

APTITUD COMBINATORIA PARA CONTENIDO DE CLOROFILA EN LÍNEAS S₃ DE MAÍZ PARA EL BAJÍO DE MÉXICO

Janianny Hernández-Esparza, José Antonio Rangel-Lucio, Enrique Andrio-Enríquez, Mariano Mendoza-Elos, J. Guadalupe Rivera Reyes y Francisco Cervantes-Ortiz

RESUMEN

La finalidad del presente estudio fue determinar los componentes genéticos involucrados en el índice de clorofila de maíz. Para lograrlo, cinco líneas de maíces blancos con grado de endogamia S₃ fueron cruzadas para generar un dialélico completo con el método I de Griffing. Las F₁'s obtenidas y sus progenitores fueron evaluadas en dos fechas de siembra para determinar la concentración de clorofila durante el ciclo del cultivo, con el dispositivo SPAD-509, en etapa vegetativa (V6), inicio de floración (R1) y las siguientes mediciones cada 10 días a partir del estado R1. El análisis genético se desarrolló con el programa Diallel-SAS Method 1. Los resultados mostraron diferencias significativas ($p \leq 0,01$) entre genotipos para

clorofila en las distintas etapas fenológicas. Por otro lado, los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE) fueron significativos ($p \leq 0,01$) en las evaluaciones realizadas, muestra de la existencia de efectos genéticos aditivos y no aditivos involucrados en el contenido de clorofila. Los efectos recíprocos sólo se presentaron en la etapa R2. Se presentó una marcada inconsistencia entre efectos de ACG y ACE para la concentración de clorofila, ya que las líneas TNM-2 y TNM-5 presentan altos estimadores de ACG e intervienen en la mayoría de las cruces que dan altos estimadores de ACE, pero también en cruces específicas con efectos negativos.

Introducción

El incremento de la producción de maíz se ha logrado a través de estrategias que incluyen mejoramiento genético, obtención de semilla de calidad y parámetros relacionados con rendimiento de grano. Robinson y Cockerham (1965) señalan que la estimación de parámetros genéticos permite obtener información sobre la naturaleza de la acción de los genes, información básica para la utilización en programas de mejoramiento de una población, o bien, para reenfocar el mejoramiento genético de plantas.

Una forma de estimar los parámetros genéticos es por medio de diseños dialélicos propuestos por Griffing

(1956). Con ellos, es posible estimar la aptitud combinatoria general (ACG) y la aptitud combinatoria específica (ACE). La ACG ha sido definida como el comportamiento promedio de una línea en combinaciones híbridas y la ACE las combinaciones híbridas mejores o peores de lo esperado, en base al comportamiento promedio de las líneas que intervienen en el cruzamiento (Sprague y Tatum, 1942). En tal sentido, un análisis completo de la aptitud combinatoria que involucre herencia de caracteres cuantitativos y heterosis es necesario para evaluar diversos procesos de mejoramiento (Allard, 1960).

La varianza de ACG se considera un indicador del tamaño

de la acción génica aditiva; mientras que, la ACE se toma como medida de la acción génica no aditiva. En este sentido, se han reportado resultados de investigaciones para caracteres agronómicos, rendimiento y sus componentes, donde la variación genética aditiva ha sido la más importante (Brandle y McVetty, 1989; Sedhom, 1994; McGee y Brown, 1995; Wos *et al.*, 1999; Al-Naggar *et al.*, 2002; Alamnie *et al.*, 2006; Cervantes *et al.*, 2007; Hefny, 2010; Moterle *et al.*, 2012; El-Badawy, 2013; Conrado *et al.*, 2014). Sin embargo, Guerrero *et al.* (2011) encontraron efectos significativos en ACE para rendimiento y sus componentes, destacando la importancia de la acción de genes no

aditivos, mientras que Singh *et al.* (2005) afirman que ambos efectos genéticos afectan el rendimiento de maíz.

Por otro lado, uno de los caracteres relacionados con el rendimiento y del cual se han realizado pocos estudios genéticos, es la concentración de clorofila, estrechamente relacionada con la capacidad fotosintética y etapa de desarrollo del cultivo. Además, representa más del 98% de la variación de la producción primaria bruta de maíz (Gitelson *et al.*, 2008). La clorofila, en sus diversas formas, es el pigmento fotosintético primario de las plantas; su contenido está correlacionado con la concentración de nitrógeno foliar, dosis de fertilización nitrogenada y rendimiento (Lohry Shepers, 1988).

PALABRAS CLAVE / Clorofila / Componentes Genéticos / Cruzas Dialélicas / Líneas de Maíz /

Recibido: 12/11/2014. Modificado: 09/10/2015. Aceptado: 13/10/2015.

Janianny Hernández-Esparza. Estudiante de Maestría en Ciencias en Producción y Tecnología de Semillas, Instituto Tecnológico de Roque (ITRoque), México.

José Antonio Rangel-Lucio. Doctor en Ciencias en Suelos, Colegio de Posgraduados (COLPOS), México. Profesor-Investigador, Instituto Tec-

nológico de Ciudad Victoria, México.

Enrique Andrio-Enríquez. Doctor en Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), México. Profesor-Investigador, ITRoque, México.

Mariano Mendoza-Elos. Doctor en Ciencias en Fitomejoramiento, Universidad Autónoma

Antonio Narro. Profesor-Investigador, ITRoque, México.

J. Guadalupe Rivera Reyes. Doctor en Ciencias en Agrobiotecnología, Instituto Tecnológico de Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco, México. Profesor-Investigador, ITRoque, México.

Francisco Cervantes-Ortiz. Doctor en Ciencias en Producción de

Semillas, COLPOS, México. Profesor-Investigador, ITRoque, México. Dirección: Instituto Tecnológico de Roque. Km. 8 Carretera Celaya-Juventino Rosas. C.P. 38110. Guanajuato, México. e-mail: frcervantes@itroque.edu.mx

COMBINING APTITUDE FOR CHLOROPHYLL CONTENT IN MAIZE LINES S₃ FOR THE 'BAJIO' OF MEXICO

Janianny Hernández-Esparza, José Antonio Rangel-Lucio, Enrique Andrio-Enríquez, Mariano Mendoza-Elos, J. Guadalupe Rivera Reyes and Francisco Cervantes-Ortiz

SUMMARY

The goal of this study was to determine the genetic components involved in the maize chlorophyll index. To achieve this, five lines of white maize inbreeding with S₃ were crossed to generate a complete diallel with Griffing's Method I. The F₁'s obtained and their parents were evaluated in two planting dates to determine chlorophyll concentrations in the crop cycle using the SPAD-509 device, at vegetative stage (V6), early flowering (R1) and for 10 days thereafter. Genetic analysis was performed with the SAS Diallel Method-1 program. The results showed significant differences ($p \leq 0.01$) between genotypes for chlorophyll

at the different phenological stages. Furthermore, the effects of general combining ability (GCA) and specific combining ability (SCA) were significant ($p \leq 0.01$) in the assessments made, showing the existence of additive and non-additive genetic effects involved in chlorophyll content. Reciprocal effects were only present at the R2 stage. Strong inconsistency between GCA and SCA effects for chlorophyll concentration was observed, since the TNM-2 and TNM-5 lines have high GCA estimates and are involved in most of the crosses that lead to high ACE estimates, but also in crossings with negative effects.

COMBINAÇÃO DE ADEQUAÇÃO PARA CONTEÚDO DE CLOROFILA NAS LINHAS DE MILHO S₃ PARA O 'BAJÍO' DO MÉXICO

Janianny Hernández-Esparza, José Antonio Rangel-Lucio, Enrique Andrio-Enríquez, Mariano Mendoza-Elos, J. Guadalupe Rivera Reyes e Francisco Cervantes-Ortiz

RESUMO

O objectivo do teste foi determinar os componentes genéticos envolvidos no índice de clorofila do milho. Para alcançar este objectivo, cinco linhas de milho branco com endogamia S₃ foram cruzados para gerar um dialélica completa com o Método I Griffing. O F₁ da obtida e seus pais foram avaliados em duas épocas de semeadura para determinar a concentração de clorofila no ciclo da cultura, com aparelho SPAD-509, na fase vegetativa (V6), floração precoce (R1) e após 10 dias de estado R1. A análise genética foi realizada com SAS dialélica programa Método-1. Os resultados mostraram diferenças significativas ($p \leq 0,01$) entre genótipos para clorofila em diferentes

fases fenológicas. Além disso, os efeitos da capacidade geral de combinação (CGC) e capacidade específica de combinação (CEC) foram significativos ($p \leq 0,01$) nas avaliações realizadas, mostra a existência de efeitos aditivos e não aditivos envolvidos no conteúdo de clorofila. Efeitos recíprocos só foram apresentados na fase R2. Forte inconsistência entre CGC e CEC efeitos para a concentração de clorofila foi apresentada; desde os TNM-2 e TNM-5 linhas têm altas estimativas de CGC e estão envolvidos na maioria dos cruzamentos que dão estimativas mais elevadas de CEC, mas também em cruzamentos com efeitos negativos.

El maíz de origen tropical tiene un potencial de rendimiento alto asociado con mecanismos fotosintéticos eficientes (López, 1990). Sainz y Echeverría (1998) señalan que existe una estrecha asociación entre contenido de nitrógeno y clorofila en hojas de maíz; en consecuencia, el estado nutricional del cultivo puede ser evaluado a través del contenido de clorofila de la hoja. Estos autores afirman que los valores óptimos de contenido de clorofila (en unidades SPAD) se ubican entre 51 y 61 a partir de la etapa fenológica V6, lo que permite alcanzar 95% del rendimiento potencial de híbridos comerciales de maíz.

La estimación del contenido de clorofila en maíz a través de un análisis dialélico mostró diferencias significativas para

ACG, ACE y efectos recíprocos (ER), aunque los dos primeros resultaron de mayor magnitud (Li *et al.*, 2014), al tiempo que hubo de consistencia entre valores ACG de las líneas y los efectos de ACE. Además los autores afirman que los efectos de genes aditivos fueron más importantes que los de dominancia y postulan heredabilidad intermedia para ésta característica.

Con base en lo anterior, la finalidad de éste estudio fue determinar los componentes genéticos involucrados en la concentración de clorofila de líneas S₃, sus cruza directas y recíprocas, durante el ciclo del cultivo de maíz. La hipótesis de trabajo fue que el contenido de clorofila en maíz está determinado por efecto de genes aditivos y no aditivos.

Materiales y Métodos

Cinco líneas de maíces blancos con grado de endogamia S₃, derivadas del programa de mejoramiento del Instituto Tecnológico de Roque (ITR; Tabla I), fueron cruzadas para generar un dialélico completo que incluyó cruza directas, recíprocas y progenitores (Método I de Griffing, 1956).

Los cruzamientos se realizaron durante el ciclo primavera-verano 2013 en el campo experimental del ITR; al mismo tiempo se incrementaron las líneas que dieron origen a 25 genotipos, 10 cruza directas, 10 cruza recíprocas y 5 progenitores. Las F₁'s obtenidas y sus progenitores fueron evaluadas en el ITR, localizado en Celaya, Guanajuato, México, en

TABLA I
ORIGEN Y CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS
DE LAS LÍNEAS DE MAÍZ UTILIZADAS
EN EL DISEÑO DE CRUZAS DIALÉLICAS

Nº	Línea	Grupo heterótico	Procedencia	AP (m)	AM (m)	Floración (días)
1	TNM-1	Subtropical	Pob. F ₂ (DK2042)	1,79	0,86	79
2	TNM-2	Subtropical	Pob. F ₂ (DK2027)	2,03	0,94	75
3	TNM-3	Subtropical	Pob. F ₂ (P3030W)	1,97	1,04	77
4	TNM-4	Subtropical	Pob. F ₂ (Caimán)	1,99	0,89	77
5	TNM-5	Subtropical	Variedad Roque	2,24	1,27	73

AP y AM: altura de planta y mazorca, Pob.: población.

20°32'05"N y 100°50'00"O, y a 1752msnm. El clima es semicálido con precipitación pluvial media anual de 400-700mm. El régimen térmico es de 18-20°C y el suelo es migajón-arcilloso.

La siembra se realizó en dos fechas, 18/03/2014 y 28/05/2014. En ambas fechas se empleó un diseño de bloques completamente al azar con tres repeticiones. La unidad experimental se conformó por dos surcos de 0,75m de separación y 5m de largo. La siembra fue manual con depósito de una semilla cada 16cm, lo que originó una densidad de 80000 plantas/ha. En banda se aplicó la dosis de fertilización 240-60-60: 50% del N, todo el P y el K al momento de la siembra; la otra mitad del N 40 días después de la siembra (dds). El agua se aplicó con el riego por gravedad conducido a la parcela con tubos PVC de compuertas; en la primera fecha de siembra se suministraron cuatro riegos de auxilio y tres en la segunda. El control de malezas se hizo con 4l·ha⁻¹

de Atrazina (25%) y Metolachlor (25%) en etapa V6 y dos escardas mecánicas (20 y 40 dds). Por otro lado, al inicio del cultivo la presencia de trips fue controlada con 0,5l·ha⁻¹ de Dimetoato; posteriormente se aplicó 1l·ha⁻¹ de Cipermetrina para controlar gusano cogollero (*Spodoptera fugiperda* J.E. Smith; Lepidoptera: Noctuidae).

Durante el ciclo del cultivo se realizaron cuatro determinaciones de clorofila (Tabla II) con el dispositivo manual SPAD-509: etapa vegetativa (V6) a ~50 dds, al inicio de floración femenina (R1) y otras dos (R2 y R3) a intervalos de 10 días después de iniciada la floración femenina. Estas determinaciones se llevaron cabo, en unidades SPAD, en dos plantas con competencia completa por unidad experimental. Se hicieron tres mediciones en tres zonas de la hoja/planta: basal, media y apical, y se obtuvo un promedio. La primera determinación se hizo en la sexta hoja y en la hoja de la mazorca principal, al inicio de floración.

El análisis de varianza para calcular aptitud combinatoria general (ACG), la aptitud combinatoria específica (ACE) y los efectos recíprocos (ER) se hizo de acuerdo con el método I de Griffing (1956) mediante el programa Diallel-SAS Method I (Zhang y Kang, 2003).

Resultados y Discusión

En la Tabla III se muestra el análisis de varianza para concentración de clorofila realizado en diferentes etapas fenológicas del cultivo (V6, R1, R2 y R3) el cual reveló diferencias estadísticas significativas entre los genotipos ($p \leq 0,01$). Esta respuesta podría ser debida a la naturaleza diversa de las líneas seleccionadas para obtener las cruces y como posible respuesta del metabolismo de nitrógeno y otros nutrimentos relacionados con la estructura de la clorofila en las diversas etapas de crecimiento. Por otro lado, los efectos de ACG y ACE fueron significativos ($p \leq 0,01$) en las diversas evaluaciones; sin embargo, los efectos recíprocos (ER) sólo fueron significativos ($p \leq 0,05$) en la etapa R2 de la planta. Estos resultados indican que efectos genéticos aditivos y no aditivos están involucrados en este carácter. Lo anterior señala igualmente que es muy importante la selección del progenitor femenino debido a que hay respuesta diferente dependiendo de la posición de este último. También, el efecto de la fecha de siembra (E) modificó estadísticamente ($p \leq 0,01$) las evaluaciones clorofílicas realizadas. La cantidad y calidad de la luz es mayor en estación de primavera, situación que pudo haber influido en la respuesta estadística diferente entre líneas y fenología del maíz.

Las interacciones G×E, ACE×E y ER×E no modificaron la expresión de la clorofila en alguna medición. Sin embargo, la interacción ACG×E afectó estadísticamente la

clorofila en las etapas V6, R2 y R3 de los genotipos de maíz.

La significancia estadística de ACG y ACE indica la existencia de efectos genéticos aditivos y dominantes involucrados en esta característica, también encontrada en el rendimiento de grano de maíz (Ajala y Fakorade, 1988).

Los cuadrados medios de los efectos de ACG fueron mayores que los obtenidos en ACE para mediciones de clorofila (Tabla III), lo que explica la importancia de los efectos de genes aditivos en este pigmento fotosintético, al igual que la respuesta encontrada por Li *et al.* (2014) en líneas de maíz. Del mismo modo, estos resultados coinciden con los de El-Badawy (2013), quien encontró que los efectos aditivos fueron más importantes que los no-aditivos y que esta información puede ser útil para los mejoradores de maíz. Sin embargo, difieren de los hallazgos de Kanagasuru *et al.* (2010), quienes reportaron que la varianza de la ACE fue mayor que la de ACG en caracteres de rendimiento y sus componentes en un grupo de líneas y tres probadores.

En este estudio, las líneas de maíz con el estimador más alto de ACG fueron TNM-2, obtenido de la medición de clorofila realizada en etapa V6, TNM-5 en la fase de crecimiento R2 y TNM-4 en R3 (Tabla IV). Situación contraria ocurrió con las líneas de maíz TNM-3 y TNM-1 al presentar el peor comportamiento, con estimadores negativos.

Con relación a los valores promedios de contenido de clorofila (Figura 1), se puede apreciar que la línea TNM-5

TABLA II
DETERMINACIÓN DE CLOROFILA EN CUATRO ETAPAS FENOLÓGICAS DEL MAÍZ

Lectura	Momento	Etapas fenológica	Descripción
1 ^a	50 dds	V6	Sexta hoja desarrollada
2 ^a	Inicio floración (IF)	R1	Emergencia de estigmas
3 ^a	IF + 10 días	R2	Grano en ampolla (fluido claro)
4 ^a	IF + 20 días	R3	Grano lechoso (fluido blanco lechoso)

TABLA III
CUADRADOS MEDIOS PARA APTITUD COMBINATORIA GENERAL, APTITUD COMBINATORIA ESPECÍFICA Y EFECTOS RECÍPROCOS AL EVALUAR CONCENTRACIÓN DE CLOROFILA EN LÍNEAS DE MAÍZ ESTABLECIDAS EN DOS FECHAS DE SIEMBRA. CICLO P-V

Fuente de variación	gl	V6	R1	R2	R3
Genotipo (G)	24	53,90**	42,32**	49,06**	29,73**
ACG	4	113,16**	107,86**	91,37**	43,96**
ACE	10	68,21**	48,39**	57,72**	37,75**
ER	10	15,89ns	10,04ns	23,47*	16,03ns
Fecha de siembra (E)	1	1263,53**	869,52**	182,71**	1099,17**
G×E	24	52,23ns	11,51ns	15,89ns	14,59ns
ACG×E	4	120,89**	17,77ns	37,22*	24,70*
ACE×E	10	27,24ns	11,53ns	5,52ns	18,21ns
ER×E	10	7,70ns	8,98ns	17,43ns	6,93ns
CV (%)	-	10,31	6,20	6,49	6,12

*, ** Significativo al 5 y 1% de probabilidad. ns: no significativo. V6, R1, R2 y R3 corresponden a las etapas fenológicas en las que se realizaron las determinaciones de clorofila.

TABLA IV
EFECTOS DE ACG PARA CLOROFILA EN CUATRO ETAPAS FENOLÓGICAS DE LÍNEAS DE MAÍZ

Línea	V6	R1	R2	R3
TNM-1	-0,01	-0,01	-0,03	-0,12
TNM-2	1,51**	1,51**	-0,22	-0,17
TNM-3	-1,97**	1,97**	-1,78**	-1,28**
TNM-4	-0,42	-0,42	0,41	0,82*
TNM-5	0,90	0,90	1,63**	0,75*

*, ** Significativo al 5 y 1% de probabilidad. V6, R1, R2 y R3 corresponden a las etapas fenológicas en las que se realizaron las mediciones de clorofila.

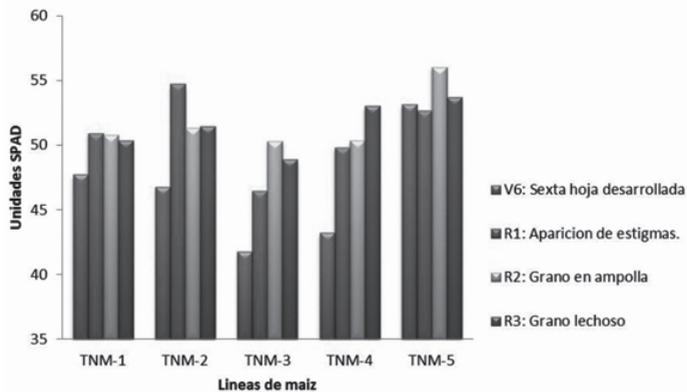


Figura 1. Promedio de contenido de clorofila en cinco líneas S₃ de maíz en diferentes etapas fenológicas.

mostró los valores más altos para todas las mediciones realizadas (52, 51, 56 y 53 unidades SPAD), mientras que la línea TNM-3 presentó el peor comportamiento con valores de 42, 45, 50 y 48, respectivamente, por medición. Estos resultados son consistentes con lo mencionado anteriormente acerca del comportamiento de las líneas con respecto a sus estimadores genéticos.

En términos generales, en las proporciones de los estimadores de los efectos de la ACE positivos y negativos para esta característica, fueron de 80 a 90% mayores los valores positivos. La cruzada TNM-1×TNM-2 fue consistente con un alto

estimador para el contenido de clorofila en estado vegetativo V6. En estado R1, sobresalen las cruza TNM-2×TNM-4, TNM-1×TNM-5, TNM-3×TNM-5 y TNM-3×TNM-4 con estimadores superiores y significativos. Para el índice de clorofila obtenido de la etapa de desarrollo R2, las cruza TNM-2×TNM-4, TNM-1×TNM-3 y TNM-1×TNM-5 sobresalen con el más alto estimador. Finalmente, las cruza TNM-2×TNM-3 y TNM-3×TNM-5 presentaron estimadores negativos para la mayoría de los estados fenológicos de evaluación (Tabla V).

TABLA V
EFECTOS DE ACE PARA CONTENIDO DE CLOROFILA EN ETAPAS FENOLÓGICAS EN HÍBRIDOS SIMPLES DE MAÍZ

Cruza	V6	R1	R2	R3
TNM-1×TNM-2D	2,65*	0,20	-0,21	0,29
TNM-1×TNM-3D	1,34	0,60	1,90*	2,52**
TNM-1×TNM-4D	0,05	0,49	0,27	0,16
TNM-1×TNM-5D	-2,12*	1,85*	1,56*	0,64
TNM-2×TNM-3D	0,91	-0,04	-0,88	-0,34
TNM-2×TNM-4D	1,43	2,15**	2,98**	1,28
TNM-2×TNM-5D	0,28	0,09	0,68	1,25
TNM-3×TNM-4D	1,93	1,34*	1,04	0,95
TNM-3×TNM-5D	0,34	1,83*	-1,16	-0,32
TNM-4×TNM5-D	0,93	-0,54	0,93	0,47
TNM-1×TNM-2R	-1,40	-0,06	-1,44	0,40
TNM-1×TNM-3R	1,68	0,48	0,90	-0,79
TNM-1×TNM-4R	1,27	1,68*	3,83**	2,71**
TNM-1×TNM-5R	0,63	0,62	0,49	0,24
TNM-2×TNM-3R	-0,02	0,75	-0,80	-0,78
TNM-2×TNM-4R	2,12	1,42	0,49	-0,12
TNM-2×TNM-5R	0,02	-0,02	-0,08	0,94
TNM-3×TNM-4R	-0,19	0,07	0,60	-1,63*
TNM-3×TNM-5R	1,31	1,02	0,18	0,82
TNM-4×TNM-5R	0,34	-1,10	0,62	-0,51

*, ** Significativo al 5 y 1% de probabilidad. V6, R1, R2 y R3 corresponden a las etapas fenológicas en las que se realizaron las determinaciones de clorofila. D: cruza directa, R: cruza recíproca.

Los valores promedios en la concentración de clorofila en las cuatro mediciones realizadas para las cruza directa se muestran en la Figura 2, donde se puede apreciar que las cruza TNM-2×TNM-4 y TNM-2×TNM-5 presentaron las más altas concentraciones de clorofila en la medición realizada en etapa V6; en estado R1, TNM-1×TNM-5 y TNM-2×TNM-4 superan las 57 unidades del índice de clorofila. En estado R2 las cruza directa TNM-1×TNM-4, TNM-1×TNM-5, TNM-2×TNM-4 y TNM-4×TNM-5 presentan los valores promedios más altos, con 58 unidades SPAD de clorofila. Finalmente, en estado R3 (estado de grano lechoso) sobresalen las cruza TNM-1×TNM-4, TNM1×TNM-5, TNM-2×TNM-4 y TNM-2×TNM-5.

Del mismo modo, en las cruza recíproca (Tabla V) se observa una mayor proporción de estimadores positivos (70%) que negativos en las primeras tres etapas de mediciones de clorofila (V6, R1 y R2). Sin embargo, en R3 la expresión de estimadores positivos y negativos es equitativo (50%). Por otro lado, la cruzada recíproca TNM-1×TNM-4 presentó estimadores positivos y significativos en estado R1, R2 y R3 para el contenido de clorofila. Caso contrario es observado para las cruza recíproca TNM-1×TNM-2, TNM-2×TNM-3, TNM-2×TNM-5 y TNM-4×TNM-5 con estimadores negativos en la mayoría de los estados vegetativos donde se registró el índice de clorofila.

Con respecto a los promedios de unidades SPAD de

clorofila de las cruza recíproca, que muestra que TNM-4×TNM-1, TNM-5×TNM-1, TNM-4×TNM-2 y TNM-5×TNM-2 sobresalen con los valores más altos en las mediciones realizadas en estado reproductivo. En cambio, la cruzada TNM-2×TNM-1 rebasó las 54 unidades de clorofila en estado vegetativo V6, siendo superior a todas las demás (Figura 3).

Como se puede observar, no existe consistencia entre los efectos de ACG y ACE para esta característica, ya que las líneas con la mayor ACG fueron la TNM-2 y TNM-5 y estas intervienen en la mayoría de las cruza que arrojan resultados altos en ACE, así como efectos de ACE negativos. Estos resultados coinciden con los reportados por Gómez *et al.* (1988), quienes encontraron cruza con altos efectos de ACE donde al menos interviene una línea de alta ACG para rendimiento en maíz. También se pueden observar grandes diferencias entre las cruza para esta característica, lo que indica que estos no pueden ser predichos con los valores de ACG de los progenitores en maíz (Baker, 1978; Li *et al.*, 2014).

Los estudios de diferencias entre cruza directa y recíproca para caracteres agronómicos de importancia económica pueden ayudar a los mejoradores a tomar decisiones en las estrategias a seguir en un programa de mejoramiento (Hansen y Baggett, 1977). Las diferencias entre cruza recíproca en algunos caracteres agronómicos ha sido reportado

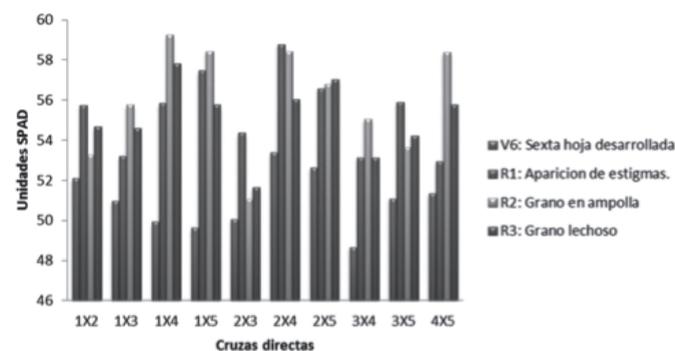


Figura 2. Promedio de unidades SPAD de clorofila para cruza directa de maíz en diferentes etapas fenológicas.

en varios estudios en maíz (Melchinger *et al.*, 1985; Revilla *et al.*, 1999; Ordás *et al.*, 2008).

En este estudio se presentaron efectos recíprocos únicamente para la medición de clorofila en etapa R2. La razón de las diferencias de las cruzas recíprocas puede ser debido a que la clorofila que existe en los cloroplastos del citoplasma es de herencia citoplasmática (materna). Estos resultados coinciden con lo reportado por Li *et al.* (2014).

Finalmente, al comparar los promedios obtenidos de índice de clorofila para cruzas directas y recíprocas (Figura 2 y 3), en estado V6 solo la cruz recíproca TNM-2×TNM-1 superó a la cruz directa. En R1 lo hizo TNM-5×TNM-4 y con una diferencia mínima TNM-2×TNM-1. En etapa R2 nuevamente TNM-2×TNM-1 y TNM-3×TNM-2 superaron a la cruz directa; finalmente, en etapa R3 las cruzas recíprocas TNM-3×TNM-2, TNM-4×TNM-3 y TNM-5×TNM-4 presentaron efectos recíprocos superiores. Por último, en las Figuras 2 y 3, se observa que la mayoría de los híbridos (cruzas directas y recíprocas) superan las 51 unidades SPAD y, respecto a lo señalado por Sainz y Echeverría (1998), estos genotipos tienen alto potencial para rendimiento de campo.

Conclusiones

La característica de contenido de clorofila estuvo determinada principalmente por los efectos de ACG en todas las etapas fenológicas estudiadas; aunque

también los efectos de ACE y ER fueron significativos. La fecha de siembra (ambiente) modificó estadísticamente esta característica, mientras que la mayoría de las interacciones no mostraron cambio.

Las líneas TNM-2 y TNM-5 mostraron la mayor ACG, aunque no hay consistencia entre las líneas con mayor ACG y las más altas combinaciones híbridas.

Finalmente, todas las cruzas específicas superan las 51 unidades SPAD de clorofila, por lo que estos genotipos presentan un alto potencial productivo.

REFERENCIAS

Ajala SO, Fakorede MA (1988) Inheritance of seedling vigor and its association with mature plant traits in maize populations at two levels of breeding. *Maydica* 33: 121-129.

Alamnie A, Wali MC, Salimath PM, Jagadeesha RC (2006) Combining ability and heterosis for grain yield and ear characters in maize. *Karnataka. J. Agric. Sci.* 19: 13-16.

Allard RW (1960) *Principles of Plant Breeding*. Wiley. Nueva York, EEUU. 485 pp.

Al-Naggar AM, Radwam MS, Atta MM (2002) Analysis of diallel crosses among ten maize populations differing in drought tolerance. *Egypt. J. Plant Breed.* 6: 179-198.

Baker RJ (1978) Issues in diallel analysis. *Crop Sci.* 18: 533-536.

Brandle JE, McVetty PB (1989) Heterosis and combining ability in hybrids derived from oilseed rape cultivars and inbred lines. *Crop Sci.* 29: 1191-1195.

Cervantes OF, García DSG, Carballo CA, Bergvinson D, Crossa JL,

Mendoza EM, Moreno ME (2007) Herencia del vigor de plántula y su relación con caracteres de planta adulta en líneas endogámicas de maíz tropical. *Agrociencia* 41: 425-433.

Conrado TV, Scapim CA, Bignoto LS, Pinto RJB, Freitas ILJ, Amaral AT, Pinheiro AC (2014) Diallel analysis of corn for special use as corn grits: determining the main genetic effects for corn gritting ability. *Genet. Molec. Res.* 13: 6548-6556.

El-Badawy ME (2013) Heterosis and combining ability in maize using diallel crossed among seven new inbred lines. *Asian J. Crop Sci.* 5: 1-13.

Gitelson AA, Vina A, Masek JG, Verma SB, Suyker AE (2008) Synoptic monitoring of gross primary productivity of maize using Landsat data. *IEEE Geosci. Rem. Sens. Lett.* 5: 1-13.

Gómez MN, Valdívila RB, Mejía AH (1988) Dialélico integrado con líneas de diferente programa de maíz para la región cálida. *Rev. Fitotec. Mex.* 11: 103-120.

Griffing BJ (1956) Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Aust. Biol. Sci.* 9: 463-493.

Guerrero C, Espinoza A, Palomo A, Gutiérrez E, Zermeño H, González MP (2011) Aptitud combinatoria del rendimiento y sus componentes en dos grupos de líneas de maíz. *Agron. Mesoamer.* 22: 257-267.

Hansen LA, Baggett JR (1977) Reciprocal differences for plant and ear characteristics in sweet corn. *Hort. Sci.* 12: 60-62.

Hefny M (2010) Genetic control of flowering traits, yield and its components in maize (*Zea mays* L.) at different sowing dates. *Asian J. Crop Sci.* 2: 236-249.

Kanagarasu S, Nallathambi G, Ganesan KN (2010) Combining ability analysis for yield and its component traits in maize (*Zea mays* L.). *E- J. Plant Breed.* 1: 915-920.

Li H, Jihua T, Yanmin H, Jiwei Y, Zonghua L (2014) Analysis on combining ability and estimation of genetic parameters for chlorophyll content in maize. *China. J. Plant Breed. Crop Sci.* 6(8): 97-104.

Lohry RD, Schepers JS (1988) Chlorophyll leaf nitrogen and yield relationships of irrigated corn in Nebraska. En *Agronomy Abstracts*. American Society of Agronomy. Madison, WI, EEUU. p. 241.

López BL (1990) *Cultivos Herbáceos. Vol. 1 Cereales*. Mundi Prensa. Madrid, España. 539 pp.

McGee KP, Brown J (1995) Investigation of F1 hybrids performance in fall- and spring-planted canola. *Proc. 9th Int. Rapeseed Conf.* Cambridge, RU. pp. 116-118.

Melchinger AE, Geiger HH, Schnell FW (1985) Reciprocal differences in single-cross hybrids and their F₂ and back-cross progenies in maize. *Maydica* 30: 395-405.

Moterle LM, Braccini AL, Scapim CA, Pinto RJB, Goncaves LSA, Do Amaral Junior AT, Silva TRC (2011) Combining ability of tropical maize lines for seed quality and agronomic traits. *Genet. Molec. Res.* 10: 2268-2278.

Ordás B, Malvar RA, Ordás A, Revilla P (2008) Reciprocal differences in sugary x sugary enhancer sweet hybrids. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 133: 777-782.

Revilla P, Butrón A, Malvar RA, Ordás A (1999) Relationships among kernel weight, early vigor, and growth in maize. *Crop Sci.* 39: 654-658.

Robinson HF, Cockerham CC (1965) Estimación y significado de los parámetros genéticos. Trad. por M. Gutiérrez Gutiérrez. *Fitotec. Latinoamer.* 2: 23-38.

Sainz RH, Echeverría HE (1998) Relación entre las lecturas del medidor de clorofila (Minolta SPAD 502) en distintos estadios del ciclo del cultivo de maíz y el rendimiento en grano. *Argentina. Rev. Fac. Agron. La Plata* 103: 37-44.

Sedhom SA (1994) Genetic analysis or diallel analysis crosses in maize (*Zea mays* L.) over two years. *Egypt. Ann. Agric. Sci. Moshtohor J.* 32: 95-107.

Singh SK, Haider ZA, Ram S (2005) Combining ability and heterosis for seed yield and its components in Indian mustard (*Brassica juncea*). *Ind. J. Agric. Sci.* 75: 228-229.

Sprague GF, Tatum LA (1942) General vs specific combining ability in single crosses of corn. *J. Am. Soc. Agron.* 34: 923-932.

Wos H, Bartkowiak-Broda, Budzianowski G, Krzymanski J (1999) Breeding of winter and spring oilseed rape hybrids at Malyszyn. *Proc 10th Int Rapeseed Conf.* Canberra, Australia. pp. 26-29.

Zhang Y, Kang MS (2003) Diallel-SAS: A program for Griffing's diallel methods. En Kang MS (Ed.) *Handbook of Formulas and Software for Plant Geneticists and Breeders*. Food Products Press. Nueva York, EEUU. pp. 1-19.

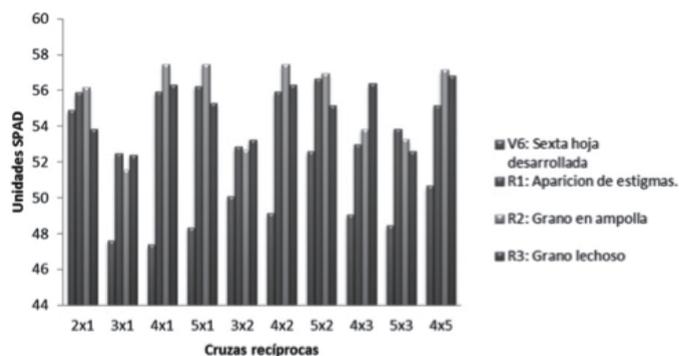


Figura 3. Promedio de unidades SPAD de clorofila para cruzas recíprocas en maíz en diferentes etapas fenológicas.