cuadro 4 se muestran las especies de maleza que ocurrieron durante el ciclo de cultivo de los cinco genotipos de maíz estudiados. La composición de la comunidad fue de 13 familias, 21 géneros y 22 especies, de las cuales el 27% pertenece a la clase Liliópsida (monocotiledóneas) y el 73% a la Magnoliópsida (dicotiledóneas). La familia Poaceae concentra el 23% de las especies presentes en el estudio, mientras que la familia Asteraceae aporta el 18%, siendo ambas las más importantes por la cantidad de especies incluidas en la comunidad de arvenses en estudio.

De las 22 especies registradas, tres tienen un ciclo de vida perenne, 15 son estrictamente anuales, dos pueden ser anuales o perennes y otras dos, anuales o bianuales, sin embargo, todas tienen como forma de vida una hierba.

La mayor parte de las especies registradas en el estudio han sido reportadas como maleza en el cultivo de maíz en México (Villaseñor y Espinosa, 1998; Rosales y Medina, 2011). Al respecto, Molina-Frener *et al.* (2008) realizaron un estudio sobre la dinámica poblacional de maleza en un campo de maíz de temporal del municipio de Texcoco, Estado de México y encontraron que en el banco de semillas se distinguieron 18 especies, siendo las más abundantes *Lopezia racemosa Cav.*, *Galinsoga quadriradiata Ruiz & Pav.*, *Salvia tiliifolia Vahl* y *Acalypha indica L.*, tres de las cuales aparecen en este estudio.

**Cuadro 4. Especies de maleza que ocurrieron en el cultivo de cinco genotipos de maíz de Valles Altos. Montecillo, Estado de México. Primavera-Otoño, 2012.**

Clase	Familia	Especie	Ciclo de vida	Ruta fotosintética	Referencia
Liliópsida	Cyperaceae	<i>Cyperus esculentus</i> L.	P	C4	Elmore y Rex, 1983
Liliópsida	Poaceae	<i>Bromus catharticus</i> Vahl	P	C3	Silva <i>et al.</i> , 2011
Liliópsida	Poaceae	<i>Eleusine multiflora</i> Hochst. ex A. Rich.	A	C4	Waller y Lewis, 1979
Liliópsida	Poaceae	<i>Eragrostis mexicana</i> (Hornem.) Link	A	C4	Elmore y Rex, 1983
Liliópsida	Poaceae	<i>Paspalum prostratum</i> Scribn. & Merr.	A/BA	C4	Waller y Lewis, 1979
Liliópsida	Poaceae	<i>Setaria adhaerens</i> (Forssk.) Chiov.	A	ND	Waller y Lewis, 1979
Magnoliópsida	Amaranthaceae	<i>Amaranthus hybridus</i> L.	A	C4	Elmore y Rex, 1983
Magnoliópsida	Asteraceae	<i>Galinsoga quadriradiata</i> Ruiz & Pav.	A	ND	ND
Magnoliópsida	Asteraceae	<i>Parthenium bipinnatifidum</i> (Ortega) Rollins	A	ND	ND
Magnoliópsida	Asteraceae	<i>Simsia amplexicaulis</i> (Cav.) Pers.	A	ND	ND
Magnoliópsida	Asteraceae	<i>Sonchus oleraceus</i> L.	A	C3	Silva <i>et al.</i> , 2011
Magnoliópsida	Brassicaceae	<i>Brassica rapa</i> L.	A	C3	Warwick, 2011
Magnoliópsida	Brassicaceae	<i>Lepidium virginicum</i> L.	A/BA	ND	ND
Magnoliópsida	Chenopodiaceae	<i>Chenopodium berlandieri</i> Moq.	A	C3	Trimble y Macko, 1997
Magnoliópsida	Convolvulaceae	<i>Ipomoea purpurea</i> (L.) Roth	A	ND	ND

Magnoliópsida	Euphorbiaceae	<i>Acalypha indica</i> L.	A	C3	Rao y Kodandaramaiah, 1982
Magnoliópsida	Malvaceae	<i>Fuertesimalva limensis</i> (L.) Fryxell	A	ND	ND
Magnoliópsida	Malvaceae	<i>Malva parviflora</i> L.	A	ND	ND
Magnoliópsida	Onagraceae	<i>Lopezia racemosa</i> Cav.	A/P	ND	ND
Magnoliópsida	Oxalidaceae	<i>Oxalis corniculata</i> L.	P	C3	Zhang <i>et al.</i> , 2014
Magnoliópsida	Portulacaceae	<i>Portulaca oleracea</i> L.	A	C3	Silva <i>et al.</i> , 2011
Magnoliópsida	Solanaceae	<i>Datura stramonium</i> L.	A/P	C3	Lange <i>et al.</i> , 1982

---

P = perenne; A = anual; BA = Bianual; H = hierba. ND = Información no disponible.

### **Análisis de las especies de mayor importancia en el cultivo de maíz a los 30, 60 y 90 dds**

El índice de valor de importancia (IVI) es un parámetro que permite conocer la estructura horizontal de la comunidad por medio de la densidad, dominancia y frecuencia relativas (Cox, 1978) al indicar cuáles son las especies de mayor representatividad y dominancia dentro de una comunidad vegetal. En el Cuadro 5 se encuentran consignados los IVI de las especies de dicotiledóneas registradas en el presente estudio a lo largo del ciclo de cultivo. A los 30 y 60 dds las especies dominantes en orden de importancia fueron *Portulaca oleracea* (POROL<sup>1</sup>), *Amaranthus hybridus* (AMACH<sup>1</sup>) y *Simsia amplexicaulis* (SIMAM); a los 90 dds las especies dominantes se mantuvieron, pero el orden de importancia cambió de tal manera que SIMAM y AMACH resultaron ser las especies de mayor relevancia. Estos resultados concuerdan con los de Ramírez (2002) que indica que las especies con mayor IVI en un cultivo de cebolla desarrollado en el mismo campo experimental de Montecillo fueron SIMAM y AMACH.

---

<sup>1</sup> POROL y AMACH son los Códigos aceptados por la Asociación Americana de la Ciencia de la Maleza y Bayer Crop Science para la homogeneización de las abreviaturas de los nombres científicos en materia de malezas.

**Cuadro 5. Especies de maleza de la clase Magnoliópsida e índice de valor de importancia (IVI) a los 30, 60 y 90 dds en el cultivo de cinco genotipos de maíz de Valles Altos. Montecillo, México. Primavera-Otoño, 2012.**

Especie	Índice de valor de importancia (IVI)		
	30 dds	60 dds	90 dds
<i>Portulaca oleracea</i> L.	162	74	57
<i>Amaranthus hybridus</i> L.	39	52	97
<i>Simsia amplexicaulis</i> (Cav.) Pers.	25	44	105
<i>Malva parviflora</i> L.	18	5	6
<i>Chenopodium berlandieri</i> Moq.	11	4	9
<i>Galinsoga quadriradiata</i> Ruiz & Pav.	4	11	0
<i>Oxalis corniculata</i> L.	2	21	4
<i>Sonchus oleraceus</i> L.	1	11	0
<i>Datura stramonium</i> L.	1	0	0
<i>Parthenium bipinnatifidum</i> (Ortega) Rollins	1	4	7
<i>Lopezia racemosa</i> Cav.	<1	2	0
<i>Ipomoea purpurea</i> (L.) Roth	<1	1	0
<i>Fuertesimalva limensis</i> (L.) Fryxell	0	12	0
<i>Lepidium virginicum</i> L.	0	4	0
<i>Acalypha indica</i> L.	0	7	0
<i>Brassica rapa</i> L.	0	1	0
<i>Datura stramonium</i> L.	0	1	0

En el caso de las monocotiledóneas, las especies dominantes, en orden de importancia fueron *Paspalum prostratum* (PASPR), *Eleusine multiflora* (ELEMU) y *Cyperus esculentus* (CYPES<sup>2</sup>) (Cuadro 6). Sin embargo, es relevante mencionar que los IVI de las monocotiledóneas fueron sustancialmente menores a los presentados por las dicotiledóneas, por lo que las especies

<sup>2</sup> Idem

dominantes en la comunidad de arvenses estudiada en todos los momentos de muestreo fueron las pertenecientes a la clase magnoliópsida.

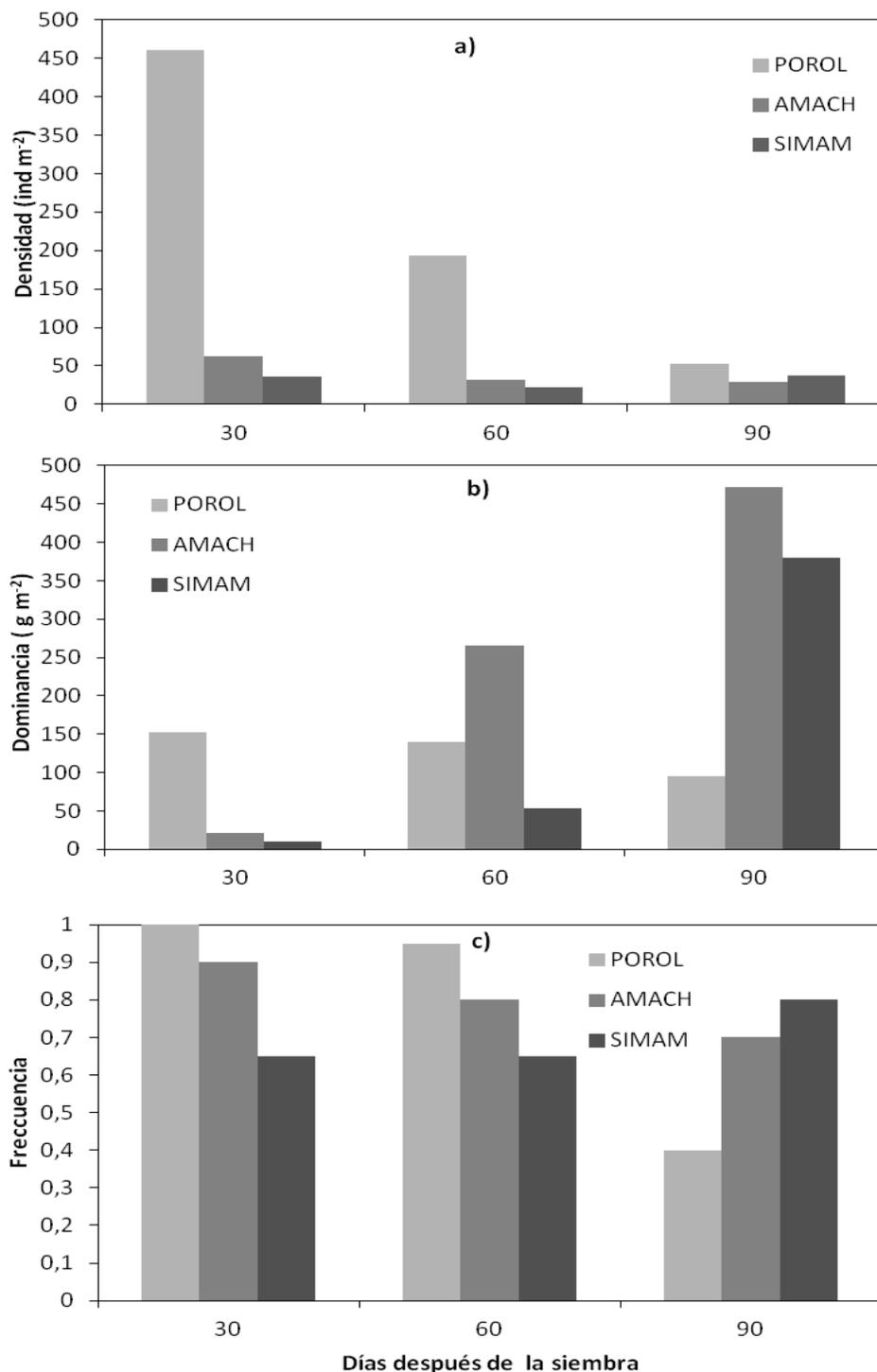
**Cuadro 6. Especies de maleza de la clase Liliópsida e índice de valor de importancia (IVI) a los 30, 60 y 90 dds en el cultivo de cinco genotipos de maíz de Valles Altos. Montecillo, México. Primavera-Otoño, 2012.**

Especie	Valor de importancia		
	30 dds	60 dds	90 dds
<i>Paspalum prostratum</i> Scribn. & Merr.	13	18	11
<i>Eleusine multiflora</i> Hochst. ex A. Rich.	9	8	<1
<i>Cyperus esculentus</i> L.	6	5	0
<i>Setaria adhaerens</i> (Forssk.) Chiov.	0	7	0
<i>Eragrostis mexicana</i> (Hornem.) Link	<1	4	4
<i>Bromus catharticus</i> Vahl	0	2	0

Los cambios en las especies dominantes durante el ciclo de cultivo son esperables ya que las actividades agrícolas se caracterizan por generar cambios e imponer filtros a las comunidades biológicas, de tal manera que las comunidades de malezas asociadas a cultivos están expuestas a factores disturbantes por lo que se considera que sus poblaciones son dinámicas a través del tiempo (Booth *et al.*, 2003).

Conocer el IVI permite centrar la atención en las especies de mayor relevancia de la comunidad, pero es necesario conocer los atributos de la población de cada especie para poder entender los cambios que ocurren a nivel de poblaciones y comunidades a lo largo del ciclo de cultivo del maíz.

En la Figura 2 es posible observar la dinámica de la densidad, dominancia y frecuencia absolutas de las tres dicotiledóneas dominantes en la comunidad.



**Figura 2.** Atributos de las poblaciones de especies dicotiledóneas con mayor IVI a los 30, 60 y 90 dds en el cultivo de cinco genotipos de maíz de Valles Altos. Montecillo, México. Primavera-Otoño, 2012. POROL = *Portulaca oleracea.*, AMACH = *Amaranthus hybridus*, SIMAM = *Simsia amplexicaulis*.

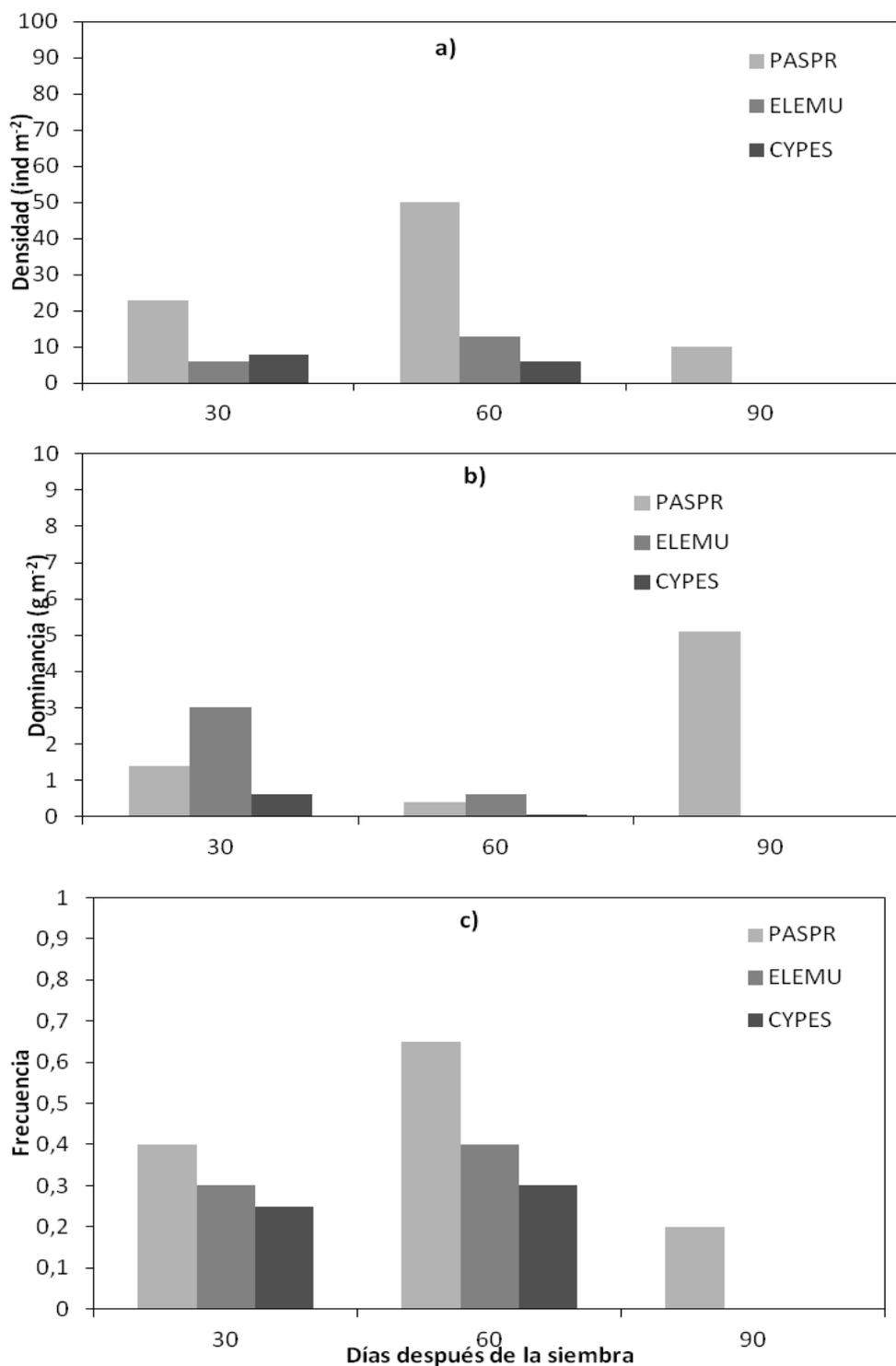
La densidad de POROL y AMCH fue máxima a los 30 dds (460 y 63 ind m<sup>-2</sup>, respectivamente) y disminuyó conforme aumento el periodo de competencia con maleza hasta alcanzar valores de 53 y 29 ind m<sup>-2</sup>, respectivamente, a los 90 dds. La dominancia en POROL fue directamente proporcional al de la densidad, de tal forma que la biomasa de esta especie fue disminuyendo conforme avanzó el ciclo de cultivo del maíz y aumento el PCM. La dominancia de AMACH y SIMAM mostró una dinámica inversa a la de POROL, ya que aumentó conforme transcurrieron los dds. La dominancia más alta se encontró en AMACH 90 dds.

En lo que respecta a la frecuencia, fue máxima a los 30 dds en POROL y AMACH (1 y 0.9, respectivamente) y desde ahí disminuyó para alcanzar valores mínimos a los 90 dds. Caso contrario se registró para SIMAM que mantuvo una frecuencia constante a los 30 y 60 dds (9.65) y resultó máxima a los 9 dds (0.8).

Las monocotiledóneas de mayor relevancia dentro de la comunidad mostraron densidades, dominancias y frecuencias muy bajas en comparación con las dicotiledóneas (Figura 3). La mayor densidad se registró para PASPR a los 60 dds (50 ind m<sup>-2</sup>) y la mayor dominancia en ELEMU 90 dds. La densidad de PASPR empezó siendo pequeña a los 30 dds, aumentó a los 60 dds, pero cayó a los 90 dds, aunque fue la única de estas tres especies que mantuvo su presencia en el campo a los 90 dds; ELEMU comenzó con una densidad baja que aumentó ligeramente a los 60 dds, pero el muestreo no logró detectar individuos de esta especie 90 dds, al igual que de CYPES que comenzó con densidad relativamente alta que disminuyó a los 60 dds y que llegó a cero a los 90 dds.

ELEMU fue la especie de mayor dominancia a los 30 y 60 dds, pero PASPR fue la única capaz de mantener en el campo hasta los 90 dds, consiguiendo así, la mayor dominancia registrada para

las monocotiledóneas en el estudio ( $5.1 \text{ g m}^{-2}$ ) que es de una magnitud ínfima comparada con las de las dicotiledóneas.



**Figura 3. Atributos de las poblaciones de especies monocotiledóneas con mayor IVI a los 30, 60 y 90 dds en el cultivo de cinco genotipos de maíz de Valles Altos. Montecillo, México. Primavera-Otoño, 2012. PASPR = *Paspalum prostratum*, ELEMU = *Eleusine multiflora*, CYPES = *Cyperus esculentus*.**

La combinación de los tres atributos descritos determina el IVI de las especies. Así, la prueba de Friedman realizada para el IVI de las tres dicotiledóneas dominantes en función del PCM mostró cambios significativos ( $p < 0.05$ ). En el caso de AMACH y SIMAM el IVI tendió a crecer conforme avanzó el ciclo, mostrando cambios estadísticamente significativos entre los tres periodos de competencia. El caso de POROL es diferente, ya que a los 30 dds el IVI fue máximo y diferente a los demás periodos, tendiendo a disminuir conforme aumentó la duración de la competencia (Cuadro 7).

**Cuadro 7. Prueba de Friedman para el índice de valor de importancia (IVI) en las dicotiledóneas de mayor relevancia en función del PCM.**

	AMACH		POROL		SIMAM	
30 DDC	7	b	15	a	5	c
60 DDC	9	ab	8	bc	10	b
90 DDC	14	a	7	bc	15	a
DMS	5,6		3,9		0	
p	*		*		**	

En un campo de cultivo ocurren dos tipos de competencia, la intraespecífica que se da entre los individuos del cultivo y entre individuos de la misma especie de maleza; y la interespecífica establecida entre el cultivo y la maleza, pero también entre individuos de diferente especie de maleza. En el caso de POROL, los datos sugieren que esta especie fue más afectada negativamente por la competencia intraespecífica, ya que al principio del ciclo la densidad de esta especie fue tan alta que se presentó un fenómeno de selección de una proporción de los individuos presentes que lograron sobrevivir y continuar su crecimiento hasta los 90 ddc, donde la densidad fue casi diez veces menor a la observada a los 30 dds. Esta especie se encuentra dentro de las diez especies de maleza más importantes por su agresividad y distribución en el

mundo (Holm *et al.*, 1977), ya que una sola planta puede producir hasta 240 mil semillas que pueden mantenerse viables por más de diez años, además de que al ser fragmentada, los segmentos de tallo tienen la capacidad para resistir la desecación para cuando se presenten condiciones de humedad y temperatura propicias, generar raíces y dar lugar a un nuevo individuo (Mitich, 1997).

Por su parte, AMACH y SIMAM mantuvieron valores similares de densidad en los tres muestreos, pero la dominancia creció exponencialmente en ambos casos, de tal forma que al final del ciclo ambas especies concentraron la mayor cantidad de materia seca, que indica que se trató de plantas grandes y con alta acumulación de materia seca, aún cuando su frecuencia nunca fue tan alta como la de POROL al principio del ciclo. Las características biológicas de AMACH lo hacen ser una maleza muy competitiva, ya que una sola planta madura puede producir hasta 600 mil semillas (Massinga *et al.*, 2001; Sellers *et al.*, 2003) lo que hace que el tamaño de la población pueda aumentar exponencialmente en un ciclo, además las semillas poseen múltiples mecanismos de latencia que les permite germinar escalonadamente durante varios años (Baker, 1974). Son plantas que emergen en la primavera tardía o a inicios del verano, cuando existen condiciones propicias para su rápido crecimiento aumentado por su metabolismo C4 (Shrestha y Swanton, 2007). SIMAM también posee características favorables para su comportamiento como maleza ya que demuestra gran plasticidad y acelerada producción de flores y frutos que aseguran su contribución al banco de semillas, además de ser catalogada como una especie altamente competitiva (Uscanga *et al.*, 1993). En el caso de las monocotiledóneas, la prueba de Friedman reveló cambios altamente significativos en el IVI atribuidos al PCM en CYPES y ELEMU. En PASPR los cambios no fueron significativos (Cuadro 8).

**Cuadro 8. Prueba de Friedman para el índice de valor de importancia (IVI) en las monocotiledóneas de mayor relevancia en función del PCM.**

	CYPES		ELEMU		PASPR	
30 DDC	13,5	a	14	a	8,5	a
60 DDC	11	a	10,5	a	9,5	a
90 DDC	5,5	b	5,5	b	12	a
DMS		4,3		3,8		7,4
P		**		**		ns

En CYPES y ELEMU el IVI disminuyó conforme aumentó el PCM. Con 30 y 60 ddc el IVI en ambas especies resultó estadísticamente similar; con 90 ddc el IVI fue mínimo y estadísticamente diferente a los otros dos PCM. En el caso de PASPR el IVI fue similar durante los primero 90 días del ciclo de cultivo de maíz.

## CONCLUSIONES

No se observan relaciones precisas entre las características de los genotipos de maíz con la composición florística, densidad y biomasa de la comunidad de maleza.

La densidad de maleza más alta se registró en el tratamiento en donde la competencia se mantuvo durante 30 d. La competencia con maleza durante los primeros 30 d del cultivo no disminuyó la BT ni el RG de los híbridos, pero sí el RG del criollo.

H-50 mostró la BT y RG más altos con 30 ddc con maleza; H-57 la menor BT del estudio con 90 ddc.

La composición florística de la maleza estuvo dominada por dicotiledóneas y en específico por la familia Asteraceae. También destacó la familia Poaceae.

Las especies con mayor IVI fueron *Portulaca oleraceae* L., *Amaranthus hybridus* L. y *Simsia amplexicaulis* (Cav.) Pers.

## LITERATURA CITADA

- Baker, H. G. 1974. The evolution of weeds. *Annual Review of Ecology and Systematics* 5: 1-24.
- Begna, S.H.; R.I. Hamilton; L.M. Dwyer; D.W. Stewart; D. Cloutier; L. Assemat; K. Foroutan-pour; and D.L. Smith. 2001. Morphology and yield response to weed pressure by corn hybrids differing in canopy architecture. *European Journal of Agronomy* 14:293–302.
- Booth, B.D., S. D. Murphy and C. J. Swanton. 2003. *Weed Ecology in Natural and Agricultural Systems*. CABI Publishing, UK. 303 pp.
- Callaway, M. B. 1992. A compendium of crop varietal tolerance to weeds. *American Journal of Alternative Agriculture* 7: 169-180.
- Cardina, J.; G. Johnson y D. Sparrow. 1997. The Nature and Consequence of Weed Spatial Distribution. *Weed Science* 45(3):364-373.
- Cobb, A. H. and J. P. H. Reade. 2010. *Herbicides and Plant Physiology*. 2<sup>nd</sup> edition. Wiley-Blackwell. United Kingdom. 296 pp.
- Cox, G. 1978. *Laboratory Manual of General Ecology*. USA. Brown Company Publishers.
- Elmore, D. and P. Rex. 1983. Composite List of C<sub>4</sub> Weeds. *Weed Science* 31(5): 686-692
- Espinosa, A.; M. Tadeo; J. Lothrop; S. Azpíroz; C. Tut y Couoh y Y. Salinas. 2003. H-50, híbrido de maíz de temporal para los Valles Altos del centro de México (2200 a 2600 msnm). *Agricultura Técnica en México* 29(1): 89-92
- García, E. 2005. *Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen*. 4<sup>a</sup> Edición. Instituto de Geografía. Universidad Autónoma de México. 217 p.
- González-Andújar, J. and M. Saavedra. 2003. Spatial distribution of annual grass weed populations in winter cereals. *Crop Protection* 22(4), 629–633.

- Holm, L. G.; Plucknet, D.L.; Pancho, J.V. and Herberger, L. P., 1977. The World's worst weeds. Distribution and biology. Honolulu. The East-West Center by the University Press of Hawaii.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). 2011. Día de Campo CEVAMEX 2011. Campo Experimental Valle de México. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Texcoco, Estado de México, México. Memoria Técnica # 12. 306pp.
- Lange, O.; P. Nobel; C. Osmond and H. Sieglar. 1982. Physiological Plant Ecology II. Encyclopedia of Plant Physiology. New Series Volume 12 B. Springer-Verlag Berlin Heilderberg New York. pp. 726.
- Lorens, G.; J. Bennett and L. Loggale. 1987. Differences in drought resistance between two corn hybrids. I. Water relation and root length density. *Agronomy Journal* 79: 802-807.
- Maqbool, M.; A. Tanveer; Z. Ata and R. Ahmad. 2006. Growth and yield of maize (*Zea mays* L.) as affected by row spacing and weed competition durations. *Pak. J. Bot.* 38(4):1227-1236.
- Massinga, R. A.; R. S. Currie; M. J. Horak and J. Boyer, Jr. 2001. Interference of Palmer amaranth in corn. *Weed Science* 49: 202–208.
- Mitich, L. W. 1997. Common purslane (*Portulaca oleracea*). *Weed Science*. 11(2):394-397.
- Molina-Freaner, F.; F. Espinosa-García and J. Sarukhán-Kermes. 2008. Weed population dynamics in a rain-fed field from the Valley of México. *Agrociencia* 42(5): 499-511.
- Norsworthy, J. K. and Oliveira, M. J. 2004. Comparison of the critical period for weed control in wide- and narrow-row corn. *Weed Science* 52(5): 802-807.

- Ramírez, M. 2002. Producción de cebolla (*Allium cepa* L.) y control de maleza con residuos de girasol. Tesis de Maestría. COLPOS.
- Rao, P. and Kodandaramaiah, J. 1982. Association of chlorophyll content, phyllotaxy, photosynthesis and B group vitamins in some C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> plants. *Plant Sciences* 91(6): 495-500.
- Ripusudan, P.; G. Granados y M. Jean-Pierre. 2001. El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción. Colección FAO. Organización de las Naciones Unidas Para la Agricultura y la Alimentación. Producción y protección vegetal # 28. Roma. 371pp.
- Ritchie, S. W. and J. J. Hanway. 1982. How a corn plant develops. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service. Ames Iowa, EEUU. Special report No. 48. 21p
- Rosales R. E. y T. Medina. 2011. Manejo de malezas en cultivos básicos. En: manejo de malezas en México. Vol 1. Universidad Autónoma de Sinaloa-ASOMECEMA. Pp. 157-159.
- Sankula, S.; M. VanGessel and R. Mulford. 2004. Corn leaf as a tool for weed management in two corn production systems. *Weed Science* 52(6):1026-1033.
- Santos, B.; J. Gilreath; R. Arbona y A. Pimentel. 2005. Estadística no paramétrica para el análisis e interpretación de estudios de plagas: alternativas al análisis de varianza. *Manejo integrado de Plagas y Agroecología* 75: 83-89.
- SAS Institute. 2003. SAS/STAT user's guide Release 9.1. SAS Institute. Cary, NC, USA.
- Sellers, B. A.; R. J. Smeda; W. G. Johnson; J. A. Kendig and M. R. Ellersieck. 2003. Comparative growth of six *Amaranthus* species in Missouri. *Weed Science* 51: 329–333.
- Shrestha, A. and C. J. Swanton. 2007. Parameterization of the phenological development of select annual weeds under noncropped field conditions. *Weed Science* 55: 446–454.

- Silva, L.; M. Giorgis; M. Anand; L. Enrico; N. Pérez-Harguindeguy; V. Falczuk; L. Tieszen and M. Cabido. 2011. Evidence of shift in C<sub>4</sub> species range in central Argentina during the late Holocene. *Plant Soil* 349: 261–279
- Swanton, C. J. and S. F. Weise. 1991. Integrated weed management: the rationale and approach. *Weed Technology* 5: 657-663.
- Thomas, P. E. L. and J. C. S. Allison. 1975. Competition between maize and *Rottboellia exaltata*. *Journal of Agricultural Sciences* 84: 305-312.
- Toler, J. E.; E. C. Murdock; G. S. Stapleton and S. U. Wallace. 1999. Corn leaf orientation effects on light interception, intraspecific competition, and grain yields. *J. Prod. Agric.* 12:396–399.
- Trimble, C. and Macko, S. Stable isotope analysis of human remains: a tool for cave archaeology. *Journal of Cave and Karst Studies* 59(3): 137-142.
- Uscanga, E. M., J. Kohashi-Shibata, V. A. González y T. Nava Sánchez. 1993. Relaciones de competencia inter e intraespecífica de *Zea mays* L. y *Simsia amplexicaulis* (Cav.) Pers.: su efecto en algunos parámetros fisiológicos. *Agrociencia. Serie Fitociencia* 4(2):17-31.
- Vibrans, H. 1998. Native maize field weed communities in south-central Mexico. *Weed Research* 38: 153-166.
- Villaseñor, R.J.L. y F.J. Espinosa G. 1998. Catálogo de malezas en México. Univ. Nal. Aut. De México. Consejo Nal. Consultivo Fitosanitario. Fondo de Cultura Económica. México, D.F.
- Waller, S. and Lewis, J. 1979. Occurrence of C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> Photosynthetic Pathways in North American Grasses. *Journal of Range Management* 32(1): 12-28.

- Warwick, S. 2011. Brassicaceae in Agriculture. In: Schmidt, R. y Bandcroft, I. (eds.) Genetics and Genomics of the Brassicaceae, Plant Genetics and Genomics: Crops and Models 9, Chapter 2, DOI 10.1007/978-1-4419-7118-0\_2. Springer Science+Business Media. pp. 33-65.
- Wellhausen, E. J.; L. M. Roberts; X. E. Hernández y P. C. Mangelsdorf. 1951. Razas de Maíz en México. Su origen, características y distribución. Oficina de Estudios Especiales. Secretaría de Agricultura y Ganadería. D.F., México. Folleto Técnico No. 5. 236 p.
- Wiles L., G. Oliver, A. York, H. Gold y G. Wilkerson. 1992. Spatial Distribution of Broadleaf Weeds in North Carolina Soybean (*Glycine max*) Fields. *Weed Science* 40(4): 554-557.
- Zhang, N., Yamada, K., Suzuki, N., y Yoshida, N. 2014. Factors controlling shell carbon isotopic composition of land snail *Acusta despecta sieboldiana* estimated from laboratory culturing experiment. *Biogeosciences* 11: 5335–5348.

## CONCLUSIONES GENERALES

La dinámica de acumulación de biomasa mostró un patrón de curva sigmoidea, el IAF un patrón de polinomio de segundo grado, la  $\overline{TCC}$  un comportamiento de campana de Gauss y la  $\overline{TAN}$  una curva cuadrática.

Se encontraron diferencias estadísticas significativas por efectos del genotipo, periodos de competencia con maleza y su interacción para el IAF, la BT, el RG y sus componentes.

Libre de competencia con maleza, H-48 tuvo el ciclo de cultivo más corto (155 d a R6), la mayor DAFT, altas TAN y los RG e IC más altos del estudio.

La  $\overline{TCC}$  y la  $\overline{TAN}$  fueron afectadas por el periodo de competencia con maleza, las más altas se registraron con 30 días de competencia.

La BT más alta se presentó en el criollo Azul con 30 días de competencia. H-50 mostró el rendimiento más alto del estudio cuando el periodo de competencia con maleza fue de 30 días.

Los híbridos disminuyeron BT y RG después de 30 días de competencia con maleza, mientras el criollo Azul antes de esta fecha.

H-48 fue el genotipo más tolerante a la competencia con maleza y el criollo Azul el menos tolerante.

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la composición del dosel entre genotipos. H-48 y H-50 mostraron el coeficiente más alto de extinción de luz y radiación interceptada.

La composición del dosel tuvo influencia sobre el rendimiento de grano. Las variables morfológicas más importantes fueron el tamaño de la hoja en la que se inserta la mazorca, el IAF, el dosel semierecto y una distribución del área foliar apropiada para la filtración e intercepción de la radiación solar.

La densidad y biomasa de la maleza no fueron afectadas por la asociación con los genotipos de maíz, las diferencias se atribuyen a la distribución por conglomerados de la maleza en campo.

La composición florística de la comunidad de maleza estuvo dominada por las familias Asteraceae y Poaceae. Las especies con mayor IVI fueron *Portulaca oleraceae* L., *Amaranthus hybridus* L. y *Simsia amplexicaulis* (Cav.) Pers.