



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA

INSTITUTO DE HORTICULTURA

EFFECTOS GENÉTICOS, HETEROSIS Y RENDIMIENTO
EN CALABACITA (*Cucurbita pepo* L.) TIPO GREY
ZUCCHINI

CÉSAR SÁNCHEZ HERNÁNDEZ

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE

DOCTOR EN CIENCIAS EN HORTICULTURA



DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXÁMENES PROFESIONALES

CHAPINGO, ESTADO DE MÉXICO JUNIO 2010

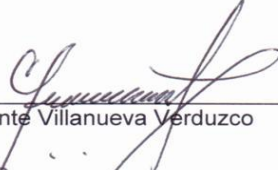


EFFECTOS GENÉTICOS, HETEROSIS Y RENDIMIENTO EN CALABACITA
(*Cucurbita pepo* L.) TIPO GREY ZUCCHINI

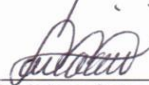
Tesis realizada por **César Sánchez Hernández** bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

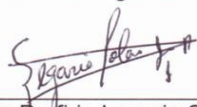
DIRECTOR:


Dr. Clemente Villanueva Verduzco

ASESOR:


Ph.D. Jaime Sahagún Castellanos

ASESOR:


Dr. Juan Porfirio Legaria Solano

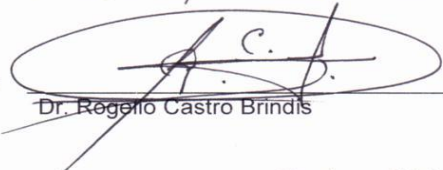
ASESOR:


Dr. Juan Martínez Solís

ASESOR:


Dr. Miguel Ángel Sánchez Hernández

REVISOR EXTERNO:


Dr. Rogelio Castro Brindis

Chapingo, México. Junio de 2010

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico brindado durante la realización de mis estudios de doctorado.

A la Universidad Autónoma Chapingo y en especial al Programa de Doctorado en Ciencias en Horticultura del Departamento de Fitotecnia, por darme la oportunidad de continuar con mis estudios de posgrado y lograr una meta más en mi vida.

Al Dr. Clemente Villanueva Verduzco por la dirección del trabajo de investigación, porque siempre ha sido una excelente persona y por sus consejos para superarme cada día más.

Al Ph.D. Jaime Sahagún Castellanos por la revisión, aportaciones y sugerencias para mejorar el trabajo de investigación.

A los Doctores Juan Porfirio Legaria Solano, Juan Martínez Solís y Miguel Ángel Sánchez Hernández por la culminación de este proyecto.

Al Dr. Rogelio Castro Brindis por su valiosa aportación como revisor externo.

A los técnicos Maximino Ramírez Ayala y Agustín Carrillo Solano por su valioso apoyo en la fase de campo.

DEDICATORIA

A mis padres: Lorenzo Sánchez Bandala y Rosa Hernández Osorio por darme la oportunidad de conocer la vida, aconsejarme y guiarme en los momentos difíciles, esperando que este logro sea una satisfacción para ellos.

A mi tía Genoveva por el gran apoyo que siempre me ha brindado y sus consejos para ser cada día una mejor persona.

A mis hermanos: Pablo, Babys, Lourdes, Rosario, Renato, Claudia América, Miguel Ángel y Carmen. Porque juntos formamos parte de una gran familia, a ellos con afecto.

A mis sobrinos: Yesenia, Karen, Arlette Jaquelline, Fernando, Renato, Iridian, Leonardo Brayan, Samira, Cristian, Galilea, Claudia Itzel, Sherlyn, Renato, Leonel, Gabael, Ángel Gael y Edwin.

A mi novia Feli López Cruz por los momentos agradables que hemos pasado durante mi estancia en la UACH.

A mis compañeros de la generación 2006-2008 y en especial a Erik R. Navarro López, Lourdes Cerón González, Luis Enrique Espinoza Torres, Alejandro Manelik García López y Alonso Méndez.

A mi compadre Jim del C. Luna Sánchez y su esposa Monserrat Ramírez Espinosa.

Sinceramente

César Sánchez Hernández

DATOS BIOGRÁFICOS

El autor del presente trabajo de investigación es Ingeniero Agrónomo Especialista en Fitotecnia, realizó sus estudios en la Universidad Autónoma Chapingo durante el periodo de 1994-2001. El tema de tesis con el cual obtuvo el título de Ingeniero fue **Oportunidad de cosecha, métodos de trilla, almacenamiento y calidad fisiológica en semilla de frijol** (*Phaseolus vulgaris* L.).

Durante 2001 trabajó para el Centro Regional Universitario de Oriente (CRUO) de Huatusco, Veracruz perteneciente a la Universidad Autónoma Chapingo, misma que fue comisionada para realizar el censo cafetalero en el Estado de Oaxaca. Ingresó a la Maestría en Ciencias en Horticultura en Enero de 2003. El tema de tesis con el cual obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en Horticultura fue **Incremento *In vitro* y Caracterización de Genotipos Avanzados de Calabaza** (*Cucurbita pepo* L.).

En enero de 2006 ingresó al programa de Doctorado en Ciencias en Horticultura en el Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo.

ÍNDICE

ÍNDICE DE CUADROS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN GENERAL.....	x
GENERAL ABSTRACT.....	xi
1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
2. EFECTOS DE APTITUD COMBINATORIA EN HÍBRIDOS DE CALABACITA (<i>Cucurbita pepo</i> L.) TIPO GREY ZUCCHINI.....	13
2.1 Resumen.....	13
2.2 Abstract.....	15
2.3 Introducción.....	16
2.4 Materiales y Métodos.....	18
2.5 Resultados y Discusión.....	24
2.6 Conclusiones.....	36
2.7 Literatura Citada.....	37
3. HETEROSIS EN HÍBRIDOS DE CALABACITA (<i>Cucurbita pepo</i> L.) TIPO GREY ZUCCHINI.....	39
3.1 Resumen.....	39
3.2 Abstract.....	41
3.3 Introducción.....	42
3.4 Materiales y Métodos.....	44
3.5 Resultados y Discusión.....	48
3.6 Conclusiones.....	61
3.7 Literatura Citada.....	62
4. ANÁLISIS DE CRECIMIENTO Y PRODUCTIVIDAD EN HÍBRIDOS DE CALABACITA (<i>Cucurbita pepo</i> L.) TIPO GREY ZUCCHINI.....	64
4.1 Resumen.....	64
4.2 Abstract.....	65
4.3 Introducción.....	66
4.4 Materiales y Métodos.....	68
4.5 Resultados y Discusión.....	70
4.6 Conclusiones.....	82
4.7 Literatura Citada.....	83
5. DISCUSIÓN GENERAL.....	84
6. CONCLUSIONES GENERALES.....	91
7. LITERATURA CITADA GENERAL.....	92

ÍNDICE DE CUADROS	Pag.
Cuadro 1. Híbridos comerciales de calabacita tipo 'Grey Zucchini' utilizados como progenitores de cruas dialélicas. Chapingo, México. 2007.....	19
Cuadro 2. Análisis de varianza del diseño dialélico, Método I Modelo II de Griffing (Martínez, 1983).....	22
Cuadro 3. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado de cruas dialélicas para siete caracteres en ocho híbridos de calabacita tipo 'Grey Zucchini'. Chapingo, México. 2007.....	27
Cuadro 4. Estimación de componentes de varianza en siete caracteres de cruas dialélicas de Calabacita. Chapingo, México. 2007.....	29
Cuadro 5. Análisis de los progenitores según su ACG y comportamiento genético a través de sus cruas en promedio de ambientes. Chapingo, México. 2007.....	31
Cuadro 6. Estructura genética y grado promedio de dominancia ($\bar{a}$) en promedio de ambientes para rendimiento de calabacita de 56 cruas dialélicas. Chapingo, México. 2007.....	33
Cuadro 7. Efectos maternos de ocho híbridos comerciales progenitores de cruzamientos dialélicos en calabacita tipo Grey Zucchini. Chapingo, México. 2007.....	34
Cuadro 8. Híbridos comerciales de calabacita tipo 'Grey Zucchini' utilizados como progenitores de cruas dialélicas. Chapingo, México. 2007.....	44
Cuadro 9. Cuadrados medios del análisis de varianza en siete caracteres de ocho híbridos de calabacita y sus 28 cruas posibles (Modelo II de Gardner y Eberhart, 1966). Chapingo, México. 2007.....	50
Cuadro 10. Rendimiento por planta (RPP g.planta ⁻¹) para progenitores (diagonal), híbridos (arriba de la diagonal), heterosis específica (S_{ij}) (debajo de la diagonal), heterosis varietal (h_j) y promedio de los híbridos de ocho progenitores de calabacita. Chapingo, Méx. 2007.....	56
Cuadro 11. Frutos por planta (FPP) para progenitores (diagonal), híbridos (arriba de la diagonal), heterosis específica (S_{ij}) (debajo de la diagonal),	

heterosis varietal (h_j), y promedio de los híbridos de ocho progenitores de calabacita. Chapingo, Méx. 2007.....	56
Cuadro 12. Largo de fruto (LFR, cm) para progenitores (diagonal), híbridos (arriba de la diagonal), heterosis específica (S_{ij}) (debajo de la diagonal), heterosis varietal (h_j) y promedio de los híbridos de ocho progenitores de calabacita. Chapingo, Méx. 2007.....	57
Cuadro 13. Ancho de fruto (AFR, cm) para progenitores (diagonal), híbridos (arriba de la diagonal), heterosis específica (S_{ij}) (debajo de la diagonal), heterosis varietal (h_j) y promedio de los híbridos de ocho progenitores de calabacita. Chapingo, Méx. 2007.....	57
Cuadro 14. Días a floración femenina (DFF) para progenitores (diagonal), híbridos (arriba de la diagonal), heterosis específica (S_{ij}) (debajo de la diagonal), heterosis varietal (h_j) y promedio de los híbridos de ocho progenitores de calabacita. Chapingo, Méx. 2007.....	58
Cuadro 15. Días a floración masculina (DFM) para progenitores (diagonal), híbridos (arriba de la diagonal), heterosis específica (S_{ij}) (debajo de la diagonal), heterosis varietal (h_j) y promedio de los híbridos de ocho progenitores de calabacita. Chapingo, Méx. 2007.....	58
Cuadro 16. Rendimiento por hectárea ($REN\ t\cdot ha^{-1}$) para progenitores (diagonal), híbridos (arriba de la diagonal), heterosis específica (S_{ij}) (debajo de la diagonal), heterosis varietal (h_j) y promedio de los híbridos de ocho progenitores de calabacita. Chapingo, Méx. 2007.....	59
Cuadro 17. Heterosis varietal (h_j) y heterosis media ($\bar{h}$) de ocho híbridos comerciales de calabacita tipo Grey Zucchini. Chapingo, México. 2007.....	59
Cuadro 18. Heterosis con respecto al mejor progenitor ($H_{mp}\%$) de 56 cruzamientos dialélicos (Modelo II Gardner y Eberhart, 1966) de ocho híbridos comerciales de calabacita tipo Grey Zucchini. Chapingo, México. 2007.....	60
Cuadro 19. Híbridos comerciales de calabacita tipo 'Grey Zucchini'	

evaluados en el CAE de la Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 2007.....	68
Cuadro 20. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado para siete caracteres en ocho híbridos de calabacita tipo 'Grey Zucchini'. Chapingo, México. 2007.....	76
Cuadro 21. Prueba de comparación de medias en siete caracteres de rendimiento de ocho híbridos de calabacita. Chapingo, México. 2007.....	80

ÍNDICE DE FIGURAS	Pag.
Figura 1. Peso seco total ($\text{g} \cdot \text{planta}^{-1}$) de ocho híbridos de calabacita tipo 'Grey Zucchini'. Chapingo, México. 2007.....	72
Figura 2. Área foliar ($\text{m}^2 \cdot \text{planta}^{-1}$) de ocho híbridos de calabacita tipo Grey Zucchini. Chapingo, México. 2007.....	73
Figura 3. Tasa absoluta de crecimiento (a), tasa relativa de crecimiento (b) y tasa de asimilación neta (c) de la parte aérea de ocho híbridos de calabacita. Chapingo, Méx. 2006.....	75
Figura 4. Incidencia de virus en ocho híbridos de calabacita. Chapingo, México. 2007.....	81

RESUMEN GENERAL

La investigación en calabacita es realizada principalmente por compañías semilleras transnacionales. En la Universidad Autónoma Chapingo se ha emprendido un programa de mejoramiento genético en calabacita enfocado a obtener variedades e híbridos de alto potencial de rendimiento. Puesto que algunos híbridos comerciales podrían ser usados con éxito y ventaja en programas de mejoramiento genético vegetal para la formación de variedades sintéticas cuyos progenitores sean híbridos de cruce simple sobresalientes, los objetivos del presente estudio fueron: a) identificar híbridos comerciales con alto valor genético con base en los efectos de ACG y ACE, para producir sintéticos y variedades de alto rendimiento y b) evaluar el potencial productivo de las cruces entre híbridos comerciales a partir de un dialélico de calabacita tipo Grey Zucchini. Se obtuvieron 56 cruces dialélicas (directas y recíprocas) a partir de ocho híbridos comerciales de calabacita en 2006. El experimento se estableció en 2007 y 2008 en la que se evaluó el dialélico completo en un diseño experimental bloques al azar con cuatro repeticiones. La unidad experimental consistió de dos surcos de cinco metros de largo, separados a 0.80m y 0.20m entre plantas (62,500 plantas·ha⁻¹). Los resultados indicaron que en la población obtenida de la recombinación de las cruces F₁ entre híbridos comerciales de calabacita fueron más importantes los efectos de dominancia para los principales componentes del rendimiento: frutos por planta, rendimiento por planta y por hectárea. De las seis mejores cruces

obtenidas para rendimiento de calabacita, tres podrían utilizarse sólo como híbridos (ACG < ACE): Huracán x Lolita (52.16 t·ha⁻¹); Lolita x Tala (50.14 t·ha⁻¹); Tala x Terminator (47.72 t·ha⁻¹); dos como variedades sintéticas (ACG > ACE): WA9041 x Lolita (51.45 t·ha⁻¹); Grey Zucchini M+M x Terminator (50.00 t·ha⁻¹) y Lolita x Terminator (44.09 t·ha⁻¹) como población base para mejoramiento por selección recurrente ya que los efectos aditivos y de dominancia son importantes en la cruce (ACG = ACE). Los mejores progenitores para rendimiento por planta y por hectárea serían 'Terminator' y 'Lolita' que son los que muestran mayor heterosis varietal. Se encontró significancia estadística en heterosis específica en las cruces 'Grey Zucchini M+M' x 'Terminator' (3x7) (S_{ij} 3.78**), 'Huracán' x 'Lolita' (5x4) (S_{ij} 3.86**) y 'Tala' x 'Terminator' (1x7) (S_{ij} 3.25**) las cuáles podrían utilizarse en un programa de mejoramiento genético para usar los efectos de dominancia mediante hibridación cíclica. Las tres cruces más precoces, con 44 días a floración femenina, fueron: 'Lolita' x 'Tala' (4x1), 'WA9041' x 'Tala' (6x1), 'Dolarzini' x 'Tala' (8x1) y la más tardía fue la cruce 'Terminator' x 'Huracán' (7x5) (57 días). La cruce con mayor heterosis con respecto al mejor progenitor en rendimiento por hectárea, por planta y número de frutos por planta, fue 'Grey Zucchini M+M' x 'Terminator' (3x7); la cual superó en 15.3 % el rendimiento por hectárea (44.2 t·ha⁻¹) y por planta (707.58 g·planta⁻¹), y en 1.5 % en frutos por planta (13.6 frutos) a su mejor progenitor.

Palabras clave: Análisis dialélico, heterosis, aptitud combinatoria.

GENERAL ABSTRACT

Squash research is carried out mainly by transnational seed enterprises. Despite that, Autonomous Chapingo University has embarked on a genetic improvement program focused on obtaining squash varieties and hybrids of high yield potential. Since some commercial hybrids could be used successfully and advantageously in plant genetic improvement programs for the formation of synthetic varieties parents are excellent single-cross hybrids, the objectives of this study were: identify commercial hybrids that show high ACG and ACE with high genetic value, to derive high yielding synthetics and others open polinization varieties b) evaluate the productive potential of crosses between commercial hybrids from a Gray Zucchini squash diallel. Diallel crosses 56 were obtained (direct and reciprocal) starting from eight hybrid commercial of squash in 2006. The experiment were carried out in 2007 and 2008 evaluates the diallel complete at randomized in a experimental design blocks with four repetitions. The experimental unit consisted of two rows five meters largest, separated to 0.80m and 0.20m between plants (62,500 plantas·ha⁻¹). The results indicated that in the population obtained from the recombination of F₁ crosses among commercial squash hybrids, dominance effects were more important for the main yield components: fruits per plant, and yield per plant and hectare. Of the six best crosses obtained for squash yield,

three could be used only as hybrids Hurakan x Lolita (52.16 t·ha⁻¹); Lolita x Tala (50.14 t·ha⁻¹); Tala x Terminator (47.72 t·ha⁻¹); two as synthetic varieties (ACG > ACE): WA9041 x Lolita (51.45 t·ha⁻¹); Grey Zucchini M+M x Terminator (50.00 t·ha⁻¹) and one as a base population for breeding by recurrent selection since the additive and dominance effects are important in the cross (ACG = ACE): Lolita x Terminator (44.09 t·ha⁻¹). The best progenitors for yield per plant and per hectare would be 'Terminator' and 'Lolita' since they show greater varietal heterosis. Statistical significance was found in specific heterosis in the crosses Grey Zucchini M+M' x 'Terminator' (3x7) (S_{ij} 3.78**), 'Hurakan' x 'Lolita' (5x4) (S_{ij} 3.86**) and 'Tala' x 'Terminator' (1x7) (S_{ij} 3.25**), all of which could be used in a breeding program to use the dominance effects by means of cyclic hybridization. The three earliest crosses, with 44 days to female flowering, were 'Lolita' x 'Tala' (4x1), 'WA9041' x 'Tala' (6x1), and 'Dolarzini' x 'Tala' (8x1), while the latest one was the cross 'Terminator' x 'Hurakán' (7X5) (57 days). The cross with greater heterosis compared to the best progenitor in yield per hectare, per plant and number of fruits per plant was 'Grey Zucchini M+M' x 'Terminator' (3x7), which exceeded its best progenitor by 15.3 % in yield per hectare (44.2 t·ha⁻¹) and by plant (707.58 g·plant⁻¹), and by 1.5 % in fruit per plant (13.6 fruits).

Keywords: Diallel analysis, heterosis, combining ability.

I. INTRODUCCIÓN GENERAL

La forma de aprovechamiento más frecuente de los frutos de calabaza (*Cucurbita pepo* L.) es como verdura (hortaliza), tanto para el consumo nacional como para su exportación. En 2009 se cultivaron 1, 525,378 ha en el mundo, y 26,600 de ellas en México, lo que la ubica entre los siete principales productores, y aún cuando experimentalmente se han obtenido y reportado rendimientos de $73 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Ayala, 2002), el rendimiento nacional es muy inferior a los obtenidos en España ($42.9 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), Francia ($40 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) y países bajos ($55.0 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$). México ocupó el primer lugar en exportación de calabacita (237,142 t), seguido de España (109,537 t) y Nueva Zelanda (75,340 t) de un total de 497,258 t exportadas en el mundo (FAO, 2009).

En los sistemas de producción de calabacita se requiere el uso de semilla mejorada. Las empresas semilleras transnacionales invierten muchos recursos económicos en sus programas de mejoramiento genético vegetal para liberar constantemente híbridos más productivos o con resistencia a plagas y enfermedades, es por ello que para recuperar sus recursos invertidos fijan precios elevados por la semilla híbrida generando dependencia del productor. El precio de una libra de semilla híbrida de calabacita que contiene 3000 semillas fluctúa en las tiendas de agroquímicos entre 800 y \$1200.00 M.N. y para establecer una hectárea de calabacita en alta densidad ($62,500 \text{ plantas}\cdot\text{ha}^{-1}$) se requieren 21 libras de semilla, lo anterior encarece los costos de producción para el productor. En México no existen programas enfocados al mejoramiento genético de calabacita para verdura. Estudiar los efectos heteróticos partiendo de híbridos comerciales puede ser una opción para iniciar un programa de

mejoramiento genético para la obtención de híbridos y variedades de alto rendimiento.

1.1 Cruzamientos dialélicos

Se denominan cruzamientos dialélicos a las cruzas simples entre p progenitores (Griffing, 1956b). Su utilidad tiene origen en el desarrollo de los conceptos de aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE), introducidos por Sprague y Tatum (1942).

El término aptitud combinatoria general (ACG) se emplea para designar al comportamiento medio de una línea en sus combinaciones híbridas; y el término aptitud combinatoria específica (ACE), para designar los casos en los que ciertas combinaciones se comportan relativamente mejor o peor de lo que podría esperarse, sobre la base del comportamiento promedio de las líneas involucradas (Sprague y Tatum, 1942).

Los diseños dialélicos pueden ser completos e incompletos. Los diseños completos comprenden el ensayo de todas las cruzas simples que es posible realizar entre p progenitores. Fueron introducidos formalmente por Griffing (1956a y 1956b). No obstante, un tipo particular de esta clase de experimentos ya había sido discutido por Yates (1947).

En plantas de reproducción sexual, es posible efectuar cruza dialélicas que incluyan autofecundaciones, cruza directas y cruza recíprocas. En función de éstas, Griffing (1956a, 1956b) propuso cuatro diseños básicos:

Diseño 1. Comprende la evaluación de los p progenitores (autofecundaciones), las $p(p-1)/2$ cruza directas, y las $p(p-1)/2$ cruza recíprocas; es decir, las p^2 cruza dialélicas posibles.

Diseño 2. Ensayar los p progenitores (autofecundaciones) y las $p(p-1)/2$ cruza directas; es decir, $p(p+1)/2$ cruza dialélicas.

Diseño 3. Evalúa las $p(p-1)/2$ cruza directas y las $p(p-1)/2$ cruza recíprocas; es decir, $p(p-1)$ cruza dialélicas.

Diseño 4. Ensayar sólo las $p(p-1)/2$ cruza directas.

1.2 Diseños experimentales

Los investigadores de acuerdo con los objetivos que persiguen al establecer un determinado experimento, se enfrentan a diversos casos particulares del modelo lineal general. En relación con los efectos diferentes de los términos del error, que forman parte del modelo, los modelos se consideran como de efectos fijos, aleatorios y mixtos (algunos factores son de efectos fijos y otros de efectos aleatorios).

Con respecto a los dos primeros casos, Eisenhart (1947) describió el análisis de varianza bajo dos modelos diferentes, que denominó modelo I y modelo II, este último también es llamado modelo de componentes de varianza.

Cuando el modelo es de efectos fijos, un interés primario consiste en la obtención de los mejores predictores lineales e insesgados de funciones lineales paramétricas estimables; en tanto que bajo el modelo de efectos aleatorios, el interés de los investigadores se centra en la estimación de los componentes de varianza.

El análisis de los experimentos dialélicos tradicionalmente ha sido conducido desde estos dos puntos de vista. Con el primero se estiman los efectos de aptitud combinatoria general y específica; y con el segundo, los componentes de varianza. Martínez (1983) desarrolló un amplio trabajo relacionado con el diseño y análisis de experimentos de cruas dialélicas.

1.3 Efectos Genéticos

El modelo asociado a los experimentos de cruas dialélicas en la mayoría de las aplicaciones no es de efectos fijos; sin embargo, cuando se desea obtener la estimación de los efectos de ACG y de ACE, esta estimación se efectúa tratando al modelo como de efectos fijos.

Con la estimación de las varianzas de los efectos de ACG y de ACE se puede llegar a la estimación de las varianzas aditiva y de dominancia (Martínez, 1988b), útiles en la definición de las estrategias de mejoramiento, que se deben seguir en función del tipo de variación genética, y los tipos de acción génica involucrados en cada carácter de cada genotipo evaluado y en la población de referencia.

Cuando los valores de ACG son mayores que los de ACE son más importantes los efectos aditivos. En caso contrario son más importantes los efectos de dominancia, no aditivos (Peña *et al.*, 1999).

Dos conceptos adicionales a ACG y ACE son los de efectos maternos (EM) y efectos recíprocos (ER). Se llama efecto materno al comportamiento diferencial que tiene un progenitor cuando se usa como hembra en relación a cuando es usado como macho.

En el modelo I de los diseños dialélicos de Griffing los efectos maternos se estiman como la diferencia $m_i - m_j$, cuando se invierte el orden de los progenitores de cada craza en particular; es decir, cuando m_i de participar como hembra pasa a m_j como macho. Si el efecto materno de un progenitor es de signo positivo, significa que sus efectos como hembra en una craza dada, son mayores que cuando se emplea como macho en la correspondiente craza recíproca; y por lo tanto, se interpreta que dicho progenitor es mejor en su craza directa.

El efecto recíproco, se refiere a los casos de ciertas cruzas de progenitores p , que no se comportan de igual manera al hacer la cruza en forma directa $pi \times pj$ que en forma reciproca $pj \times pi$ (Mastache *et al.*, 1999b).

1.4 Programas computacionales para análisis dialélicos

“A pesar del extenso uso que han tenido los diseños de tratamientos de cruzas dialélicas, su análisis suele ser complicado. Existen varios programas de cómputo que tratan algunos aspectos de las cruzas dialélicas, entre los que se encuentran el MSTAT (1986); los desarrollados por Schaffer y Usanis (1989), Burow y Coors (1994), Magari y Kang (1994) y Zhang y Kang (1997); además de los desarrollados por Martínez (1988b, 1988c, 1991) y por Mastache (1998). La característica principal de estos programas, con excepción de los desarrollados por Mastache (1998, 1999a y 1999b), es que la estimación de los efectos se realiza bajo la estructura del modelo de efectos fijos, y la estimación de los componentes de la varianza, en su caso, se hace considerando que el modelo es de efectos mixtos (Montesinos, 2003).

Aunque los programas desarrollados por Mastache (1998, 1999a y 1999b) se basan en el modelo de efectos mixtos, solamente proporcionan los estimadores de la ACG y de EM. Mastache (1998) aplica la técnica de los mejores predictores lineales insesgados (MPLI's) en los diseños dialélicos uno a cuatro, establecidos en diseños

de bloques completos al azar, para obtener los MPLI's empíricos de los efectos de ACG y de EM.

Por su parte, Montesinos (2003) completó la metodología y el programa de Mastache (1998), para la obtención de los MPLI's de los efectos de ACE y ER; y en 2007 describió la metodología para el análisis de un experimento dialélico a través de ambientes.

Los mejores predictores lineales e insesgados (MPLI's) tienen la característica principal de involucrar los componentes de varianza; y cuando éstos no se conocen, pueden ser sustituidos por sus respectivos estimadores obteniéndose los MPLI's empíricos.

1.5 Heterosis

Márquez (1988) menciona que la hibridación pretende el aprovechamiento directo de la F_1 de un cruzamiento. La F_1 puede obtenerse por el cruzamiento de cualquier tipo de poblaciones y no necesariamente de líneas puras.

De lo anterior se tiene que las cruzas dialélicas se utilizan también para estudios de heterosis entre poblaciones.

El concepto de heterosis se desarrolló para explicar el rendimiento superior de un híbrido F_1 con respecto a sus progenitores. Fue introducido por Shull en 1914, en

sustitución del término “heterocigosis” que era utilizado anteriormente para explicar el “vigor híbrido” (Shull, 1948). Stern (1948) revolucionó el término, al considerar que la heterosis podría ser también negativa. Hay casos en que al ser negativa, es agronómicamente útil, como en el caso de caracteres como días a floración cuyo acortamiento implica mayor precocidad de los cultivos. Desde la aparición del concepto, varios han sido los intentos por explicar las causas de la heterosis y los mecanismos por los que actúa.

Shull (1948) menciona que la heterosis no es un fenómeno unitario, sino una serie de fenómenos, por lo que no se puede asumir que una causa o mecanismo particular la explique en su totalidad. Así, existen dos enfoques principales en la búsqueda de explicaciones sobre la heterosis, uno busca el tipo de acción génica principal involucrada; y el otro, los mecanismos por los que ocurre en la planta.

Bajo el primer enfoque existen dos hipótesis, la de sobredominancia y la de dominancia. La hipótesis de sobredominancia fue planteada por Shull en 1908 y sugiere que hay un estímulo fisiológico del desarrollo que aumenta con la diversidad de los gametos que se unen para formar el híbrido, ya que cada gen en un *locus* determinado desempeña una función diferente (Hallauer, 1976). Esto significa que el heterocigoto es superior a cualquiera de los dos homocigotos y que el vigor híbrido aumenta en proporción directa a la cantidad de heterocigosis.

A la hipótesis de sobredominancia se le conoce también como de acción acumulativa de alelos divergentes, estimulación por heterocigosis o heterosis del gen simple (Márquez, 1988).

La hipótesis de dominancia fue propuesta por Davenport en 1908, Bruce en 1910, y Keeble y Pelow en 1910. Explica tanto la depresión endogámica producida por el apareamiento entre individuos emparentados, como el fenómeno inverso del vigor híbrido. Establece que el grado de heterosis depende del número de *loci* en condición dominante. Se basa en el hecho frecuentemente observado por los genetistas y genotecnistas en los efectos perjudiciales que los genes recesivos tienen sobre los fenotipos (o en forma opuesta, los efectos benéficos de los genes dominantes) (Hallauer, 1976; Márquez, 1988).

Gardner y Eberhart (1966) y Gardner (1967) proponen un modelo en el que consideran los efectos de cada progenitor y los efectos de la heterosis por separado. Estos autores dividieron en tres a los efectos de la heterosis:

- a) **Heterosis media** (h) . Medida como la diferencia entre la expresión promedio de los progenitores y el promedio de las cruzas.
- b) **Heterosis varietal** (h_i, h_j) . Es la heterosis de un progenitor en sus cruzas. Es la media del progenitor menos la media de todas las cruzas donde interviene dicho progenitor.

- c) **Heterosis específica (S_{ij})**. Es la heterosis neta generada por cada cruce particular de progenitores, con respecto a la heterosis media $\bar{h}$ y a las heterosis varietales (h_i y h_j).

Gardner y Eberhart (1966) y Gardner (1967) proponen un modelo en el que se considera que los efectos de heterosis son estimados con respecto al progenitor medio, lo cual tiene sentido genético, aunque el mejorador estará más interesado en estimar heterosis con respecto al mejor progenitor, puesto que ésta sirve como un indicador de la efectividad de la hibridación en el proceso de mejoramiento, o con respecto a las variedades originales de procedencia de los progenitores.

En algunas especies como maíz (*Zea mays* L.), ciertas cruces entre híbridos comerciales se han recomendado para ser utilizadas a nivel comercial, inclusive algunos de estos híbridos se proponen como una posibilidad de ser explotados como una población base para selección (Villanueva *et al.*, 1994).

Las cruces dobles, en comparación con las cruces simples, reducen la depresión endogámica de sus generaciones avanzadas y aumentan la calidad física y el rendimiento de semilla híbrida; sin embargo, el uso directo de generaciones avanzadas de híbridos, se asocia con una reducción de rendimiento (Villanueva *et al.*, 1994; Sahagún y Villanueva, 2003).

Sahagún y Villanueva (1997) consideraron la posibilidad de formar variedades sintéticas cuyos progenitores sean híbridos de cruce simple o híbridos de cruce

doble, para lo cual desarrollaron métodos para estimar el coeficiente de endogamia y predecir el rendimiento en cada caso.

Ruiz *et al.* (2004) reportaron la existencia de varianza genética aditiva menor que varianza genética de dominancia para los caracteres que estudiaron (peso de fruto, kg; frutos por planta y rendimiento, $t \cdot ha^{-1}$) en cruzamientos dialélicos en siete variedades de calabaza (*Cucurbita moschata* Duch), incluyendo progenitores.

Martínez (2004) encontró diferencias estadísticas significativas en aptitud combinatoria general en cinco de los seis caracteres estudiados en jitomate, y para aptitud combinatoria específica en cinco caracteres. Mediante el análisis de heterosis pudo detectar los híbridos apropiados para un programa de mejoramiento genético por selección e hibridación, sólo selección ó sólo hibridación, en cruzamientos dialélicos de cinco híbridos de jitomate.

Magaña (2006) mediante el análisis de cruas dialélicas del método I de Griffing, reportó diferencias estadísticas significativas entre cruzamientos dialélicos de siete híbridos de jitomate en cuatro de los nueve caracteres que estudió. En cuanto a los resultados que reportó en el estudio de heterosis, menciona que es válido el uso de la segunda generación filial de variedades comerciales de jitomate, opción factible para reducir costos por concepto de semilla, aún cuando en algunos casos aumenta la heterogeneidad en tamaño y número de frutos. En donde pudo detectar variedades para su uso en programas de mejoramiento genético por selección, y otras en programas de mejoramiento genético por hibridación.

1.6 OBJETIVOS

- a) Obtener y evaluar los cruzamientos dialélicos posibles entre ocho híbridos comerciales de calabacita tipo Grey Zucchini, y con base en los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE) detectar híbridos con ventajas agronómicas comparativas con respecto a sus progenitores.
- b) Estimar los componentes de varianza genética, la heterosis y heredabilidad de caracteres de importancia económica y el comportamiento agronómico de ocho progenitores de calabacita tipo Grey Zucchini.

1.7 HIPÓTESIS

Mediante cruzamientos dialélicos entre híbridos comerciales de calabacita tipo Grey Zucchini, es posible obtener híbridos de cruce doble iguales o superiores a sus híbridos progenitores que puedan derivar en variedades de polinización libre en sus generaciones avanzadas o en nuevos híbridos competitivos con sus progenitores comerciales.

Las características genéticas de las poblaciones generadas permitirán introducirlas a un programa de mejoramiento genético basado tanto en selección como en hibridación.

2. EFECTOS DE APTITUD COMBINATORIA EN HÍBRIDOS DE CALABACITA

TIPO GREY ZUCCHINI

C. Sánchez-Hernández^{1¶}; C. Villanueva-Verduzco²; J. Sahagún-Castellanos²; J. Martínez-Solís²; J. P. Legaria-Solano²; M. Á. Sánchez-Hernández³

¹ Posgrado en Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38,5 Carretera México-Texcoco. Chapingo, Estado de México. C. P. 56230. E-mail: cesarsh79@hotmail.com.

² Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo, Km. 38,5 Carretera México-Texcoco. C. P. 56230. Chapingo, Estado de México. Tel. y Fax: 01 (595) 952-1500.

³ Universidad del Papaloapan. Av. Ferrocarril Hidalgo s/n. Ciudad Universitaria Loma Bonita, Oaxaca, México. C. P. 68400 Tel. y Fax: 01(281) 872-2239.

2.1. RESUMEN

Se evaluaron ocho híbridos comerciales de calabacita y sus 56 cruzas posibles con el Método I Modelo II de Griffing (1956) en Chapingo, México durante 2007 y 2008, con el propósito de identificar las mejores combinaciones entre los híbridos comerciales con base en los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE), para iniciar a corto plazo un programa de mejoramiento y la obtención de variedades sintéticas de calabacita. El diseño experimental utilizado fue bloques completos al azar con tres repeticiones, la unidad experimental fueron dos surcos de 5 m, separados a 0.8 m y 0.2 m entre plantas (62500 plantas·ha⁻¹). Los resultados del análisis combinado indicaron que en la población obtenida de la recombinación de las cruzas F₁ entre híbridos comerciales de calabacita fueron más importantes los efectos de dominancia para los principales

componentes del rendimiento: frutos por planta, rendimiento por planta y por hectárea, y los aditivos para días a floración femenina, siendo factible mejorar la población por selección hacia precocidad. De las seis mejores cruzas de calabacita para rendimiento de verdura, tres podrían utilizarse sólo como híbridos ($ACG < ACE$): Huracán x Lolita ($52.16 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$); Lolita x Tala ($50.14 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$); Tala x Terminator ($47.72 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$); dos como variedades sintéticas ($ACG > ACE$): WA9041 x Lolita ($51.45 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$); Grey Zucchini M+M x Terminator ($50.00 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) y una como población base para mejoramiento por selección recurrente ya que tanto los efectos aditivos y de dominancia son importantes en la crusa ($ACG = ACE$): Lolita x Terminator ($44.09 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$).

Palabras clave adicionales: *Cucurbita pepo* L., aptitud combinatoria general, aptitud combinatoria específica, efectos maternos, efectos recíprocos.

COMBINING ABILITY EFFECTS IN SUMMER SQUASH HYBRIDS TYPE GREY ZUCCHINI

2.2. ABSTRACT

Eight commercial hybrids of summer squashes type 'Grey Zucchini' and their 56 possible crosses using the Method I Model II of Griffing (1956) were evaluated in Chapingo Mexico, during 2007 and 2008; identify the best combinations among the commercial hybrids according to the general combining ability (ACG) and specific combining ability (ACE) effects; and to begin a genetic improvement program to develop squash synthetic varieties. The experimental design used was complete randomized block with three replications. The experimental unit were two rows of five meters, with rows separation of 0.80 m and 0.2 m between plants (62,500 plants·ha⁻¹). The combined analysis showed that dominance effects for the main components of the yield (fruit per plant, yield per plant and hectare) were more important; and day to female was associated to additive effects; this makes it feasible to improve the character based on selection for corliness, in the obtained population of the recombination of the F₁ crosses among squash commercial hybrids. From the best six crosses for squash fruit yield, three could be used as hybrid (ACG < ACE): Hurakan x Lolita (52.16 t·ha⁻¹); Lolita x Tala (50.14 t·ha⁻¹); Tala x Terminator (47.72 t·ha⁻¹); two as synthetic varieties (ACG > ACE): WA9041 x Lolita (51.45 t·ha⁻¹); Grey Zucchini M+M x Terminator (50.00 t·ha⁻¹) and one as base population to improve fruit yield by recurrent selection since the additive and dominance effects are important in (ACG = ACE) in the cross Lolita x Terminator (44.09 t·ha⁻¹).

Additional key words: *Cucurbita pepo* L., general combining ability, specific combining ability, maternal effects, reciprocal effects.

2.3. INTRODUCCIÓN

La caracterización de los progenitores por su aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE) permite establecer las estrategias y técnicas adecuadas para estimar parámetros genéticos y el método de mejoramiento genético más adecuado (Hallauer y Miranda, 1981), tanto en especies autógamas como alógamas.

Las cruzas dialélicas son las cruzas simples que pueden lograrse entre los elementos de un conjunto básico de p líneas progenitoras (Griffing 1956a, b). Los diseños uno y tres de Griffing (1956a, b) sirven para estimar aptitud combinatoria general (ACG), aptitud combinatoria específica (ACE), efectos maternos (EM), efectos recíprocos (ER) y componentes de varianza. Todo esto es importante para la toma de decisiones en programas de mejoramiento genético vegetal.

La aptitud combinatoria es la capacidad que tiene un individuo o una población, de combinarse con otros, medida por medio de su progenie (Márquez, 1988). Sin embargo, la aptitud combinatoria debe determinarse no sólo en un individuo de la población sino en varios, a fin de poder seleccionar los que exhiban la más alta aptitud combinatoria. Existen varios diseños de análisis dialélico para estimar aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE), pero el más utilizado es el de Griffing (1956 b), en sus cuatro métodos: 1) progenitores y sus cruzas F_1 directas y recíprocas; 2) progenitores y cruzas F_1 directas; 3) cruzas F_1 directas y recíprocas; y 4) cruzas F_1 directas.

La progenie de las cruzas (F_1) produce información sobre los progenitores al medir sobre ella los caracteres de interés. Los resultados se interpretan con base en un

modelo lineal que incorpora como componentes: las aptitudes combinatorias general (ACG) y específica (ACE), efectos maternos (EM) y efectos recíprocos (ER), según el método de Griffing empleado; lo cual permite la interpretación en términos de parámetros genéticos.

La reducción de los costos de inversión por compra de semilla es una estrategia sustentable que impactaría a la producción de calabacita e incrementaría los márgenes de ganancia para el productor. Puesto que algunos híbridos comerciales podrían ser usados exitosa y ventajosamente en programas de mejoramiento genético vegetal para la formación de variedades sintéticas cuyos progenitores sean híbridos de cruce simple sobresaliente; estos progenitores, idealmente deberían ser tales que: 1) no contribuyan con niveles importantes de endogamia; 2) la endogamia generada no esté estrechamente asociada con una fuerte depresión endogámica, y 3) contribuyan a que el rendimiento se mantenga dentro de niveles aceptables (Sahagún y Villanueva, 1997); por tal razón los objetivos del presente estudio fueron: a) identificar híbridos comerciales con alto valor genético con base en los efectos de ACG y ACE, para producir sintéticos y variedades de alto rendimiento y b) evaluar el potencial productivo de las cruces entre híbridos comerciales.

2.4. MATERIALES Y MÉTODOS

Progenitores

Se emplearon ocho híbridos de calabacita tipo 'Grey Zucchini' de diferentes casas comerciales (Cuadro 1). Con ellos se obtuvieron las 56 cruzas posibles (28 directas y 28 recíprocas) posibles en la primavera de 2006, garantizando en cada craza al menos la polinización de 10 plantas del progenitor femenino.

Cuadro 1. Híbridos comerciales de calabacita tipo 'Grey Zucchini' utilizados como progenitores de cruzas dialélicas. Chapingo, México. 2007.

Progenitor	Híbrido	Casa comercial	Origen
1	Tala	Seminis	CHILE, 2003
2	Grey Zucchini	Seminis	USA, 2005
3	Grey Zucchini M+M	Molina Seed	USA, 2003
4	Lolita	Seminis	USA, 2005
5	Huracán	Harris Moran	USA, 2005
6	WA9041	Western Seed	HOLANDA, 2005
7	Terminator	Seminis	USA, 2004
8	Dolarzini	Caloro	USA, 2005

Evaluación experimental

Las cruzas y los progenitores se evaluaron en dos ciclos en el año 2007 y 2008 en el Campo Agrícola Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo. En el año 2007

la siembra se realizó el día 15 de abril (Lote San Martín) y en 2008 el día 20 de abril (Lote San Bartolo) de forma directa depositando dos semillas por golpe para posteriormente ralear a una planta, bajo condiciones de riego. Se usó un diseño experimental bloques al azar con tres repeticiones, la unidad experimental estuvo constituida por parcelas de dos surcos de 5 m de largo separados a 0.8 m con una separación entre plantas de 0.2 m (62,500 plantas·ha⁻¹). La fertilización total fue de 120-80-00 aplicando 60-80-00 al momento de la siembra, el resto de la fertilización nitrogenada se aplicó en el aporque. Las malezas se controlaron manualmente. Los caracteres que se estudiaron fueron: peso de fruto por corte (PFR, g) con base en todos los frutos por corte de cada unidad experimental pesados con una balanza granataria; número de frutos por corte (NFR) de un total de 17; largo y ancho de fruto (LFR, AFR, cm) de una muestra aleatoria de cinco frutos medidos con un vernier; días a floración masculina y femenina (DFM y DFF), registrados cuando existía un 50 % de plantas con flores abiertas; rendimiento por planta por corte (g·planta⁻¹) se obtuvo como el cociente del peso de frutos por corte de un total de 17 entre el número de plantas por unidad experimental y rendimiento por hectárea (t·ha⁻¹).

Diseño Genético

Se empleó el Método I Modelo II de Griffing (1956 b) que incluye los progenitores, las cruza directas y recíprocas cuyo modelo lineal fijo de análisis combinado de localidades de acuerdo con Montesinos (2007) es: $Y_{ijkl} = \mu + \pi_i + \tau_j + \delta_{k(l)} + (\pi\tau)_{ijl} + e_{ijkl}$ donde Y_{ijkl} es el valor fenotípico observado de la cruza (i, j) dentro del bloque k en la

localidad l ; μ es la media general; π_l es el efecto de la localidad l ; $\delta_{k(l)}$ es el efecto del bloque k en la localidad l ; $(\pi\tau)_{ijl}$ es el efecto de la interacción de la craza (i, j) con la localidad l ; τ_{ij} es el efecto de la craza (i, j) y es igual a: $\tau_{ij} = g_i + g_j + s_{ij} + m_i - m_j + r_{ij}$; donde g_i es el efecto de la ACG del progenitor i ; g_j es el efecto de la ACG del progenitor j ; s_{ij} es el efecto de la ACE de la craza (i, j) ; m_i es el efecto materno del progenitor i ; m_j es el efecto materno del progenitor j ; r_{ij} es el efecto recíproco de la craza (i, j) ; e_{ijkl} es el efecto aleatorio del error correspondiente a la observación (i, j, k, l) .

De acuerdo con el criterio de agrupamiento propuesto por Serrano *et al.* (1990), los mejores progenitores para formar una población base para mejoramiento por selección son los que tienen mayores efectos de ACG. El criterio de comparación de las cruzas F_1 se basó en sus valores genotípicos, de modo que aparecen tres situaciones: 1) en cruzas con $ACG = g_i + g_j > ACE$ se espera que no presenten depresión endogámica significativa en generaciones avanzadas (F_n , $n > 1$), pudiéndose utilizar como variedades sintéticas cuando éstas sean de alto rendimiento; 2) con $ACG < ACE$, las cruzas mostrarían cambios aleatorios en su rendimiento en F_n ya que los efectos específicos son de mayor magnitud que los aditivos en la expresión de rendimiento; así, de ser una craza rendidora sólo deberá utilizarse como craza y no como sintético y 3) cuando $ACG = ACE$, ambos tipos de acción génica (aditividad y dominancia) son importantes por lo que la depresión endogámica en F_n se espera reducida, pudiendo usarse la craza como variedad sintética y como población base para selección recurrente.

Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó con el programa SAS versión 9.0 para microcomputadora, utilizando el algoritmo propuesto por Montesinos (2007) para el análisis de varianza combinado por ambientes del diseño I de Griffing (Cuadro 2). La prueba de significancia de los efectos principales (ACG, ACE, EM, ER) e interacciones (AmbxACG, AmbxACE, AmbxEM, AmbxER) se realizaron mediante las pruebas de F que presenta Martínez (1983) en el análisis de varianza combinado del diseño I de Griffing.

Cuadro 2. Análisis de varianza del diseño dialélico, Método I Modelo II de Griffing (Martínez, 1983).

F.V.	G.L.	CM	ECM
Ambientes (A)	a-1		
Rep:A	a(r-1)		
Cruzas	p ² -1		
ACG	p-1	M1	$\sigma_e^2 + 2r((p^2 - p + 1)/p^2))\sigma_{sa}^2 + 2r((p^2 - p + 1)/p^2))\sigma_s^2 + 2rp\sigma_{ga}^2 + 2rpl\sigma_g^2$
ACE	p(p-1)/2	M2	$\sigma_e^2 + 2r((p^2 - p + 1)/p^2))\sigma_{sa}^2 + 2r((p^2 - p + 1)/p^2))\sigma_s^2$
EM	p-1	M3	$\sigma_e^2 + 2r\sigma_{ra}^2 + 2rl\sigma_r^2 + 2rp\sigma_{ma}^2 + 2rpl\sigma_m^2$
ER	(p-1)(p-2)/2	M4	$\sigma_e^2 + 2r\sigma_{ra}^2 + 2rl\sigma_r^2$
Cruzas x Amb	(a-1)(p ² -1)	M5	$\sigma_e^2 + r\sigma_{ca}^2$
Amb x ACG	(a-1)(p-1)	M6	$\sigma_e^2 + 2r((p^2 - p + 1)/p^2))\sigma_{sa}^2 + 2r\sigma_{ga}^2$
Amb x ACE	(a-1)p(p-1)/2	M7	$\sigma_e^2 + 2r((p^2 - p + 1)/p^2))\sigma_{sa}^2$
Amb x EM	(a-1)(p-1)	M8	$\sigma_e^2 + 2r\sigma_{ra}^2 + 2rp\sigma_{ma}^2$
Amb x ER	(a-1)(p-1)(p-2)/2	M9	$\sigma_e^2 + 2r\sigma_{ra}^2$
Error combinado	a(p ² -1)(r-1)	M10	σ_e^2
Total	ap ² r-1		

F.V = Fuentes de variación; G. L = Grados de libertad; C.M = Cuadrados Medios; ECM = Esperanzas de Cuadrados Medios.

Componentes de varianza genética

En la estimación de los componentes de varianza con el Método I Modelo II (efectos aleatorios) de Griffing se asumió que los progenitores son híbridos de craza simple

formados por líneas no emparentadas y con coeficientes de endogamia igual a la unidad, por lo que los componentes de varianza de aptitud combinatoria general (σ^2_g) y de aptitud combinatoria específica (σ^2_s) de la población de referencia como factores de efectos aleatorios, tienen las siguientes equivalencias en términos de covarianza [Cov] de familias de medios hermanos (MH) y hermanos completos (HC) (Cockerham, 1954; Kempthorne, 1957):

$$\sigma^2_{ACG} = \text{Cov MH}; \sigma^2_{ACE} = \text{Cov HC} - 2 \text{Cov MH}.$$

Lo anterior, tiene a su vez las siguientes equivalencias en términos de varianza genética aditiva (σ^2_A) y varianza genética de dominancia (σ^2_D):

$$\text{Cov MH} = [(1 + F)/4] \sigma^2_A; \text{Cov HC} = [(1 + F)/2] \sigma^2_A + (1 + F)/2 \sigma^2_D; \text{si } F=1; \text{Cov MH} = 1/2 \sigma^2_A \text{ y } \text{Cov HC} = \sigma^2_A + \sigma^2_D.$$

Finalmente, los componentes de varianza en términos de varianzas genéticas son:

$$\sigma^2_g = 1/2 \sigma^2_A. \text{ Por lo tanto, } \sigma^2_A = 2 \sigma^2_{ACG}; \text{ la } \sigma^2_s = \text{Cov HC} - 2 \text{Cov MH} \text{ y } \sigma^2_s = \sigma^2_A + \sigma^2_D - 2(1/2 \sigma^2_A). \text{ De esta manera, la } \sigma^2_D = \sigma^2_{ACE}.$$

Con base en el análisis de varianza combinado y a partir de las esperanzas de los cuadrados medios (Cuadro 2):

$$\sigma^2_A = 2 \sigma^2_{ACG} \text{ donde: } \sigma^2_{ACG} = \frac{1}{2rp(1+l)} [M1 - M2 + M6 - M7];$$

$$\sigma^2_D = \sigma^2_{ACE} \text{ donde: } \sigma^2_{ACE} = \frac{p^2}{2rl(p^2 - p + 1)} [M2 - M7];$$

$$\sigma^2_{EM} = \frac{1}{2rp(2+l)} [M3 - M4 + M8 - M9]; \sigma^2_{ER} = \frac{1}{2rl} [M4 - M9]; \sigma^2_{AMB \times CRUZAS} = \frac{1}{r} [M5 - M10];$$

$$\sigma^2_{AMB \times ACG} = \frac{1}{2r} [M6 - M7]; \sigma^2_{AMB \times ACE} = \frac{p^2}{2rp(p^2 - p + 1)} [M7 - M10];$$

$$\sigma_{AMB \times EM}^2 = \frac{1}{2rp} [M8 - M9]; \sigma_{AMB \times ER}^2 = \frac{1}{2r} [M9 - M10].$$

A partir de la varianza genética aditiva ($\sigma_A^2 = 2\sigma_{ACG}^2$) y la varianza genética de dominancia ($\sigma_D^2 = \sigma_{ACE}^2$), se calcularon los valores de heredabilidad en sentido

estrecho ($h^2 = \frac{\sigma_A^2}{\sigma_F^2} \times 100$) para los siete caracteres, donde σ_F^2 es la varianza

fenotípica, la cual se obtuvo a partir de los componentes de varianza estimadas

($\sigma_{ACG}^2, \sigma_{ACE}^2, \sigma_{EM}^2, \sigma_{ER}^2, \sigma_{AMB \times ACG}^2, \sigma_{AMB \times ACE}^2, \sigma_{AMB \times EM}^2, \sigma_{AMB \times ER}^2, \sigma_{EC}^2$) por el modelo

del análisis combinado de Montesinos (2007) de la siguiente forma: $\sigma_F^2 =$

$2\sigma_{ACG}^2 + \sigma_{ACE}^2 + 2\sigma_{EM}^2 + \sigma_{ER}^2 + \sigma_{AMB \times ACG}^2 + \sigma_{AMB \times ACE}^2 + \sigma_{AMB \times EM}^2 + \sigma_{AMB \times ER}^2 + \sigma_{EC}^2$ y el grado

promedio de dominancia ($\bar{d} = \sqrt{\frac{2\sigma_D^2}{\sigma_A^2}}$) (Comstock y Robinson, 1952).

Las proporciones de los efectos de ACG, ACE, EM y ER se calcularon con base en las sumas de cuadrados, con respecto a la proporción que ocupan cuando las cruza se particionan en estos efectos.

2.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los cuadrados medios para los caracteres rendimiento por planta (RPP, g), frutos por planta (FPP), largo de fruto (LFR, cm), ancho de fruto (AFR, cm), días a floración masculina (DFM), días a floración femenina (DFF) y rendimiento de calabacita para verdura por hectárea (REN, t·ha⁻¹) se presentan en el Cuadro 3. Se encontraron diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) entre cruzas para todos los caracteres evaluados, lo cual se puede atribuir a la divergencia genética que presentan los progenitores por provenir de diferentes casas comerciales, lo que hace posible la identificación de cruzas precoces, tardías, frutos más grandes (largos y anchos) y sobre todo, de cruzas con rendimiento contrastante. La contribución a la varianza del rendimiento por planta atribuible a las cruzas estuvo constituida por 42 % para los efectos aditivos (ACG), 45 % no aditivos (ACE), 5 % efectos maternos y 8 % efectos recíprocos. Los resultados con respecto a los efectos de ACG y ACE, indican que tanto los efectos aditivos como los no aditivos contribuyen de manera equilibrada en las cruzas para rendimiento. Al respecto, Gutiérrez (2002) encontró en maíz que a medida que la divergencia genética de los materiales se incrementa, aumenta también la diferencia entre los valores de ACG o ACE; o bien para los dos tipos de acción génica. Se encontraron mayores efectos del tipo aditivo (61.59 % para efectos de ACG y 26.95 % para ACE) en largo de fruto; 72.67 y 14.91 % para ACG y ACE, respectivamente, en ancho de fruto; 88.08 y 7.58 % de ACG y ACE, respectivamente, en días a floración masculina y en días a floración femenina los efectos de ACG fueron 87.37 y 7.83 % de ACE. Por otra parte, la mayor contribución a la varianza del número de frutos por planta atribuible a las cruzas se debió

principalmente a los efectos de dominancia (52.26 %) que superó a los efectos aditivos (29.16 %). Lo anterior probablemente se debió a la heterosis resultante de las combinaciones híbridas entre los progenitores.

Existieron diferencias altamente significativas de ACG entre híbridos progenitores para LFR, AFR, DFM y DFF, pero no así para RPP y FPP. En aptitud combinatoria específica (ACE) existieron diferencias altamente significativas entre híbridos progenitores en RPP, FPP, LFR y REN, y no se encontraron diferencias en las variables AFR, DFM y DFF. Este comportamiento se atribuye a una baja acumulación aditiva de genes para rendimiento en los cruzamientos

Los efectos maternos (EM) fueron no significativos ($P \leq 0.05$, Cuadro 3), lo que indica que los caracteres evaluados están influenciados por genes de cromosomas localizados en el núcleo, no existiendo contribución de los genes de cromosomas localizados en el citoplasma o si existen son iguales. Sin embargo, en los efectos recíprocos (ER) se encontraron diferencias significativas en RPP y REN; es decir, hay cruza en que los progenitores no se comportan de igual manera en la crusa directa que en la crusa recíproca, aunque estas diferencias no se pueden atribuir a los efectos maternos de cada progenitor, sino a otros efectos que excluyen al efecto materno. Estos resultados coinciden con los reportados por Ruíz *et al.* (2004) en un análisis dialélico del rendimiento y sus principales componentes en variedades de calabaza (*Cucurbita moschata* Duch.) que no encontraron diferencias significativas para los efectos maternos pero sí en los efectos recíprocos.

A pesar de la significancia de algunas interacciones (AmbxACE, AmbxEM y AmbxER), su contribución a la varianza fenotípica observada para las diferentes

características resultó pequeña en comparación con la contribución de los efectos de aptitud combinatoria general y aptitud combinatoria específica (Cuadro 3).

Cuadro 3. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado de cruzas dialélicas para siete caracteres en ocho híbridos de calabacita tipo 'Grey Zucchini'. Chapingo, México. 2007.

F.V.	G.L.	CUADRADOS MEDIOS						
		RPP	FPP	LFR	AFR	DFM	DFF	REN
Ambientes (A)	1	0.23	16.25	3.08**	0.13*	6.77	15.04	225.29
Rep:A	4	0.13	7.58	0.09	0.01	3.26	2.17	136.37
Cruzas	63	0.40**	30.83**	2.21**	0.18**	74.64**	80.03**	397.15**
ACG	7	1.57	80.92	12.25**	1.17**	722.49**	670.64**	1533.07
ACE	28	0.41**	36.25**	1.34**	0.06	9.22	8.45	398.30**
EM	7	0.17	15.82	1.29	0.11	9.69	5.70	166.14
ER	21	0.09*	11.91	0.33	0.03	3.52	3.38	93.98*
Cruzas x Amb	63	0.05**	8.99**	0.42**	0.04**	6.61**	7.04**	48.03**
Amb x ACG	7	0.06	6.55	0.18	0.06	7.42	9.29	62.07
Amb x ACE	28	0.04**	6.27**	0.25**	0.04**	6.96**	6.90**	47.84**
Amb x EM	7	0.08	27.77**	0.70	0.07	6.34**	14.98**	80.05
Amb x ER	21	0.03	7.16**	0.62**	0.03**	13.52**	3.83**	32.95
Error Combinado	252	0.02	2.33	0.06	0.01	3.58	1.64	21.89
Total	383							
Media		559.5	5.43	12.28	4.17	47.72	49.73	34.99
C.V (%)		13.37	14.30	2.02	2.45	5.85	5.49	13.37

F.V. Fuentes de variación; G.L. Grados de libertad; **ACG** = Aptitud Combinatoria General; **ACE** = Aptitud Combinatoria Específica; **EM** = Efectos Maternos; **ER** Efectos recíprocos; **RPP** Rendimiento por planta; **FPP** = Frutos por planta; **LFR** = Largo de fruto; **AFR** = Ancho de fruto; **DFF** = Días a floración femenina; **DFM** = Días a floración masculina; **REN** = Rendimiento por hectárea; **C.V.** Coeficiente de variación (%); *, ** = Significancia estadística al 5 y 1 %, respectivamente.

2.5.1. Componentes de varianza genética

En la población obtenida de la recombinación de las cruzas F_1 entre los híbridos comerciales progenitores, se encontró que existe varianza genética aditiva y varianza de dominancia. La varianza genética aditiva resultó importante en los caracteres largo y ancho de fruto, días a floración masculina y femenina. Esto significa que es factible mejorar estos caracteres por selección recurrente aprovechando que presentan valores medios de heredabilidad (42.11, 49.78, 53.88 y 54.45 %, respectivamente); mientras que en frutos por planta, rendimiento por planta y por hectárea fueron bajos (25.10, 10.95 y 25.48 %, respectivamente) (Cuadro 4). Los resultados anteriores se reafirman al analizar los coeficientes de variación genética aditiva (CVA) y de dominancia (CVD). Al respecto se observó que para largo y ancho de fruto, así como para días a floración masculina y femenina, el CVA fue mayor que el CVD, lo que confirma la importancia de los efectos aditivos para estos caracteres; sin embargo, para frutos por planta, rendimiento por planta y por hectárea que son los principales componentes del rendimiento fue mayor el CVD que el CVA (Cuadro 4). Un aspecto importante de estos dos coeficientes es que son comparables entre caracteres y con ellos se puede predecir el éxito esperado en la selección. Así, los caracteres: frutos por planta, rendimiento por planta y por hectárea mostraron alta variabilidad genético-aditiva, días a floración masculina y femenina mostraron variabilidad intermedia y largo y ancho de fruto mostraron la mínima variabilidad (Cuadro 4).

El grado promedio de dominancia ($\bar{d}$), indicó sobredominancia en los caracteres RPP (1.6733), FPP (2.4600) y REN (1.6761), mismos que pueden mejorarse por hibridación, ya que teóricamente la F_1 superará significativamente al genotipo

homocigoto dominante. Al respecto, Hallauer y Miranda (1981) indican que los valores mayores a la unidad en la estimación del grado promedio de dominancia, proporcionan información para explotar la heterosis, y que el mayor vigor híbrido se debe a la presencia en el heterocigote (F_1) de un número mayor de genes dominantes que en los progenitores. Mientras que largo y ancho de fruto, días a floración masculina y femenina presentan dominancia parcial.

Cuadro 4. Estimación de componentes de varianza en siete caracteres de cruzas dialélicas de calabacita. Chapingo, México. 2007.

Componente	RPP	FPP	LFR	AFR	DFM	DFF	REN
σ^2_{ACG}	0.01	0.46	0.12	0.01	5.50	4.88	11.67
σ^2_{ACE}	0.03	2.80	0.10	0.00	0.16	0.12	32.79
σ^2_{EM}	0.00	0.00	0.01	0.00	0.10	0.03	0.26
σ^2_{ER}	0.00	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	5.09
$\sigma^2_{Amb \times ACG}$	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.30
$\sigma^2_{Amb \times ACE}$	0.00	0.74	0.04	0.01	0.19	0.32	4.86
$\sigma^2_{Amb \times EM}$	0.00	0.43	0.01	0.00	0.00	0.02	0.98
$\sigma^2_{Amb \times ER}$	0.00	0.81	0.09	0.00	0.14	0.00	1.84
σ^2_{EC}	0.02	2.34	0.06	0.01	7.92	7.64	21.89
σ^2_A	0.02	0.93	0.23	0.02	10.10	9.75	23.34
σ^2_D	0.03	2.81	0.10	0.00	0.16	0.12	32.79
σ^2_A/σ^2_D	0.71	0.33	2.22	20.90	62.65	82.11	0.71
CVA (%)	27.74	17.70	3.90	3.63	6.66	6.28	13.81
CVD (%)	32.78	30.79	2.61	0.79	0.84	0.69	16.37
h^2	0.25	0.11	0.42	0.49	0.54	0.54	0.25
$\bar{d}$	1.67	2.46	0.95	0.31	0.18	0.15	1.67

σ^2_{ACG} = Estimación de varianza de aptitud combinatoria general combinado; σ^2_{ACE} = Estimación de varianza de aptitud combinatoria específica combinado; σ^2_{EM} = Estimación de varianza de efectos maternos combinado; σ^2_{ER} = Estimación de varianza de efectos recíprocos combinado; $\sigma^2_{Amb \times ACG}$ = Estimación de varianza de Amb x ACG combinado; $\sigma^2_{Amb \times ACE}$ = Estimación de varianza de Amb x ACE combinado; $\sigma^2_{Amb \times EM}$ = Estimación de varianza de Amb x EM combinado; $\sigma^2_{Amb \times ER}$ = Estimación de varianza de Amb x ER combinado; σ^2_{EC} = Estimación de la varianza del error combinado; σ^2_A = Varianza aditiva ($\sigma^2_A = 2\sigma^2_{ACG}$); σ^2_D = Varianza de dominancia ($\sigma^2_D = \sigma^2_{ACE}$); h^2 = Heredabilidad en sentido estricto; **RPP** = Rendimiento por planta (g.planta⁻¹); **FPP** = Frutos por planta; **LFR** = largo de fruto (cm); **AFR** = Ancho de fruto (cm); **DFM** = Días a floración masculina; **REN** = Rendimiento por hectárea (t·ha⁻¹).

2.5.2. Análisis de progenitores

Los efectos de ACG de los híbridos comerciales utilizados como progenitores y la varianza de los efectos de ACE a través de sus cruzas en promedio de ambientes se presentan en el Cuadro 5.

Con base en los efectos de ACG para rendimiento por planta y por hectárea, los mejores progenitores fueron, en orden decreciente: Terminator (RPP = 0.121 g·planta⁻¹) y REN = 3.788 t·ha⁻¹), Lolita (RPP = 0.113 g·planta⁻¹ y REN = 3.545 t·ha⁻¹) y WA9041 (RPP = 0.056 g·planta⁻¹ y REN = 1.765 t·ha⁻¹). Lolita y WA9041 tuvieron valores negativos de ACG para DFF (-1.812 y -2.250 días, respectivamente) lo que indica que sus cruzas son más precoces. Por su parte, Terminator presentó valores positivos de ACG para DFF (3.843 días), la existencia de efectos positivos de ACG en días a floración, es una situación desfavorable si se deseara mejorar dicho carácter hacia precocidad, porque tales efectos positivos implican ciclos más tardíos. Los peores progenitores cuyos efectos de ACG fueron los más bajos son: Grey Zucchini de seminis (RPP, -0.10 g·planta⁻¹ y REN, -3.21 t·ha⁻¹) y Dolarzini (RPP, -0.07 g·planta⁻¹ y REN, -2.15 t·ha⁻¹).

Lolita y WA9041 presentaron efectos positivos de ACG para largo de fruto (0.28 y 0.32 cm, respectivamente) y negativos para ancho de fruto (-0.02 y -0.00 cm, respectivamente) (Cuadro 5), dichos resultados indican que estos dos progenitores producen frutos más largos que anchos.

Terminator ocupó el primer lugar en orden decreciente en σ^2_{ACE} para rendimiento por planta y por hectárea (0.7 y 68.08, respectivamente) pudiéndose interpretar como de baja estabilidad genética a través de sus cruzas. Por su parte, Lolita ocupó el cuarto lugar (σ^2_{ACE} : 0.03 en RPP y 26.29 en REN) considerándose como de estabilidad

genética media a través de sus cruzas al igual que WA9041 que se ubicó en el quinto lugar ($\sigma^2_{ACE} = 0.02$ en RPP y 24.07 en REN) (Cuadro 5).

Los híbridos que resultaron ser los mejores progenitores a juzgar por la magnitud de sus efectos positivos de ACG fueron, en orden decreciente: Terminator, Lolita y WA9041. De ellos, el más consistente a través de sus cruzas fue WA9041; mientras que los más inconsistentes fueron Tala y Huracán, por su varianza de ACE a través de las cruzas en que participan (Cuadro 5).

Cuadro 5. Análisis de los progenitores según su ACG y comportamiento genético a través de sus cruzas en promedio de ambientes. Chapingo, México. 2007.

P	RPP (g·planta ⁻¹)		FPP		LFR (cm)		AFR (cm)		DFM		DFF		REN (t·ha ⁻¹)	
	ACG	σ^2_{ACE}	ACG	σ^2_{ACE}	ACG	σ^2_{ACE}	ACG	σ^2_{ACE}	ACG	σ^2_{ACE}	ACG	σ^2_{ACE}	ACG	σ^2_{ACE}
1	-0.04	0.03	0.03	3.87	-0.03	0.17	-0.12	0.01	-1.55	1.25	-1.44	1.29	-1.22	33.48
2	-0.10	0.01	-0.53	1.20	-0.41	0.11	-0.07	0.01	-0.30	0.09	-0.12	0.18	-3.21	10.34
3	-0.05	0.01	-0.24	0.47	-0.28	0.03	-0.05	0.00	0.63	0.28	0.59	0.30	-1.62	6.74
4	0.11	0.03	0.79	3.29	0.28	0.10	-0.02	0.00	-1.80	0.53	-1.81	0.57	3.54	26.29
5	-0.03	0.05	-0.38	3.62	-0.06	0.08	0.12	0.00	3.63	0.81	3.56	0.86	-0.89	44.90
6	0.06	0.02	0.22	2.39	0.32	0.13	-0.00	0.00	-2.21	0.45	-2.25	0.45	1.76	24.07
7	0.12	0.07	0.57	5.01	0.29	0.06	0.19	0.00	3.91	1.25	3.84	1.35	3.79	68.08
8	-0.07	0.01	-0.45	0.81	-0.12	0.04	-0.05	0.00	-2.30	0.61	-2.37	0.67	-2.15	11.62

P: Progenitor; 1: Tala; 2: Grey zucchini (seminis); 3: Grey zucchini (Molina Seed); 4: Lolita; 5: Huracán; 6: WA9041; 7: Terminator; 8: Dolarzini, RPP: Rendimiento por planta (g·planta), FPP: Frutos por planta, LFR: Largo de fruto (cm), AFR: Ancho de fruto (cm), DFF: Días a floración femenina, DFM: Días a floración masculina, REN: Rendimiento por hectárea (t·ha⁻¹), ACG: Aptitud combinatoria general, σ^2_{ACE} : Varianza de Aptitud combinatoria específica en el conjunto de las cruzas en que participa el progenitor.

2.5.3. Análisis de cruzas

Las seis cruzas de mayor interés por la magnitud de los efectos genotípicos (ACG y ACE) para rendimiento de calabacita para verdura en promedio de ambientes tuvieron efectos similares. En orden decrecientes éstas son: 1) Huracán x Lolita ACG = 2.6505 < ACE = 11.2145 y con un REN = 52.16 t·ha⁻¹ en la craza directa y

48.87 t·ha⁻¹ en la cruza recíproca, por lo que la cruza se puede utilizar empleando como progenitor femenino a cualquiera de los dos híbridos en cuestión. Predomina la ACE por lo que sólo es utilizable como cruza ya que se espera depresión endogámica en Fn.

2) WA9041 x Lolita con ACG = 5.3113 > ACE = 2.1637 y REN = 51.45 t·ha⁻¹, por lo que puede utilizarse directamente como variedad de polinización libre sin detrimento del rendimiento en generaciones avanzadas (ACG > ACE).

3) Lolita x Tala con ACG = 2.3218 < ACE = 7.3529 y REN = 50.14 t·ha⁻¹, utilizable solamente como cruza ya que ACE > ACG.

4) Grey zucchini M+M x Terminator con ACG = 2.1693 > ACE = -6.5370 y REN = 50.00 t·ha⁻¹, esta cruza se puede utilizar directamente como variedad de polinización libre sin detrimento del rendimiento en generaciones avanzadas (ACG > ACE) y como población base para selección recurrente.

5) Tala x Terminator con ACG = 2.5647 < ACE = 8.4335 y REN = 47.72 t·ha⁻¹, pudiéndose utilizar únicamente como cruza.

6) Lolita x Terminator con ACG = ACE (7.33 t·ha⁻¹) y REN = 44.09 t·ha⁻¹ por lo que en esta cruza son igualmente importantes tanto los efectos aditivos como los de dominancia pudiéndose utilizar como variedad sintética y como población base para selección recurrente.

Nótese que en las seis cruzas con rendimiento numéricamente más alto se encuentra presente en cuatro de ellas el híbrido Lolita y en tres el híbrido Terminator que fueron los progenitores con mayores efectos de ACG (3.545 y 3.788 t·ha⁻¹, respectivamente) (Cuadro 5).

De estos resultados, resalta que tres de las seis mejores cruzas evaluadas tuvieron como progenitores dos híbridos de casas comerciales diferentes y que fueron superados por sus progenies F_1 . Esto debe ser debido a combinación de germoplasma genéticamente contrastante (divergencia genética); y las otras tres cruzas más rendidoras, se obtuvieron entre híbridos progenitores de la misma compañía semillera, tal vez porque tienen diferente información genética. El alto rendimiento de una craza puede deberse a la suma de efectos aditivos de los genes de ambos progenitores, o bien, a los efectos de interacción de los alelos dominantes de un progenitor con los alelos recesivos del otro progenitor (Falconer, 1985).

Cuadro 6. Estructura genética y grado promedio de dominancia ($\bar{d}$) en promedio de ambientes para rendimiento de calabacita de 56 cruzas dialélicas. Chapingo, México. 2007.

Cruza	Progenitores		$\bar{d}$	Núcleo		Citoplasma		REN (t·ha ⁻¹)
	i	j		ACG ($g_i + g_j$)	ACE (S_{ij})	EM ($m_i - m_j$)	ER ($r_{ij} = -r_{ji}$)	
1	1	2	1.10	-4.43	-5.40	-0.93	-1.90	21.09
2	1	3	0.90	-2.84	-2.30	-0.40	-0.03	27.89
3	1	4	1.78	2.32	7.35	-1.59	0.45	41.50
4	1	5	1.49	-2.12	-4.76	-2.54	0.90	27.48
5	1	6	3.20	0.54	5.56	-3.41	0.41	37.87
6	1	7	1.81	2.56	8.43	0.53	-1.12	47.72
7	1	8	0.39	-3.37	0.54	-0.83	1.28	30.64
8	2	1	1.10	-4.43	-5.40	0.93	1.90	24.82
9	2	3	0.58	-4.83	1.65	0.53	-1.28	24.41
10	2	4	2.37	0.33	-1.89	-0.66	0.25	35.34
11	2	5	0.60	-4.11	1.49	-1.61	0.53	28.95
12	2	6	0.49	-1.45	-0.36	-2.48	-2.16	33.49
13	2	7	2.91	0.58	4.90	1.46	2.59	40.78
14	2	8	0.28	-5.36	-0.43	0.10	-1.83	24.91
15	3	1	0.90	-2.84	-2.30	0.40	0.03	28.97
16	3	2	0.58	-4.83	1.65	-0.53	1.28	27.32
17	3	4	1.09	1.93	-2.30	-1.19	-0.97	29.70
18	3	5	0.86	-2.51	-1.89	-2.14	-0.07	26.16
19	3	6	1.16	0.15	-0.20	-3.01	-2.83	28.34
20	3	7	1.73	2.17	-6.54	0.93	0.49	50.00
21	3	8	1.00	-3.77	-3.83	-0.42	2.07	34.15
22	4	1	1.78	2.32	7.35	1.59	-0.45	50.14
23	4	2	2.37	0.33	-1.89	0.66	-0.25	38.62
24	4	3	1.09	1.93	-2.30	1.19	0.97	32.98
25	4	5	2.05	2.65	11.21	-0.95	-0.25	48.87
26	4	6	0.63	5.31	2.16	-1.82	0.16	43.53
27	4	7	1.00	7.33	7.35	2.12	0.45	44.09
28	4	8	1.03	1.39	1.49	0.76	-0.63	25.51
29	5	1	1.49	-2.12	-4.76	2.54	-0.90	26.63
30	5	2	0.60	-4.11	1.49	1.61	-0.53	28.03
31	5	3	0.86	-2.51	-1.89	2.14	0.07	28.64
32	5	4	2.05	2.65	11.21	0.95	0.25	52.16
33	5	6	1.96	0.87	-3.37	-0.87	-0.10	30.88
34	5	7	1.99	2.89	11.55	3.07	0.17	37.55
35	5	8	1.22	-3.05	4.55	1.71	1.03	42.64
36	6	1	3.20	0.54	5.56	3.41	-0.41	44.85
37	6	2	0.49	-1.44	-0.36	2.48	2.16	41.98
38	6	3	1.16	0.15	-0.20	3.01	2.83	44.85
39	6	4	0.63	5.31	2.16	1.82	-0.16	51.45
40	6	5	1.96	0.87	-3.37	0.87	0.10	29.68
41	6	7	1.71	5.55	-9.50	3.94	-1.53	41.94
42	6	8	3.51	-0.38	-4.76	2.58	-2.98	28.50
43	7	1	1.81	2.56	8.43	-0.53	1.12	46.81
44	7	2	2.91	0.58	4.90	-1.46	-2.59	30.07
45	7	3	1.73	2.17	-6.54	-0.93	-0.49	48.91
46	7	4	1.00	7.33	7.35	-2.12	-0.45	36.79
47	7	5	1.99	2.89	11.55	-3.07	-0.17	31.49
48	7	6	1.71	5.55	-9.50	-3.94	1.53	38.33
49	7	8	1.52	1.64	-3.83	-1.36	1.05	35.25
50	8	1	0.39	-3.37	0.54	0.83	-1.28	30.32
51	8	2	0.28	-5.36	-0.43	-0.10	1.83	29.10
52	8	3	1.00	-3.77	-3.83	0.42	-2.07	28.88
53	8	4	1.03	1.39	1.49	-0.76	0.63	29.65
54	8	5	1.22	-3.05	4.55	-1.71	-1.03	31.56
55	8	6	3.51	-0.38	-4.76	-2.58	2.98	34.55
56	8	7	1.52	1.64	-3.83	1.36	-1.05	32.42
DMS								11.24

Clave de progenitores (i: progenitor femenino, j: progenitor masculino): 1: Tala (seminis), 2: Grey Zucchini (Seminis), 3: Grey Zucchini (Molina Seed), 4: Lolita (Seminis), 5: Huracán (Harris Moran), 6: WA9041 (Western Seed), 7: Terminator (Seminis), 8: Dolarzini (Caloro); **ACG** = Aptitud Combinatoria General, ($g_i + g_j$): Efectos aditivos aportados por ambos progenitores a cada cruza; **ACE** = Aptitud Combinatoria Específica, ($S_{ij} = S_{ji}$): Efectos de dominancia resultantes en cada cruza; **EM** = Efectos maternos, ($m_i - m_j$): Efectos maternos aportados por ambos progenitores a cada cruza; **ER** = Efectos recíprocos, ($r_i = -r_j$) aportados por ambos progenitores a cada cruza; **REN** = Medias de rendimiento de calabacita para verdura por hectárea; **DMS** = Diferencia mínima significativa honesta (Tukey, $P \leq 0.05$).

2.5.4. Efectos maternos y recíprocos

Los efectos maternos positivos para rendimiento por planta y por hectárea de los híbridos Lolita, Huracán y WA9041 indican que tales progenitores tienen mayor rendimiento en sus cruzas cuando son usados como progenitor femenino, que en sus respectivas cruzas recíprocas. Los valores negativos de efectos maternos indican lo contrario (Cuadro 7). WA9041 resultó ser un buen progenitor femenino por tener efectos maternos positivos en frutos por planta (0.3958 frutos), rendimiento por planta ($0.075 \text{ g} \cdot \text{planta}^{-1}$) y por hectárea ($2.2658 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$), mostró efectos maternos negativos en días a floración femenina y masculina, lo que indica que sus cruzas directas son más precoces. Los híbridos Lolita y Huracán tuvieron un comportamiento similar a WA9041 en efectos maternos positivos para frutos por planta (0.313 y 0.5938 frutos, respectivamente) y por hectárea (0.4453 y $1.3953 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, respectivamente); sin embargo, Lolita presentó valores negativos para días a floración femenina (-0.2187 d) y huracán positivos (0.5521 d), dichos resultados indican que las cruzas directas del progenitor Lolita son más precoces y las de Huracán más tardías.

En los caracteres largo y ancho de fruto, los efectos maternos fueron positivos en los progenitores Grey Zucchini de seminis (0.0198 y 0.0667 cm , respectivamente) y Dolarzini (0.1042 y 0.0042 cm , respectivamente) lo que significa que las cruzas directas producen frutos más grandes (largos y anchos) que en sus respectivas cruzas recíprocas. Los progenitores Grey Zucchini M+M y Terminator mostraron efectos maternos positivos para largo de fruto (0.1458 y 0.1365 cm , respectivamente) por lo que sus cruzas directas producen frutos más largos que sus respectivas cruzas recíprocas.

Las cruzas (WA9041 x Grey zucchini M+M) $i=6$, $j=3$; (Huracán x Dolarzini) $i=5$, $j=8$; (Lolita x Tala) $i=4$, $j=1$ y (WA9041 x Lolita) presentaron efectos recíprocos, es decir, no tienen el mismo comportamiento fenotípico en la crusa directa que en la recíproca, de esta manera, en la crusa directa tuvieron una media de rendimiento por hectárea de 44.85, 42.64, 50.1 y 51.45 $t \cdot ha^{-1}$, respectivamente, mientras que en la crusa recíproca 28.34, 31.56, 41.50 y 43.53 $t \cdot ha^{-1}$ (Cuadro 6). Cabe indicar que las cruzas (WA9041 x Lolita) y (Lolita x Tala) $i=4$, $j=1$ fueron la segunda y tercer crusa más rendidora por planta y por hectárea cuando se realizó la crusa directa. Sin embargo, presentan efectos recíprocos por lo que se debe tener cuidado al realizar la crusa para mantener altos rendimientos por planta y por hectárea.

Cuadro 7. Efectos maternos de ocho híbridos comerciales progenitores de cruzamientos dialélicos en calabacita tipo Grey Zucchini. Chapingo, México. 2007.

PROGENITOR	RPP (g.planta ⁻¹)	FPP (frutos)	LFR (cm)	AFR (cm)	DFM (días)	DFF (días)	REN (t·ha ⁻¹)
Tala	-0.04	-0.05	-0.09	-0.00	-0.22	-0.05	-1.15
Grey Z. (seminis)	-0.01	0.08	0.02	0.07	0.01	0.10	-0.22
Grey Z. (M+M)	-0.02	-0.15	0.15	-0.03	-0.00	-0.01	-0.74
Lolita	0.01	0.03	-0.07	0.03	-0.07	-0.22	0.45
Huracán	0.04	0.59	-0.11	-0.04	0.57	0.55	1.39
WA9041	0.07	0.39	-0.13	-0.02	-0.34	-0.30	2.27
Terminator	-0.05	-0.77	0.14	-0.01	0.44	0.29	-1.68
Dolarzini	-0.01	-0.13	0.10	0.01	-0.39	-0.36	-0.32

RPP = Rendimiento por planta (g.planta⁻¹); **FPP** = Frutos por planta; **LFR** = Largo de fruto (cm); **AFR** = Ancho de fruto (cm); **DFM** = Días a floración masculina; **DFF** = Días a floración femenina; **REN** = Rendimiento por hectárea (t·ha⁻¹).

2.6. CONCLUSIONES

En la población obtenida de la recombinación de las cruzas F_1 entre híbridos comerciales de calabacita, es más importante la varianza de dominancia para los principales componentes del rendimiento (frutos por planta, largo de fruto y rendimiento por planta); sin embargo, en largo y ancho de fruto, así como en días a floración masculina y femenina es más importante la varianza aditiva. El método de mejoramiento apropiado en la población de referencia sería por hibridación con altas posibilidades de obtener cruzas superiores a los progenitores. En algunas cruzas en particular el método de mejoramiento genotécnico a seguir depende de cuáles efectos son más importantes, los aditivos (selección) ó los de dominancia (hibridación).

Los mejores híbridos progenitores a juzgar por la magnitud de sus efectos positivos de ACG fueron, en orden decreciente: Terminator, Lolita y WA9041. De ellos, el más consistente a través de sus cruzas fue WA9041; mientras que los más inconsistentes fueron Tala y Huracán, por su varianza de ACE a través de las cruzas en que participan.

Terminator y Lolita fueron los mejores híbridos comerciales progenitores para rendimiento por hectárea de calabacita ($44.23 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ y $42.20 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, respectivamente), y el peor fue Tala ($21.92 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$).

De las seis mejores cruzas por su rendimiento de calabacita (hortaliza), tres podrían utilizarse sólo como híbridos ($\text{ACG} < \text{ACE}$): Huracán x Lolita ($52.16 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$); Lolita x Tala ($50.14 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$); Tala x Terminator ($47.72 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$); dos directamente como variedades de polinización libre sin detrimento del rendimiento en generaciones

avanzadas ($ACG > ACE$): WA9041 x Lolita ($51.45 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$); Grey Zucchini M+M x Terminator ($50.00 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) y una como población base para mejoramiento por selección recurrente ya que los efectos aditivos y de dominancia son igualmente importantes en la crucea ($ACG = ACE$): Lolita x Terminator ($44.09 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$).

2.7. LITERATURA CITADA

- COCKERHAM C., C. 1954. An Extension of the concept of partitioning hereditary variance for analysis of covariance among relatives when epistasis is present. *Genetics*. 39:859-882.
- COMSTOCK R.E.; H. ROBINSON, F. 1952. Estimation of Average of Dominance of Genes. *Heterosis*. Ames, Iowa State College Press. pp 494-516.
- FALCONER D, S. 1985. Introducción a la Genética Cuantitativa. Editorial CECSA, México. 135 p.
- GRIFFING V. 1956 a. A generalized treatment of the use of diallel crosses in quantitative inheritance. *Heredity* 10:31-50.
- _____. 1956 b. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing system. *Austr. J. Biol. Sci.* 9:463-493.
- GUTIÉRREZ DEL RÍO, E.; A. PALOMO G.; A. ESPINOZA B.; E. DE LA CRUZ L. 2002. Aptitud combinatoria y heterosis para rendimiento de líneas de maíz en la comarca lagunera, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* Vol 25(3):271-277.
- HALLAUER A., R.; B. MIRANDA J. 1981. Quantitative Genetics in Maize Breeding. Iowa State University Press. Ames, Iowa. pp:268-368.

- KEMPTHORNE, O. 1957. An Introduction to Genetics Statistics. John Wiley And Sons. New York. 545 p.
- MÁRQUEZ S., F. 1988. Genotecnia Vegetal. Tomo II. Métodos, Teoría, Resultados. AGT Editor. México. 665 p.
- MARTÍNEZ G., A. 1983. Diseño y Análisis de los Experimentos de Cruzas Dialélicas. Centro de Estadística y Cálculo, Colegio de Posgraduados, Chapingo, México. 249 p.
- MONTESINOS L., O. A.; A. A. MASTACHE L.; I. LUNA E.; J. V. HIDALGO C. 2007. Mejor predictor lineal e insesgado combinado de los diseños uno y tres de Griffing. Téc. Pecu. Méx. Vol 45(2):131-146.
- SAHAGÚN C., J.; C. VILLANUEVA V. 1997. Teoría de las variedades sintéticas formadas con híbridos de cruza simple. Revista Fitotecnia Mexicana. Vol 20:69-79.
- SERRANO C., L.; L. MENDOZA O. 1990. Formación de híbridos de sorgo para grano III. Proposición de un modelo de selección de progenitores con base en sus parámetros genéticos. Revista Fitotecnia Mexicana Vol 13:44-55.

3. HETEROSIS EN HÍBRIDOS DE CALABACITA TIPO GREY ZUCCHINI

C. Sánchez-Hernández^{1¶}; C. Villanueva-Verduzco²; J. Sahagún-Castellanos²; J. P. Legaria-Solano²; J. Martínez-Solís²; M. Á. Sánchez-Hernández³

¹ Posgrado en Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38,5 Carretera México-Texcoco. Chapingo, Estado de México. C. P. 56230. E-mail: cesarsh79@hotmail.com.

² Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo, Km. 38,5 Carretera México-Texcoco. C. P. 56230. Chapingo, Estado de México. Tel. y Fax: 01 (595) 952-1500.

³ Universidad del Papaloapan. Av. Ferrocarril Hidalgo s/n. Ciudad Universitaria Loma Bonita, Oaxaca, México. C. P. 68400 Tel. y Fax: 01(281) 872-2239.

3.1. RESUMEN

La calabacita no sigue el comportamiento general de endogamia y heterosis de otros cultivos de polinización abierta como maíz y cebolla. La endogamia no necesariamente disminuye el vigor y las líneas seleccionadas podrían tener un rendimiento igual o superior que los híbridos comerciales usados como testigos. Los híbridos comerciales pueden ser usados con éxito y ventajas en programas de mejoramiento genético, por ello, el objetivo del presente trabajo fue: identificar los tipos de heterosis en los híbridos comerciales más usados en México con el propósito de iniciar un programa de hibridación cíclica que permita producir híbridos superiores. Se evaluaron ocho híbridos comerciales de calabacita (*Cucurbita pepo* L.) tipo Grey Zucchini y sus 56 cruzas posibles provenientes de un dialélico en Chapingo, México durante 2007 y 2008, con el modelo II de Gardner y Eberhart

(1966) y se estimó heterosis (media, varietal, específica) y con respecto al mejor progenitor. Los resultados indicaron que hubo heterosis media positiva en todos los caracteres estudiados: rendimiento por hectárea (REN, 1.10 t·ha⁻¹) y por planta (RPP, 13.10 g·planta⁻¹), ancho de fruto (AFR, 0.10 cm), largo de fruto (LFR, 0.50 cm), días a floración femenina (DFF, 3 días) y días a floración masculina (DFM, 3 días). El híbrido 'Terminator' manifestó efectos positivos favorables de heterosis varietal en rendimiento y sus componentes (RPH: 3.62 t·ha⁻¹, RPP: 63.37 g·planta⁻¹, FPP: 0.73 frutos, LFR: 0.33 cm, AFR: 0.20 cm, DFF: 1.66 días y DFM: 1.67 días). Los mejores progenitores para rendimiento por planta y por hectárea fueron 'Terminator' y 'Lolita' porque mostraron mayor heterosis varietal. Las mejores cruzas entre híbridos en heterosis específica (S_{ij}) significativas ($P \leq 0.01$) fueron 'Grey Zucchini M+M' x 'Terminator' (S_{ij} 3.78), 'Huracán' x 'Lolita' (S_{ij} 3.86) y 'Tala' x 'Terminator' (S_{ij} 3.25), las cuáles podrían utilizarse en un programa de mejoramiento genético para explotar los efectos no aditivos mediante hibridación cíclica. Las tres cruzas más precoces, con 44 días a floración femenina, fueron: 'Lolita' x 'Tala', 'WA9041' x 'Tala', 'Dolarzini' x 'Tala' y la más tardía fue la craza 'Terminator' x 'Huracán' (57 días).

Palabras clave: *Cucurbita pepo* L., heterosis, análisis dialélico, rendimiento de fruto.

HETEROSIS AMONG SQUASH HYBRIDS TYPE GREY ZUCCHINI

3.2. ABSTRACT

The squash have not followed the general behavior of inbreeding and heterosis of other cross-pollinated like corn and onion. That inbreeding do not necessarily decrease vigor and selected inbreds could equal or outyield commercial hybrid used as witness. The hybrid ones commercial they can be used with success and advantages in programs of genetic improvement, for it, the objective of the present work was: to identify the heterosis types in the hybrid commercial more used in Mexico with the purpose of beginning a program of recurrent hybridization that allows to produce hybrids superiors. Eight were evaluated hybrid commercial of squash (*Cucurbita pepo* L.) type Grey Zucchini and their 56 cross possible coming from a diallel in Chapingo, Mexico during 2007 and 2008, with the model II of Gardner and Eberhart (1966) was considered heterosis (media, varietal, specific) and with regard to the best progenitor. The results indicated that there was positive heterosis in all the studied characters (REN: 1.10 t·ha⁻¹; RPP: 13.10 g·planta⁻¹; AFR: 0.10 cm; LFR: 0.50 cm; DFF: 3 days and DFM: 3 days). The hybrid 'Terminator' manifested favorable positive effects of heterosis varietal in yield and its components (RPH: 3.62 t·ha⁻¹, RPP: 63.37 g·planta⁻¹, FPP: 0.73 fruits, LFR: 0.33 CM, AFR: 0.20 CM, DFF: 1.66 days and DFM: 1.67 days). The best progenitors for yield for plant and for hectare they were 'Terminator' and 'Lolita' because they showed bigger heterosis varietal. The best cross among hybrid in specific heterosis were 'Grey Zucchini M+M' x 'Terminator' (3x7) (S_{ij} 3.78**), 'Huracán' x 'Lolita' (5x4) (S_{ij} 3.86**) and 'Tala' x 'Terminator' (1x7) (S_{ij} 3.25**), those which they could be used in a program of genetic improvement to exploit the dominance effects by means of recurrent hybridization. The three cross more precocious, with 44 days to feminine flowering, were: 'Lolita' x 'Tala' (4x1), 'WA9041' x 'Tala' (6x1), 'Dolarzini' x 'Tala' (8x1) and the latest was the it crosses 'Terminator' x 'Huracán' (7X5) (57 days).

Additional key words: *Cucurbita pepo* L., heterosis, diallel analysis, fruit yield.

3.3. INTRODUCCIÓN

La identificación de nuevas poblaciones de *Cucurbita pepo* que sirvan como fuente para obtener nuevas líneas que a su vez puedan combinar bien para producir nuevos híbridos superiores ha sido el objetivo de numerosas investigaciones (Stuber, 1994). La expresión de la heterosis depende de las diferencias en las frecuencias génicas de los progenitores, variedades o líneas. La calabacita no sigue el comportamiento general de otros cultivos de polinización abierta como maíz y cebolla (Whitaker and Davis, 1962). La endogamia no necesariamente disminuye el vigor y las líneas seleccionadas podría tener un rendimiento igual o superior que los híbridos comerciales usados como testigos (Scott, 1934). Se ha reportado heterosis significativa en cruza entre variedades y líneas con cierto grado de endogamia (Firpo *et al.*, 1998).

Gardner y Eberhart 1966, propusieron varios métodos de análisis de la heterosis. El más utilizado es el análisis tipo II. Esta metodología puede aplicarse a grupos de individuos de cualquier nivel de endogamia. Típicamente requiere de la evaluación de los padres y los cruzamientos F_1 directos. Este método considera sólo modelos fijos, y por lo tanto, no tiene sentido aplicarlo para la estimación de componentes de varianza genética (modelos aleatorios).

Gardner y Eberhart (1966) señalan que esta metodología permite un análisis más preciso y detallado de los efectos heteróticos que se manifiestan en los cruzamientos. En general este método se ha usado con más frecuencia en el análisis

de cruzamientos dialélicos, en la que los padres son variedades de polinización abierta (Pérez *et al.*, 1995; Machado y Miranda, 2003).

La estimación de los parámetros genéticos se obtiene por medio del análisis de los diseños dialélicos propuestos por Griffing (1956) y Gardner y Eberhart (1966). Estos últimos autores propusieron un análisis alternativo de los datos de cruza dialélicas obtenidos de poblaciones y/o progenitores heterogéneos (“variedades”). El análisis del Método I de Gardner y Eberhart (GEAN I) requiere la evaluación de n progenitores, $n(n-1)/2$ cruza F_1 y la progenie de los progenitores y las cruza, pero proporciona información de la acción génica aditiva, de dominancia, heterosis y depresión endogámica. El Método II (GEAN II) es útil en la evaluación de n poblaciones (variedades) y sus $n(n-1)/2$ cruza F_1 ; la heterosis se particiona en heterosis promedio, varietal y específica; sin embargo, no se pueden estimar los efectos aditivos y de dominancia porque están confundidos con la fuente de variación “variedad”. El Método III (GEAN III) estima los efectos de variedad y Aptitud Combinatoria General (ACG) de un análisis que contiene las siguientes fuentes de variación: progenitores, progenitores vs cruza F_1 , y cruza F_1 ; los efectos de ACG se estiman de manera similar al Método 4 Modelo 1 de Griffing (Gardner y Eberhart, 1966; Murray *et al.*, 2003).

En virtud de que los híbridos comerciales pueden ser usados con éxito y ventajas en programas de mejoramiento genético, el objetivo del presente trabajo fue: identificar híbridos comerciales con valor genético en un programa de mejoramiento para producir variedades de alto rendimiento.

3.4. MATERIALES Y MÉTODOS

Progenitores

Se emplearon ocho híbridos de calabacita tipo 'Grey Zucchini' de diferentes casas comerciales (Cuadro 8). Con ellos se obtuvieron las 56 cruzas posibles (28 directas y 28 recíprocas) en la primavera de 2006, garantizando en cada craza al menos la polinización de 10 plantas del progenitor femenino.

Cuadro 8. Híbridos comerciales de calabacita tipo 'Grey Zucchini' utilizados como progenitores de cruzas dialélicas. Chapingo, México. 2007.

Progenitor	Híbrido	Casa comercial	Origen
1	Tala	Seminis	CHILE, 2003
2	Grey Zucchini	Seminis	USA, 2005
3	Grey Zucchini M+M	Molina Seed	USA, 2003
4	Lolita	Seminis	USA, 2005
5	Huracán	Harris Moran	USA, 2005
6	WA9041	Western Seed	HOLANDA, 2005
7	Terminator	Seminis	USA, 2004
8	Dolarzini	Caloro	USA, 2005

Evaluación experimental

Las cruzas y los progenitores se evaluaron en los años 2007 y 2008 en el Campo Agrícola Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo. En 2007 la siembra se realizó el día 15 de abril (Lote San Martín) y en 2008 el día 20 de abril (Lote San

Bartolo) de forma directa depositando dos semillas por sitio para posteriormente ralear a una planta, en condiciones de riego.

Se usó un diseño experimental bloques al azar con tres repeticiones, la unidad experimental estuvo constituida por parcelas de dos surcos de 5 m de largo separados a 0.8 m con una separación entre plantas de 0.2 m ($62,500 \text{ plantas} \cdot \text{ha}^{-1}$). La fertilización total fue de 120-80-00. Se aplicó 60-80-00 al momento de la siembra, el resto de la fertilización nitrogenada se aplicó en el aporque. Las malezas se controlaron manualmente.

Los caracteres que se estudiaron fueron: peso de fruto por corte (PFR, g) con base en todos los frutos por corte de cada unidad experimental pesados con una balanza granataria; número de frutos por corte (NFR) de un total de 17 cortes; largo y ancho de fruto (LFR, AFR, cm). Estas variables se midieron en una muestra aleatoria de cinco frutos seleccionados por corte. Días a floración masculina y femenina (DFM y DFF) se registraron cuando existía un 50 % de plantas con la primera flor abierta; rendimiento por planta por corte ($\text{g} \cdot \text{planta}^{-1}$) se obtuvo como el cociente del peso de frutos por corte de un total de 17 entre el número de plantas por unidad experimental; así como rendimiento por hectárea ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$).

Heterosis

Gardner y Eberhart (1966) desarrollaron varios tipos de análisis. El más comúnmente utilizado es el análisis II, el cual se usó en este estudio. En este modelo, la expresión del valor fenotípico promedio de cualquier padre o híbrido F_1 , está dada por la

siguiente ecuación: $Y_{jj'} = \mu_v + 1/2(V_j + V_{j'}) + \theta \bar{h}_{jj'}$. Donde: $Y_{jj'}$ = valor promedio esperado para una variedad ($j = j'$) o para un cruzamiento ($j \neq j'$). Si $j = j'$, $\theta = 0$ y si $j \neq j'$, $\theta = 1$. μ_v : es la media de las n variedades parentales. V_j : es el efecto varietal, de la j -ésima variedad. $h_{jj'}$: es el efecto de heterosis que resulta cuando la variedad j se cruza con la variedad j' . Este efecto ocurre solamente en los cruzamientos F_1 . El efecto de la heterosis a su vez puede dividirse así:

$\bar{h}_{jj'} = \bar{h} + h_j + h_{j'} + S_{jj'}$. Donde: $\bar{h}$: es la heterosis promedio de todos los cruzamientos. h_j : es la heterosis varietal producida por la j -ésima variedad y $S_{jj'}$: es la heterosis específica para el cruzamiento entre las variedades j y j' ; es una desviación de la media esperada basada en los efectos $\bar{h} + h_j$.

De acuerdo con Gardner (1967), el efecto de la variedad (V_j), es la diferencia entre la media de un padre “per se” y la media de todos los padres. La heterosis promedio ($\bar{h}$), del grupo de progenitores usados en el estudio es la diferencia entre la media de todos los cruzamientos F_1 y la media de todos los progenitores. La heterosis varietal (h_j), es la contribución de heterosis por la variedad j en sus cruzamientos F_1 , medida como una desviación del promedio de heterosis. La heterosis específica ($S_{jj'}$) entre las variedades j y j' , mide la desviación entre el comportamiento observado de un cruzamiento específico y su comportamiento esperado, basado en el efecto varietal (V_j), la heterosis promedio ($\bar{h}$) y la heterosis varietal (h_j).

Los componentes de heterosis (h_{ij}) tienen las siguientes fórmulas de heterosis media y heterosis varietal:

a) Heterosis media ($\bar{h}$)

$$\bar{h} = \bar{Y}_H - \bar{Y}_V \quad \text{Donde:}$$

$\bar{Y}_H$ = Media de todas las cruzas realizadas

$\bar{Y}_V$ = Media de todos los progenitores involucrados en las cruzas

b) Heterosis varietal (h_i):

$$h_i = \left[\frac{n-1}{n-2} \right] \left[\bar{Y}_i - \bar{Y}_H \right] + \left[\frac{Y_i - \bar{Y}_V}{2} \right] \text{ donde:}$$

n = Número de progenitores

$\bar{Y}_i$ = Media de las cruzas en que interviene el progenitor i

$\bar{Y}_H$ = Media de todas las cruzas realizadas

Y_i = Media del progenitor i

$\bar{Y}_V$ = Media de los progenitores

El primer componente de la ecuación de la heterosis varietal (h_i) corresponde al efecto de las cruzas donde participa la variedad i. En tanto que el segundo corresponde al efecto promedio de la variedad i. Por lo que la heterosis varietal es la heterosis del efecto de las cruzas de una variedad i con respecto al efecto promedio de dicha variedad.

c) Heterosis respecto al mejor progenitor (H_{mp}), se define como:

$$H_{mp} = Y_i - Y_{mp} \text{ donde: } Y_i = \text{Media del progenitor i}$$

Y_{mp} = Media del mejor progenitor de la craza i x j

d) Heterosis específica de cruzas entre los progenitores i j (S_{ij})

$S_{ij} = h_{ij} - \bar{h} - h_i - h_j$ donde:

h_{ij} = Heterosis con respecto al progenitor medio de cada cruce i j

$\bar{h}$ = Heterosis media

h_i = Heterosis varietal del i-ésimo progenitor (cuando participa como hembra)

h_j = Heterosis varietal del j-ésimo progenitor (cuando participa como macho)

Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó con el programa SAS versión 9.0 para microcomputadora, estimando los efectos varietales, heterosis específica, heterosis promedio y heterosis varietal con el procedimiento MIXED de SAS considerando como factor de efectos fijos a los materiales genéticos; y la heterosis con respecto al mejor progenitor ($H_{mp}\%$) se calculó con la fórmula:

$H_{mp\%} = \frac{C - MP}{MP} \times 100$ donde: $H_{mp\%}$ = Heterosis en porcentaje en relación al mejor progenitor; MP = Mejor progenitor; C = Valor de la cruce entre los dos híbridos progenitores.

3.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los cuadrados medios del análisis de varianza de los dos ambientes y los niveles de significancia para este carácter se presentan en el Cuadro 9.

La significancia de heterosis x ambiente indica que las heterosis cambiaron su comportamiento relativo a través de los ambientes. En lo que respecta a la heterosis

promedio por ambiente, además de que también es una comparación de cruzas vs híbridos mostró significancia estadística al ($P \leq 0.05$) indica que al menos una craza es diferente de sus progenitores. En heterosis varietal por ambiente se encontró significancia estadística indicando que la heterosis varietal de los híbridos tuvo un comportamiento diferencial cambiante a través de ambientes, pero tampoco fue muy alta debido probablemente a que varios de los híbridos usados como progenitores están emparentados (cuatro de los ocho híbridos empleados como progenitores son de la misma compañía). La heterosis específica x ambiente fue significativa, revela que la heterosis de las cruzas tuvieron un comportamiento relativo inestable de una localidad a otra.

3.5.1. Heterosis media

La heterosis media  como es la diferencia entre la media de todos los híbridos F_1 (cruzas dialélicas posibles entre los progenitores estudiados) y la media de todos los progenitores; es un primer indicador de la existencia o no de heterosis promedio en el conjunto de los híbridos F_1 formados (cruzamientos dialélicos), con respecto a la población de los progenitores comerciales utilizados. La existencia de heterosis media puede interpretarse como una consecuencia de la divergencia genética entre los híbridos comerciales progenitores, ya que numerosos estudios experimentales de varios autores han mostrado que a mayor divergencia genética entre los progenitores, hay mayor heterosis en las cruzas. Se encontró heterosis media positiva (Cuadro 10) en todos los caracteres estudiados (REN: $1.10 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$; RPP: $13.10 \text{ g} \cdot \text{planta}^{-1}$; AFR: 0.10 cm ; LFR: 0.50 cm ; DFF: 3 días y DFM: 3 días). Este resultado

sugiere que en la población teórica obtenida del dialélico entre ocho híbridos comerciales de calabacita son más importantes los efectos de aptitud combinatoria específica que los de los efectos de aptitud combinatoria general. La heterosis media en días a floración masculina (DFM) y femenina (DFF) mostró efectos positivos, situación no deseada, puesto que refleja ciclos más tardíos de las cruzas.

Cuadro 9. Cuadrados medios del análisis de varianza en siete caracteres de ocho híbridos de calabacita y sus 28 cruzas posibles (Modelo II de Gardner y Eberhart, 1966). Chapingo, México. 2007.

F.V.	G.L.	CUADRADOS MEDIOS						
		RPP (g·planta ⁻¹)	FPP	LFR (cm)	AFR (cm)	DFM (días)	DFF (días)	REN (t·ha ⁻¹)
Ambientes (A)	1	90.61	125.78	20.83**	1.22*	15.77	215.95	119.17
Rep/Amb	4	15.88	9.67	1.28	0.01	3.26	2.17	11..92
Cruzas e Híbridos	36	22.76	35.83**	2.21**	0.18**	74.64**	80.03**	16..48**
Híbridos	7	40.97**	86.12	12.25**	1.17**	32.49**	67064**	39.66
Heterosis	36	18.45**	33.25**	1.34**	0.06	9.22	8.45	10..35**
Heterosis promedio	1	115.72*	17.51*	1.29*	0.11	9.69	5.70	66.38*
Heterosis varietal	7	10.84*	15.34*	0.33	0.03	3.52*	3.38*	25.19*
Heterosis específica	28	45.17**	11.44**	0.42**	0.04*	6.61	7.04	7.68**
Cruzas e Hib. x Amb.	36	15.29	9.59	0.18	0.06	7.42	9.29	9.33
Híbridos x Ambiente	7	22.16	7.86**	0.25**	0.04**	6.96**	6.90**	36.56**
Heterosis x Ambiente	36	9.77	25.92**	0.70	0.07	6.34**	14.98**	5.49
Het. Prom. x Amb.	1	7.55	9.23*	0.62*	0.03*	13.52**	3.83**	4.87
Het. Var. x Amb.	7	6.82	3.78	0.06	0.01	3.58	1.64	5.75
Het. Esp. x Amb.	28	5.36	11.12	0.77	0.03	15.67	7.42	4.83
Error	143							
C.V (%)		13.37	14.30	2.02	2.45	5.85	5.49	13.37

FV = Fuentes de variación; **GL** = Grados de libertad; **RPP** = Rendimiento por planta (g·planta⁻¹); **FPP** = Frutos por planta; **LFR** = Largo de fruto (cm); **AFR** = Ancho de fruto (cm); **DFF** = Días a floración femenina; **DFM** = Días a floración masculina; **REN** = Rendimiento de verdura por hectárea (t·ha⁻¹); **C.V.** = Coeficiente de variación (%); *, ** = Significancia estadística al 5 y 1 %, respectivamente.

3.5.2. Heterosis varietal h_{j-}

El híbrido comercial 'Terminator' manifestó efectos positivos favorables de heterosis varietal en todos los caracteres evaluados, en los principales componentes de rendimiento (RPH: $3.62 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, RPP: $63.37 \text{ g}\cdot\text{planta}^{-1}$, FPP: 0.73 frutos, LFR: 0.33 cm, AFR: 0.20 cm, DFF: 1.66 días y DFM: 1.67 días) (Cuadro 17); sin embargo, los valores de heterosis varietal positivos en días a floración femenina y masculina son indeseables agronómicamente ya que sus cruzas tienden a ser más tardías. Al igual, 'Huracán' mostró una heterosis varietal positiva, en días a floración (DFF: 0.50 y DFM: 1.67), efecto no deseado, pues implica que produce híbridos tardíos (Cuadro 11). Los demás progenitores presentaron valores negativos de heterosis varietal para días a floración femenina situación que los hace deseables para mejorar precocidad ya que en sus cruzas ésta se reduce.

El híbrido 'Tala' también presentó heterosis varietal positiva en rendimiento (REN: $4.26 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, RPP: $73.51 \text{ g}\cdot\text{planta}^{-1}$ y FPP: 2.11 frutos), y el híbrido 'Lolita' heterosis varietal positiva en rendimiento (REN: $0.53 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, RPP: $2.58 \text{ g}\cdot\text{planta}^{-1}$ y LFR: 0.56 cm) (Cuadro 17). Los resultados de la heterosis varietal positiva tanto en los progenitores 'Terminator' (7), 'Tala' (1), y 'Lolita' (4), explican la alta productividad mostrada en sus correspondientes cruzas.

El híbrido 'Dolarzini' fue el que presentó la menor heterosis varietal (negativa) en rendimiento y sus componentes (REN: $-3.15 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, RPP: $-66.0 \text{ g}\cdot\text{planta}^{-1}$, FPP: -1.63 frutos, LFR: -0.51 cm y AFR: -0.16 cm, Cuadro 17), seguido de 'Grey Zucchini' de

Seminis con heterosis varietal en rendimiento (REN: $-2.48 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, RPP: $-34.65 \text{ g}\cdot\text{planta}^{-1}$, FPP: -0.13 frutos, LFR: -0.32 cm y AFR: -0.05 cm) y ‘Grey Zucchini M+M’ (REN: $-1.95 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, RPP: $-26.65 \text{ g}\cdot\text{planta}^{-1}$, FPP: -0.07 frutos, LFR: -0.15 cm y AFR: -0.12 cm).

Con base en lo anterior, para un programa de selección recíproca recurrente, en donde se aprovechan tantos los efectos genéticos aditivos como los no aditivos, los mejores progenitores para rendimiento por planta y por hectárea serían ‘Terminator’ y ‘Lolita’ porque son los que mostraron mayor heterosis varietal.

3.5.3. Heterosis específica S_{ij}

La heterosis específica permitió identificar las cruzas de alto rendimiento con mejores características agronómicas que los progenitores comerciales.

Tres cruzamientos presentaron efectos de heterosis específica (S_{ij}) significativos en rendimiento por hectárea (Cuadro 10): ‘Grey Zucchini M+M’ x ‘Terminator’ (3.78^{**}), ‘Huracán’ x ‘Lolita’ (3.86^{**}) y ‘Tala’ x ‘Terminator’ (3.25^{**}). El valor de heterosis específica positivo y significativo, sugiere que su promedio fue superior, al promedio esperado con base en la g_i de sus progenitores y la media general. En frutos por planta hubo heterosis específica significativa en las cruzas Huracán x Lolita (3.07^{**}), WA9041 x Lolita (3.10^{**}), Tala x Terminator (2.15^{**}) y Grey Zucchini M+M x Terminator (3.76^{**}) (Cuadro 11). Cuatro cruzamientos mostraron heterosis específica significativa en el carácter largo de fruto: WA9041 x Lolita (3.82^{**}), Terminator x Lolita (2.55^{**}), Grey Zucchini M+M x Terminator (2.76^{**}) y WA9041 x Tala (2.51^{**})

(Cuadro 12). En ancho de fruto no hubo significancia estadística en heterosis específica. Las cruzas Lolita x Tala, WA9041 x Tala y Dolarzini x Tala, mantuvieron la precocidad de sus progenitores con 44 días a floración femenina (Cuadro 14).

Tres cruzamientos presentaron efectos de heterosis específica (S_{ij}) significativos en rendimiento por hectárea (Cuadro 16): 'Grey Zucchini M+M' x 'Terminator' (3.25**). El valor de heterosis específica positivo y significativo, sugiere que su promedio fue superior, al promedio esperado con base en la g_i de sus progenitores y la media general.

En rendimiento por hectárea, el mejor cruzamiento fue 'Grey Zucchini M+M' x 'Terminator' con 50.0 t·ha⁻¹ (Cuadro 16), 799.9 g·planta⁻¹ (Cuadro 10) y 17.5 frutos por planta de calabacita en 17 cortes acumulados (Cuadro 11) superando en 15.3 % el rendimiento por hectárea al mejor de sus progenitores (Terminator) (Cuadro 18). Este resultado se explica en parte porque esta craza es la que presentó la mayor heterosis tanto específica (S_{ij}) como heterosis con respecto al mejor progenitor (H_{mp}), situación que sólo permite usarla como híbrido F_1 .

Dos de las mejores cruzas 'Lolita' x Tala (50.14 t·ha⁻¹) y 'Lolita' x 'Terminator' (44.09 t·ha⁻¹) se obtuvieron con progenitores que pertenecen a la misma compañía semillera, lo que indica que presentan alta divergencia genética. Mientras que la craza 'Tala' x 'Grey Zucchini' de Seminis tuvo la heterosis específica más baja, lo que sugiere que estos materiales están genéticamente relacionados.

3.5.4. Heterosis con respecto al mejor progenitor $H_{MP} \%$

La heterosis de mayor significado agronómico, es la que se calcula con respecto al mejor progenitor. La cruza con mayor heterosis con respecto al mejor progenitor en rendimiento por hectárea, por planta y número de frutos por planta, fue 'Grey Zucchini M+M' x 'Terminator' (Cuadro 11) superó en 15.3 % el rendimiento por hectárea ($44.2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), por planta ($707.58 \text{ g}\cdot\text{planta}^{-1}$) y en 1.5 % en frutos por planta (13.6) a su mejor progenitor. Le siguió la cruza 'Lolita' x 'Huracán' superó 25.6 % el rendimiento por planta ($675.3 \text{ g}\cdot\text{planta}^{-1}$) y por hectárea ($42.2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) a su mejor progenitor. La cruza 'Lolita' x 'Tala' promedió un rendimiento por hectárea de $50.14 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, superó en 18.8% el rendimiento con respecto al mejor de sus progenitores (Lolita). La cruza 'Lolita' x 'Terminator' rindió igual que el mejor de sus progenitores ($44.09 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$).

En días a floración femenina (DFF) y masculina (DFM) se encontró heterosis positiva respecto al mejor progenitor, en la cruza 'Huracán' x 'Terminator' (5x7) (DFF, 7.7 %) y (DFM, 1.8 %) (Cuadro 18). Esto significa que las cruzas (de efectos positivos) son más tardías que el progenitor más tardío; lo cual agronómicamente no es deseable; por lo que se preferirían las cruzas con heterosis negativa, que serían las más precoces. En este sentido, la mayoría de las cruzas donde intervinieron como progenitores los híbridos 'Tala', 'Lolita' y 'WA9041' presentaron valores negativos en heterosis con respecto al mejor progenitor indicando que, en general, las cruzas donde intervienen estos progenitores tienen igual calidad agronómica y precocidad que sus progenitores.

Las tres cruzas más precoces, con 44 días a floración femenina, fueron: 'Lolita' x 'Tala' (-2.3), 'WA9041' x 'Tala' (-6.9), 'Dolarzini' x 'Tala' (-2.3), resultado que es consistente con las respectivas heterosis negativas (Cuadro 18) que reflejan precocidad en dichas cruzas. Mientras que las más tardías fueron las cruzas 'Terminator' x 'Huracán' (11.5), 'Terminator' x 'Grey Zucchini de Seminis' (5.8) y 'Huracán' x 'Grey Zucchini M+M' (5.8), presentando valores positivos de heterosis con respecto al mejor progenitor.

Finalmente, en rendimiento por hectárea, las mejores cruzas en heterosis con respecto al mejor progenitor fueron: 'Grey Zucchini de Seminis' x 'Terminator' (17.9 %), 'Lolita' x 'Huracán' (25.6 %) y 'Terminator' x 'Tala' (10.4 %) (Cuadro 18).

Los resultados del presente estudio en calabacita tipo Grey Zucchini coinciden con los de Ruiz (2004) en calabaza, Segura (2008) en calabacita tipo Round Zucchini, Martínez (2004) y Magaña (2006) en jitomate, quienes encontraron cruzamientos dialélicos que superan a los híbridos comerciales progenitores.

Cuadro 10. Rendimiento por planta (RPP g.planta⁻¹) para progenitores (diagonal), híbridos (arriba de la diagonal), heterosis específica (S_{ij}) (debajo de la diagonal), heterosis varietal (h_j), aptitud combinatoria general (ACG) y promedio de los híbridos de ocho progenitores de calabacita. Chapingo, Méx. 2007.

	Progenitores								Heterosis		Promedio
	1	2	3	4	5	6	7	8	h _j	g _i ²	Híbridos
1	350.5	337.2	446.1	664.0	439.7	606.1	763.6	490.2	73.51	-0.04	535.3
2	-45.6	432.2	390.5	565.3	463.1	535.7	652.5	398.6	-34.65	-0.10	477.6
3	-25.1	-60.3	478.8	475.1	418.6	453.4	799.9	546.3	-26.65	-0.05	504.3
4	7.7	-12.9	-21.4	675.3	781.8	696.4	705.3	408.0	2.58	0.11	613.7
5	-11.5	-15.7	-53.6	22.3**	527.3	494.1	600.8	682.3	13.98	-0.03	554.3
6	13.2	2.3	-17.6	27.8	-14.4	575.3	670.9	455.8	-11.35	0.06	558.9
7	27.3**	8.1	33.3**	16.5	-9.7	11.9	707.5	563.8	63.37	0.12	679.6
8	-24.6	-36.2	14.7	-40.6	38.5	-26.3	9.7	562.1	-66.00	-0.07	506.4
Heterosis promedio											13.1
Promedio de progenitores											540.7
Promedio de cruzamientos											553.8

Progenitores 1 = Tala, 2 = Grey Zucchini Seminis, 3 = Grey Zucchini M+M, 4 = Lolita, 5 = Huracán, 6 = WA9041, 7 = Terminator, 8 = Dolarzini.

Cuadro 11. Frutos por planta (FPP) para progenitores (diagonal), híbridos (arriba de la diagonal), heterosis específica (S_{ij}) (debajo de la diagonal), heterosis varietal (h_j), aptitud combinatoria general (ACG) y promedio de los híbridos de ocho progenitores de calabacita. Chapingo, Méx. 2007.

	Progenitores								Heterosis		Promedio
	1	2	3	4	5	6	7	8	h _j	g _i	Híbridos
1	8.3	10.8	10.3	14.8	9.0	13.6	15.8	10.0	2.11	0.03	12.0
2	0.64	9.5	8.6	12.5	10.1	11.5	12.6	8.3	-0.13	-0.53	10.6
3	-0.87	-0.26	9.6	9.6	8.5	8.5	17.5	11.8	-0.07	-0.24	10.7
4	2.28	0.94	-0.52	13.6	13.6	13.8	13.8	8.8	-0.32	0.78	12.2
5	-1.37	-2.17	-1.78	3.07**	11.0	10.3	11.1	13.6	-0.53	-0.38	10.9
6	1.96	0.74	-2.15	3.10**	0.25	11.5	11.5	9.1	-0.55	0.22	11.1
7	2.15**	0.23	3.76**	2.19	0.16	0.09	13.6	10.3	0.73	0.57	13.1
8	-0.88	-3.12	0.27	0.43	2.41	-0.94	0.49	11.8	-1.63	-0.45	10.3
Heterosis promedio											0.3
Promedio de progenitores											11.1
Promedio de cruzamientos											11.4

Progenitores 1 = Tala, 2 = Grey Zucchini Seminis, 3 = Grey Zucchini M+M, 4 = Lolita, 5 = Huracán, 6 = WA9041, 7 = Terminator, 8 = Dolarzini.

Cuadro 12. Largo de fruto (LFR, cm) para progenitores (diagonal), híbridos (arriba de la diagonal), heterosis específica (S_{ij}) (debajo de la diagonal), heterosis varietal (h_j), aptitud combinatoria general (ACG) y promedio de los híbridos de ocho progenitores de calabacita. Chapingo, Méx. 2007.

	Progenitores								Heterosis		Promedio
	1	2	3	4	5	6	7	8	h_j	g_i	Híbridos
1	11.6	10.8	11.1	13.0	12.1	13.6	12.7	12.0	-0.08	-0.03	12.2
2	-0.96	10.9	11.1	12.2	11.5	12.7	12.4	11.2	-0.32	-0.41	11.7
3	0.15	-0.28	11.5	12.5	12.0	12.5	13.5	11.8	-0.15	-0.28	12.1
4	1.17	0.77	0.45	12.4	12.8	14.2	14.0	12.7	0.56	0.29	13.1
5	0.48	-0.66	-0.37	0.18	12.1	12.9	12.2	12.0	-0.33	-0.06	12.2
6	2.51**	0.79	0.16	3.82**	0.48	12.2	13.0	12.4	0.55	0.33	13.0
7	0.47	0.26	2.76**	2.55**	0.63	1.13	12.4	12.6	0.33	0.29	12.9
8	0.09	-0.16	0.07	1.34	0.17	0.88	0.64	12.0	-0.51	-0.12	12.0
Heterosis promedio											0.5
Promedio de progenitores											11.9
Promedio de cruzamientos											12.4

Progenitores 1 = Tala, 2 = Grey Zucchini Seminis, 3 = Grey Zucchini M+M, 4 = Lolita, 5 = Huracán, 6 = WA9041, 7 = Terminator, 8 = Dolarzini.

Cuadro 13. Ancho de fruto (AFR, cm) para progenitores (diagonal), híbridos (arriba de la diagonal), heterosis específica (S_{ij}) (debajo de la diagonal), heterosis varietal (h_j), aptitud combinatoria general (ACG) y promedio de los híbridos de ocho progenitores de calabacita. Chapingo, Méx. 2007.

	Progenitores								Heterosis		Promedio
	1	2	3	4	5	6	7	8	h_j	g_i	Híbridos
1	3.9	3.7	3.9	4.0	4.2	4.0	4.4	4.0	-0.13	-0.12	4.0
2	-0.36	4.0	4.2	4.1	4.3	4.3	4.7	4.0	-0.05	-0.07	4.2
3	-0.78	-0.45	4.1	4.0	4.3	4.1	4.4	4.0	-0.12	-0.05	4.1
4	0.00	0.27	-0.15	4.0	4.6	4.3	4.3	4.1	-0.05	-0.02	4.2
5	0.45	0.72	0.70	1.10	4.4	4.2	4.8	4.2	0.08	0.13	4.4
6	0.22	0.56	0.00	0.86	0.31	4.1	4.2	4.2	0.00	-0.01	4.2
7	0.57	1.43	0.00	0.76	1.77	-0.83	4.4	4.4	0.20	0.19	4.5
8	0.06	-0.08	-0.12	-0.05	-0.19	0.21	0.22	4.2	-0.16	-0.05	4.1
Heterosis promedio											0.1
Promedio de progenitores											4.1
Promedio de cruzamientos											4.2

Progenitores 1 = Tala, 2 = Grey Zucchini Seminis, 3 = Grey Zucchini M+M, 4 = Lolita, 5 = Huracán, 6 = WA9041, 7 = Terminator, 8 = Dolarzini.

Cuadro 14. Días a floración femenina (DFF) para progenitores (diagonal), híbridos (arriba de la diagonal), heterosis específica (S_{ij}) (debajo de la diagonal), heterosis varietal (h_j), aptitud combinatoria general (ACG) y promedio de los híbridos de ocho progenitores de calabacita. Chapingo, Méx. 2007.

	Progenitores								Heterosis		Promedio
	1	2	3	4	5	6	7	8	h_j	g_i	Híbridos
1	42	46	48	44	50	44	52	44	-0.33	-1.43	47
2	-4.16	46	49	46	52	46	54	48	0.00	-0.13	49
3	-2.52	0.64	48	45	54	50	54	45	-1.00	0.59	49
4	0.63	-1.15	-2.27	42	46	46	50	44	-1.50	-1.81	46
5	-0.28	-0.55	-1.68	-3.41	52	52	57	54	0.50	3.56	52
6	-0.37	-0.67	0.45	0.72	-0.34	44	50	46	-0.17	-2.25	48
7	0.22	0.79	0.37	-2.48	6.32	-0.93	52	52	1.66	3.84	53
8	0.19	2.47	-0.61	0.35	4.56	0.28	-0.74	42	-0.33	-2.37	47
Heterosis promedio											3
Promedio de progenitores											46
Promedio de cruzamientos											49

Progenitores 1 = Tala, 2 = Grey Zucchini Seminis, 3 = Grey Zucchini M+M, 4 = Lolita, 5 = Huracán, 6 = WA9041, 7 = Terminator, 8 = Dolarzini.

Cuadro 15. Días a floración masculina (DFM) para progenitores (diagonal), híbridos (arriba de la diagonal), heterosis específica (S_{ij}) (debajo de la diagonal), heterosis varietal (h_j), aptitud combinatoria general (ACG) y promedio de los híbridos de ocho progenitores de calabacita. Chapingo, Méx. 2007.

	Progenitores								Heterosis		Promedio
	1	2	3	4	5	6	7	8	h_j	g_i	Híbridos
1	45	48	50	46	52	46	54	46	-0.83	-1.55	49
2	-4.02	47	52	48	54	48	56	50	-0.50	-0.30	51
3	-2.55	0.65	50	48	56	52	56	48	0.17	0.63	52
4	0.67	-1.23	-2.29	45	49	48	52	46	-2.00	-1.80	48
5	-0.29	-0.57	-1.61	-3.22	54	55	59	56	1.67	3.63	55
6	-0.45	-0.77	0.48	0.79	-0.32	46	52	48	-0.17	-2.21	50
7	0.23	0.85	0.22	-2.56	6.20	-0.90	54	55	1.67	3.91	55
8	0.21	2.19	-0.46	0.37	4.47	0.33	-0.76	44	0.83	-2.30	50
Heterosis promedio											3
Promedio de progenitores											48
Promedio de cruzamientos											51

Progenitores 1 = Tala, 2 = Grey Zucchini Seminis, 3 = Grey Zucchini M+M, 4 = Lolita, 5 = Huracán, 6 = WA9041, 7 = Terminator, 8 = Dolarzini.

Cuadro 16. Rendimiento por hectárea (REN t·ha⁻¹) para progenitores (diagonal), híbridos (arriba de la diagonal), heterosis específica (S_{ij}) (debajo de la diagonal), heterosis varietal (h_j), aptitud combinatoria general (ACG) y promedio de los híbridos de ocho progenitores de calabacita. Chapingo, Méx. 2007.

	Progenitores								Heterosis		Promedio
	1	2	3	4	5	6	7	8	h _j	g _i	Híbridos
1	21.9	21.0	27.8	41.5	27.4	37.8	47.7	30.6	4.26	-1.22	33.4
2	-0.08	27.0	24.4	35.3	28.9	33.4	40.7	24.9	-2.48	-3.21	29.8
3	0.45	0.41	29.9	29.7	26.2	28.3	50.0	34.2	-1.95	-1.61	31.5
4	-0.17	-1.36	-1.94	42.2	48.9	43.5	44.1	29.6	0.53	3.55	38.9
5	-0.95	-0.82	-0.97	3.86**	33.8	30.8	37.5	42.6	-0.28	-0.89	34.6
6	0.15	-0.10	-2.24	2.49	-0.28	35.9	41.9	32.4	-0.40	1.76	35.4
7	2.65**	-0.28	3.78**	2.91	0.77	0.07	44.2	35.2	3.62	3.78	42.4
8	1.43	-2.65	1.67	-0.17	1.82	0.35	0.56	35.1	-3.15	-2.15	32.7
Heterosis media											1.1
Promedio de progenitores											33.7
Promedio de cruzamientos											34.8

Progenitores 1 = Tala, 2 = Grey Zucchini Seminis, 3 = Grey Zucchini M+M, 4 = Lolita, 5 = Huracán, 6 = WA9041, 7 = Terminator, 8 = Dolarzini.

Cuadro 17. Heterosis varietal y heterosis media ($\bar{h}$) de siete caracteres de ocho híbridos comerciales de calabacita tipo Grey Zucchini. Chapingo, México. 2007.

PROGENITOR	RPP (g·planta ⁻¹)	FPP (frutos)	LFR (cm)	AFR (cm)	DFP (días)	DFM (días)	REN (t·ha ⁻¹)
1. Tala	73.51	2.11	-0.08	-0.13	-0.33	-0.83	4.26
2. Grey Z. seminis	-34.65	-0.13	-0.32	-0.05	0.00	-0.50	-2.48
3. Grey Z. M+M	-26.65	-0.07	-0.15	-0.12	-1.00	0.17	-1.95
4. Lolita	38.57	-0.32	0.56	-0.05	-1.50	-2.00	3.07
5. Hurakan	13.98	-0.53	-0.33	0.08	0.50	1.67	-0.28
6. WA9041	-11.35	-0.55	0.55	0.00	-0.17	-0.17	-0.40
7. Terminator	63.37	0.73	0.33	0.20	1.66	1.67	3.62
8. Dolarzini	-66.00	-1.63	-0.51	-0.16	-0.33	0.83	-3.15
$\bar{h}$	13.10	0.30	0.50	0.10	3.00	3.00	1.10

RPP = Rendimiento por planta (g·planta⁻¹); **FPP** = Frutos por planta; **LFR** = Largo de fruto (cm); **AFR** = Ancho de fruto (cm); **DFP** = Días a floración femenina; **DFM** = Días a floración masculina; **REN** = Rendimiento por hectárea (t·ha⁻¹).

Cuadro 18. Heterosis con respecto al mejor progenitor de 56 cruzamientos dialélicos (Modelo II Gardner y Eberhart, 1966) de ocho híbridos comerciales de calabacita tipo Grey Zucchini. Chapingo, México. 2007.

I (♀)	J (♂)	RPP (g.planta ⁻¹) %	FPP (frutos) %	LFR (cm) %	AFR (cm) %	DFF (días) %	DFM (días) %	REN (t·ha ⁻¹) %
1	2	-36.8	-15.8	-6.8	-7.5	0.0	2.1	-36.8
1	3	-16.5	7.3	-4.3	-4.8	-2.1	-4.0	-16.5
1	4	6.9	8.8	4.8	0.0	-2.3	-2.2	6.7
1	5	-20.6	-18.2	0.0	-6.6	-3.8	-3.7	-20.6
1	6	6.97	18.3	11.5	-2.4	-2.3	-2.2	6.7
1	7	12.5	16.2	2.4	-2.2	-3.8	-3.7	12.5
1	8	-8.3	-15.2	0.0	-4.8	-2.3	-2.2	-8.3
2	1	-25.6	-5.3	1.7	-2.5	-2.2	0.0	-25.6
2	3	-22.5	-10.4	-3.4	2.4	-2.1	-2.0	-22.5
2	4	-9.2	-8.1	-1.6	2.5	-2.2	-2.1	-9.2
2	5	-16.3	-8.2	-4.9	-4.4	3.8	-3.7	-16.3
2	6	-5.4	0.0	4.1	4.8	-2.2	-12.9	-5.4
2	7	-3.8	-7.3	0.0	2.2	-5.8	-5.5	-3.8
2	8	-23.8	-29.6	-6.6	-7.1	-2.2	0.0	-23.8
3	1	-13.3	4.2	1.7	-2.4	8.3	-4.0	-13.3
3	2	-13.3	-5.2	-0.9	-2.4	-2.1	-2.0	-13.3
3	4	-23.6	-29.4	-0.8	-2.4	-6.2	-6.0	-23.6
3	5	-24.4	-22.7	-0.8	-4.4	7.7	-3.7	-24.4
3	6	-19.9	-26.1	5.7	0.0	-6.2	-6.0	-19.9
3	7	17.9	28.7	0.0	-8.8	-1.9	-1.8	17.9
3	8	4.4	0.0	-1.6	-7.1	-6.2	-6.0	4.4
4	1	28.9	19.8	6.5	0.0	-2.3	-2.2	28.9
4	2	-0.7	-8.0	-2.4	2.5	-2.2	0.0	-0.7
4	3	-15.2	-20.5	-4.8	2.4	-4.2	-4.0	-15.2
4	5	25.6	0.0	3.2	-2.2	-3.8	-3.7	25.6
4	6	11.9	-4.4	4.0	4.8	-2.3	-2.2	11.9
4	7	3.9	-5.8	3.2	-4.4	-2.3	-3.7	3.9
4	8	-34.4	-35.3	-0.8	-2.4	-7.7	-2.2	-34.4
5	1	-23.0	-20.0	0.8	-6.6	3.8	-3.7	-23.0
5	2	-18.9	-12.7	-4.1	-11.1	7.7	-3.7	-18.9
5	3	-17.2	-17.2	-4.1	-6.6	5.8	-3.7	-17.2
5	4	34.1	8.8	2.4	-6.6	3.8	-3.7	34.1
5	6	-12.7	-10.4	-1.6	-6.6	3.8	-3.7	-12.7
5	7	-11.4	-18.3	-1.6	2.2	7.7	1.8	-11.4
5	8	23.2	15.2	-0.8	-6.6	3.8	-3.7	23.2
6	1	26.7	21.7	6.6	-2.4	6.9	-2.2	26.7
6	2	18.5	11.3	1.6	0.0	-2.2	-2.1	18.5
6	3	26.7	24.4	0.8	0.0	-4.2	-4.0	26.7
6	4	32.2	1.5	8.1	2.4	-4.6	-4.4	32.2
6	5	-16.1	-21.7	2.5	-4.4	-7.7	-7.4	-16.1
6	7	-1.1	-15.4	0.0	-6.6	-9.6	-9.2	-1.1
6	8	-19.4	-22.8	0.0	0.0	0.0	0.0	-19.4
7	1	10.4	0.0	5.6	-4.4	-1.9	-1.8	10.4
7	2	-29.0	-31.6	2.4	-6.6	5.8	-1.8	-29.0
7	3	15.3	1.5	0.8	-2.2	7.7	-1.8	15.3
7	4	-13.2	-15.4	4.8	-6.6	3.8	-3.7	-13.2
7	5	-25.7	-31.6	0.8	2.2	11.5	0.0	-25.7
7	6	-9.6	-24.2	6.5	-2.2	3.8	-1.8	-9.6
7	8	-16.8	-24.2	1.6	-4.4	0.0	-1.8	-16.8
8	1	-9.2	-10.2	-0.8	-7.1	-2.3	-2.2	-9.2
8	2	-11.0	-15.2	-4.2	-7.1	-4.3	-2.1	-11.0
8	3	-11.7	-12.7	-0.8	-4.7	-6.2	-6.0	-11.7
8	4	-23.8	-24.2	0.8	-2.4	-2.3	-2.2	-23.8
8	5	-8.8	-27.9	3.3	0.0	-11.5	-11.1	-8.8
8	6	-2.4	-6.7	5.7	0.0	0.0	0.0	-2.4
8	7	-23.5	-33.0	0.0	-2.2	-11.5	-11.1	-23.5

Clave de progenitores (I = progenitor femenino, J = progenitor masculino): 1: Tala, 2: Grey Zucchini Seminis, 3: Grey Zucchini M+M, 4: Lolita, 5: Huracán, 6: WA9041, 7: Terminator, 8: Dolarzini, **RPP** = Rendimiento por planta (g.planta⁻¹); **FPP** = Frutos por planta; **LFR** = Largo de fruto (cm); **AFR** = Ancho de fruto (cm); **DFF** = Días a floración femenina; **DFM** = Días a floración masculina; **REN** = Rendimiento por hectárea (t·ha⁻¹).

3.6. CONCLUSIONES

Se encontró heterosis significativa en las cruzas entre híbridos de calabacita tipo Grey Zucchini con el modelo II de Gardner y Eberhart (1966) en rendimiento y sus principales componentes (rendimiento por planta, por hectárea y largo de fruto). Los híbridos con los mayores efectos de heterosis varietal para rendimiento por planta y por hectárea fueron 'Terminator', 'Lolita' y WA9041.

Las cruzas entre híbridos que presentaron mayor heterosis específica significativa ($p \leq 0.01$) fueron 'Grey Zucchini M+M' x 'Terminator' (3.78), 'Huracán' x 'Lolita' (3.86) y 'Tala' x 'Terminator' (3.25), estas cruzas podrían ser recomendadas para utilizarlas como híbridos de crusa doble y en un programa de mejoramiento genético para aprovechar los efectos no aditivos mediante hibridación cíclica.

En rendimiento de fruto por planta las cruzas 'Grey Zucchini M+M' x 'Terminator', 'Lolita' x 'Hurakan', 'WA9041' x 'Tala' y 'WA9041' x 'Lolita' tuvieron 17.9, 25.6, 26.7 y 32.2% de heterosis con respecto al mejor progenitor, respectivamente. En frutos por planta, las cruzas 'Grey Zucchini M+M' x 'Terminator', 'WA9041' x 'Tala', 'WA9041' x 'Grey Zucchini M+M', 'Lolita' x 'Tala' superaron al mejor de sus progenitores en 28.7, 21.7, 24.4 y 19.8%, respectivamente.

Las tres cruzas más precoces, con 44 días a floración femenina, fueron: 'Lolita' x 'Tala', 'WA9041' x 'Tala' y 'Dolarzini' x 'Tala' y la más tardía fue la crusa 'Terminator' x 'Huracán' (57 días).

3.7. LITERATURA CITADA

- AYALA T., F. 2002. Híbridos de calabacita (*Cucurbita pepo* L.) cultivados bajo casa sombra. Memorias del XIX Congreso Nacional de Fitogenética. 1 al 5 de Septiembre. Saltillo, Coahuila, México. P. 177.
- ANÓNIMO. 1999. Producción de calabazas y frijol. Revista Claridades Agropecuarias 76:1-36.
- FAO. 2008. Superficie, producción y rendimiento de calabazas en el mundo. <http://www.fao.org>
- FIRPO, I.T., F.S. LÓPEZ A, S.M. GARCÍA Y E.L. COINTRY. 1998. Heterosis in summer squash (*Cucurbita pepo* L.). Cucurbit Genet Coop Rep 21:43-45.
- GARDNER, C. O. AND S. A. EBERHART. 1966. Analysis and interpretation of the variety cross diallel and related populations. Biometrics 22(3): 439-452.
- GARDNER, C. O. 1967. Simplified methods for estimating constants and computing sums of squares for a diallel cross analysis. Fitotecnia Latinoamericana. 4(2): 1-12.
- GRIFFING V. 1956 a. A generalized treatment of the use of diallel crosses in quantitative inheritance. Heredity 10:31-50.
- _____. 1956 b. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing system. Austr. J. Biol. Sci. 9:463-493.
- MACHADO, R. AND MIRANDA, J. B. 2003. Heterosis expression in crosses between maize populations. year yield. Scientia Agricola Vol 60(3):519-524.
- MARTÍNEZ S., J.; PEÑA L., A.; RODRÍGUEZ P, J. E.; VILLANUEVA V, C.; SAHAGÚN C, J.; PEÑA O, M. G. 2004. Heterosis intervartietal y uso de

- generaciones F₂ de híbridos de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.).
Revista Chapingo Serie Horticultura Vol 11(2):299-307.
- MONTESINOS L., O. A.; A. A. MASTACHE L.; I. LUNA E.; J. V. HIDALGO C. 2007.
Mejor predictor lineal e insesgado combinado de los diseños uno y tres de
Griffing. Téc. Pecu. Méx. Vol 45(2):131-146.
- PÉREZ, J. C. CEBALLOS, H., PANDEY, S. AND DÍAS, C. 1995. Analysis of diallel
crosses among Colombian landraces and improved populations of maize.
Crop Science Vol 35(1):572-578.
- RUIZ E., A. SIGARROA Y J. A. CRUZ. 2004. Análisis dialélico del rendimiento y sus
principales componentes en variedades de calabaza (*Cucúrbita moschata*
Duch) I Tabla dialélica de Griffing. Biología. 18: 65-73.
- SCOTT, G.W., 1934. Observations on some inbred lines of bush types of *Cucurbita*
pepo. Proc AMER Soc Hort Sci 32:480.
- STUBER, C.W., 1994. Heterosis in plant breeding. Plant Breed Rev 12:227-251.
- WHITAKER, T.W. AND G.N. DAVIS. 1962. Cucurbits. Interscience Publishers Inc.
New York.

4. ANALISIS DE CRECIMIENTO Y PRODUCTIVIDAD EN HÍBRIDOS DE CALABACITA TIPO GREY ZUCCHINI

C. Sánchez-Hernández^{1¶}; C. Villanueva-Verduzco²; J. Sahagún-Castellanos²; J. Martínez-Solís²; J. P. Legaria-Solano²; M. Á. Sánchez-Hernández³

¹ Posgrado en Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38,5 Carretera México-Texcoco. Chapingo, Estado de México. C. P. 56230. E-mail: cesarsh79@hotmail.com.

² Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo, Km. 38,5 Carretera México-Texcoco. C. P. 56230. Chapingo, Estado de México. Tel. y Fax: 01 (595) 952-1500.

³ Universidad del Papaloapan. Av. Ferrocarril Hidalgo s/n. Ciudad Universitaria Loma Bonita, Oaxaca, México. C. P. 68400 Tel. y Fax: 01(281) 872-2239.

4.1. RESUMEN

Se realizó un análisis de crecimiento y ensayos de evaluación para conocer las diferencias en acumulación de biomasa y el rendimiento en ocho híbridos comerciales de calabacita 'Grey Zucchini' en Chapingo, México durante 2006, 2007 y 2008. El diseño experimental utilizado fue bloques completos al azar con tres repeticiones y la unidad experimental dos surcos de 5 m, separados a 0.8 m y 0.2 m entre plantas (62,500 plantas-ha⁻¹). Los resultados del análisis combinado sobre ambientes indicaron que los híbridos 'Huracán' y 'Terminator' tuvieron la mayor acumulación de área foliar y peso seco por planta superando en 41.5 % en biomasa a 'Tala'. La máxima área foliar se alcanzó a los 70 días después de la siembra (dds) en 'Tala', 'WA9041', 'Dolarzini' y 'Lolita'; y a los 85 dds en 'Terminator' y 'Huracán'. El valor más alto de índice de cosecha (IC) se obtuvo con el híbrido 'Lolita' (0.40) y el menor con 'Tala' (0.29). 'Terminator' y 'Lolita' fueron los mejores híbridos en

rendimiento por planta y por hectárea, número y largo de frutos. Los híbridos 'WA9041', 'Dolarzini', 'Tala' y 'Lolita' fueron los más precoces con 45 días a floración femenina y los más tardíos 'Huracán' y 'Terminator' con 54 días a floración femenina.

Palabras Clave Adicionales: *Cucurbita pepo* L., biomasa, componentes del rendimiento.

COMBINING ABILITY EFFECTS IN SUMMER SQUASH HYBRIDS TYPE GREY ZUCCHINI

4.2. ABSTRACT

A growth analyses and evaluation assays were carried out to know the level of biomass accumulation and yield of eight commercial hybrids of summer squahs 'Grey Zucchini' in Chapingo Mexico, during 2006, 2007 and 2008. The experimental design used was complete randomized block with three replications. The experimental plot was two rows of five meters long, with rows separation of 0.80 m and 0.2 m between plants (62,500 plants·ha⁻¹). The results of the analysis combined indicated that the hybrid Hurakan and Terminator had largest leaf area accumulation and dry weight for plant overcoming in 41.5 % in biomass to Tala. The maximum leaf area occurred at 70 days after planting (dap) in Tala, WA9041, Dolarzini and Lolita; and to the 85 dap in Terminator and Hurakan. The largest value in crop index was obtained with the hybrid Lolita (0.40) and the minor with Tala (0.29). Terminator and Lolita showed the largest fruit yield per plant and per hectare, number and size of fruits. The hybrids

WA9041, Dolarzini, Tala, and Lolita were the most precocious with 45 days to female flowering and the latest Hurakan and Terminator with 54 days to female flowering.

Additional Key Words: *Cucurbita pepo* L., biomass, yield components.

4.3. INTRODUCCIÓN

Las empresas semilleras liberan constantemente nuevos genotipos mejorados y los distribuyen en las regiones productoras del país. Sin embargo, es importante realizar pruebas de adaptación de las nuevas variedades e híbridos para observar como se comportan agronómicamente en las condiciones ambientales de la región en donde se pretende introducirlos. Los agricultores seleccionan los híbridos de calabacita tomando en cuenta sus características de calidad, color, tamaño, textura, resistencia a plagas y enfermedades. Uno de los principales problemas en el cultivo de calabacita es el control deficiente de plagas y enfermedades, lo que frecuentemente provoca bajos rendimientos y grandes pérdidas económicas. Por ello es importante evaluar comparativamente el crecimiento y el rendimiento de las variedades e híbridos comerciales en diferentes ambientes para conocerlos con rigor.

Para estudiar los procesos de acumulación y distribución de biomasa, se dispone del análisis de crecimiento vegetal mediante índices de eficiencia fisiológica, como: tasa de asimilación neta (TAN), tasa absoluta de crecimiento (TAC), tasa relativa de crecimiento (TRC) e índice de área foliar (IAF), entre otros. Este análisis permite entender el efecto de diferentes niveles de riego, de densidad de plantas,

fertilización, en la fisiología y rendimiento de genotipos; permite explicar el comportamiento diferencial de la producción y rendimiento entre variedades que crecen en las mismas condiciones. La bioproductividad de un cultivo puede conocerse con la producción primaria neta o el rendimiento total; en los cultivos es de importancia el rendimiento económico, es común expresarlo como índice de cosecha, que es la proporción de la producción total de biomasa que se destina a las partes cosechadas de la planta (IC) y se expresa con la ecuación: $IC = (\text{rendimiento económico} / \text{rendimiento biológico}) \times 100$ (Beadle, 1988). Otros índices de eficiencia son: la tasa absoluta de crecimiento (TAC) que se define como el incremento del material vegetal por unidad de tiempo, y se expresa en $\text{g} \cdot \text{día}^{-1}$; tasa relativa de crecimiento (TRC), que se define como el incremento del material vegetal por unidad de biomasa y por unidad de tiempo, se expresa en $\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$ y representa la eficiencia de la planta como productora de nuevo material; y la tasa de asimilación neta (TAN), que se define como el incremento del material vegetal por unidad del sistema asimilativo y por unidad de tiempo, se expresa en $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$ (Hunt, 1990). El objetivo del presente trabajo fue evaluar el crecimiento y rendimiento de ocho híbridos comerciales de calabacita tipo 'Grey Zucchini' en el Campo Agrícola Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo.

4.4. MATERIALES Y MÉTODOS

Progenitores

Se emplearon los ocho híbridos de calabacita tipo 'Grey Zucchini' de diferentes casas comerciales indicados en el Cuadro 19.

Cuadro 19. Híbridos comerciales de calabacita tipo 'Grey Zucchini' evaluados en el campo agrícola experimental de la Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 2007.

Progenitor	Híbrido	Casa comercial	Origen
1	Tala	Seminis	CHILE, 2003
2	Grey Zucchini	Seminis	USA, 2005
3	Grey Zucchini M+M	Molina Seed	USA, 2003
4	Lolita	Seminis	USA, 2005
5	Hurakán	Harris Moran	USA, 2005
6	WA9041	Western Seed	HOLANDA, 2005
7	Terminator	Seminis	USA, 2004
8	Dolarzini	Caloro	USA, 2005

Localización y manejo agronómico

Los híbridos se evaluaron durante los años 2006, 2007 y 2008 en el Campo Agrícola Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo. En el año 2006 la siembra se realizó el día 15 de abril (Lote San Martín), en 2007 el día 20 de abril (Lote San Bartolo) y en 2008 el 22 de abril (Lote San Martín) de forma directa depositando dos semillas por golpe para posteriormente ralea a una planta, bajo condiciones de

riego. Se usó un diseño experimental bloques al azar con tres repeticiones, la unidad experimental estuvo constituida por parcelas de dos surcos de 5 m de largo separados a 0.8 m con una separación entre plantas de 0.2 m ($62,500 \text{ plantas} \cdot \text{ha}^{-1}$). La fertilización total fue de 120-80-00 aplicando 60-80-00 al momento de la siembra, el resto de la fertilización nitrogenada se aplicó en el aporque. Las malezas se controlaron manualmente, y se realizó una aplicación de cal a la base del cuello de la planta para prevenir enfermedades de la raíz.

Análisis de crecimiento

El análisis de crecimiento se hizo con el método de Hunt (1990), con base en cinco muestreos aleatorios de tres plantas cada uno, de plantas cortadas a ras de piso cada 15 días (esta actividad sólo se realizó en el año 2006). En las plantas muestreadas se midió altura de planta (cm) del cuello de la raíz hasta el punto de crecimiento, área foliar ($\text{m}^2 \cdot \text{planta}$) con un integrador y peso seco ($\text{g} \cdot \text{planta}^{-1}$) de toda la planta (previo secado a 70°C por 72 h, hasta peso constante). Con los datos registrados se estimaron la tasa absoluta de crecimiento (TAC), la tasa relativa de crecimiento (TRC), la tasa de asimilación neta (TAN) y el índice de cosecha (IC). La TAC se expresó en $\text{g} \cdot \text{d}^{-1}$ y se calculó mediante la fórmula: $\text{TAC} = (P_2 - P_1) / (t_2 - t_1)$, donde P_1 y P_2 son los pesos en los tiempos 1 y 2, respectivamente; la TRC se expresó en $\text{g} \cdot \text{g} \cdot \text{día}^{-1}$, y se calculó con la fórmula: $\text{TRC} = (\ln P_2 - \ln P_1) / (t_2 - t_1)$; la TAN se expresó en $\text{g} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{día}^{-1}$, y se calculó mediante la fórmula: $\text{TAN} = (P_2 - P_1) (\ln A_2 - \ln A_1) / (A_2 - A_1) (t_2 - t_1)$, donde; A_1 y A_2 son las áreas en los tiempos 1 y 2. En la cosecha se determinó peso de fruto por corte (PFR, g) con base en todos los frutos

por corte de cada unidad experimental pesados con una balanza granataria; número de frutos por corte (NFR) de un total de 17; largo y ancho de fruto (LFR, AFR, cm) de una muestra aleatoria de cinco frutos medidos con un vernier; días a floración masculina y femenina (DFM y DFF), registrados cuando existía un 50 % de plantas con flores abiertas; rendimiento por planta por corte ($\text{g}\cdot\text{planta}^{-1}$) se obtuvo como el cociente del peso de frutos por corte de un total de 17 entre el número de plantas por unidad experimental y rendimiento por hectárea ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$). También se contabilizó el número de plantas con incidencia de virus por unidad experimental.

Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó con el programa SAS versión 9.0 para microcomputadora. Se realizó un análisis de varianza combinado a través de ambientes de evaluación, y pruebas de comparación de medias por Tukey ($P \leq 0.05$). Las curvas de crecimiento y acumulación de materia seca de los híbridos se realizaron con el programa Excel.

4.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Dinámica del crecimiento y acumulación de materia seca

Los híbridos de calabacita tuvieron una dinámica de acumulación de biomasa de la planta total tipo sigmoideal (Figura 1). Esta dinámica de crecimiento coincide con la reportada por Sedano *et al.* (2005) al analizar el crecimiento y la eficiencia fisiológica

de la planta de calabacita híbrido 'Tala' en Montecillos, Estado de México, y es similar a la de cilantro (*Coriandrum sativum*) como lo reportaron Hernández *et al.* (1999), y a la de *Cucurbita moschata* según Chen-Yuan *et al.* (1997). Los híbridos que tuvieron una mayor acumulación de peso seco total de la planta a los 70 dds y que fueron estadísticamente superiores a los demás fueron Terminator (200 g·planta⁻¹), seguido de Huracán (180 g·planta⁻¹) y Lolita (170 g·planta⁻¹), los que tuvieron la menor acumulación de materia seca fueron Tala (140 g·planta⁻¹), Grey Zucchini de seminis y Dolarnini con 155 g·planta⁻¹. La mayor acumulación de materia seca del híbrido Terminator se reflejó en una mayor cantidad de frutos por planta y de mayor tamaño, siendo el que tuvo el mayor rendimiento por planta y por hectárea. La superioridad de Terminator y Huracán en acumulación de biomasa sobre los demás híbridos se atribuye a su mayor área foliar, ya que la magnitud del área foliar es el principal factor que determina la producción de biomasa en los cultivos agrícolas al asociarse directamente con la cantidad de radiación interceptada y la producción de fotoasimilados (Jefferies y Mackerron, 1989).

El área foliar presentó el mismo comportamiento que la acumulación de materia seca. Se observó una fase de crecimiento lenta hasta los 30 días después de la siembra (dds), atribuible a que durante este lapso la planta desarrolla el sistema radical para procurar un mejor anclaje y suministro de agua y nutrientes, y posteriormente ocurre un crecimiento acelerado hasta alcanzar la máxima acumulación de área foliar a los 70 dds en la mayoría de los genotipos evaluados; sin embargo, en Terminator y Huracán es alrededor de los 85 dds (Figura 2).

Sin embargo, los híbridos Terminator y Huracán mantuvieron por más tiempo el área foliar, ya que hasta el último muestreo a los 85 dds el área foliar siguió aumentando (1.7 y 1.5 $\text{m}^2\cdot\text{planta}^{-1}$, respectivamente), mientras que en los demás híbridos se observó una marcada senescencia de su área foliar, por lo que en dichos híbridos pudieran darse más cortes de calabacita (adicionales a los 17 cortes realizados en todos los materiales evaluados).

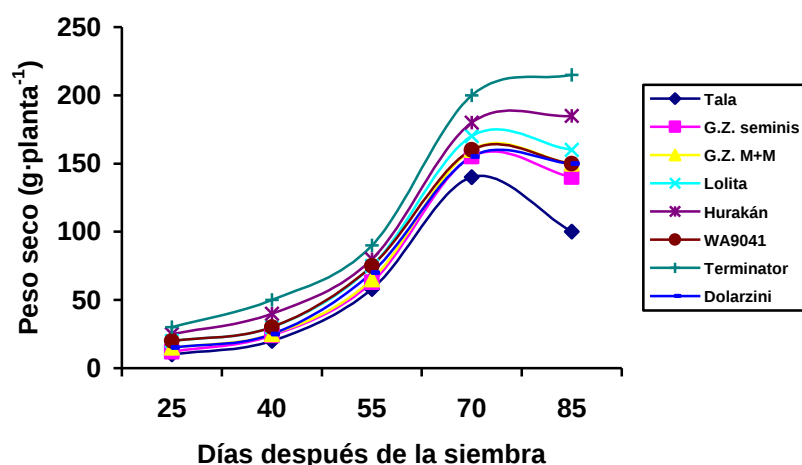


Figura 1. Peso seco total ($\text{g}\cdot\text{planta}^{-1}$) de ocho híbridos de calabacita tipo Grey Zucchini, Chapingo, México. 2006-2008.

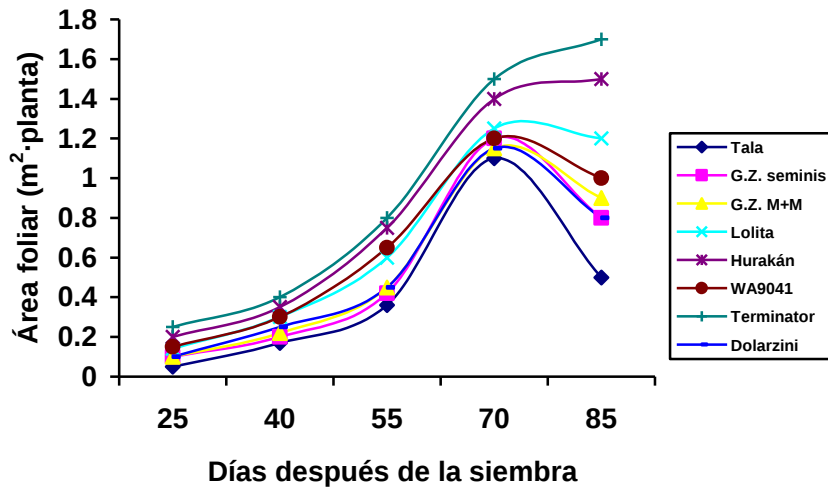


Figura 2. Área foliar ($\text{m}^2 \cdot \text{planta}^{-1}$) de ocho híbridos de calabacita tipo Grey Zucchini. Chapingo, México. 2006-2008.

Eficiencia de crecimiento de la planta completa

La tasa absoluta de crecimiento (TAC) mostró una cinética de crecimiento similar a la del área foliar, con un máximo a los 70 dds ($8.2 \text{ g} \cdot \text{día}^{-1}$) en 'Lolita', seguido de 'WA9041' ($7.5 \text{ g} \cdot \text{día}^{-1}$) dentro de los materiales precoces, mientras que en 'Terminator' y 'Huracán' fue alrededor de los 85 dds (Figura 3a) con valores de 11.1 y $10.0 \text{ g} \cdot \text{día}^{-1}$, respectivamente. A los 85 dds la TAC tiende a disminuir en la mayoría de los genotipos, siendo más marcado en 'Tala' ($2.4 \text{ g} \cdot \text{día}^{-1}$), 'Dolarzini' ($4.8 \text{ g} \cdot \text{día}^{-1}$), 'WA9041' ($5 \text{ g} \cdot \text{día}^{-1}$), 'Grey Zucchini' de seminis ($5.2 \text{ g} \cdot \text{día}^{-1}$) y 'Grey Zucchini' M+M ($5.5 \text{ g} \cdot \text{día}^{-1}$) (Figura 3a), debido al área foliar senescente; por su parte en 'Terminator' y 'Huracán' permaneció constante. Al respecto, Torres (1984) señaló que la TAC puede alcanzar un máximo en un tiempo corto o mantenerse por un tiempo mayor.

La tasa relativa de crecimiento (TRC), equivale a la actividad de la demanda del dosel, alcanzó el valor máximo a los 40 dds en 'Terminator' ($0.45 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$), seguido de 'Huracán' ($0.40 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$), mientras que en los materiales precoces el valor máximo se obtuvo en 'Lolita' ($0.36 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$), seguido de 'WA9041' ($0.28 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$) (Figura 3b), el menor valor se obtuvo con 'Tala' ($0.15 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$). La TRC decreció con la edad, atribuible a la reducción proporcional del tejido meristemático en la planta.

La tasa de asimilación neta (TAN), que se puede considerar un estimador de la actividad fotosintética, fue creciente hasta los 40 dds en los genotipos más precoces 'Lolita', 'WA9041', 'Dolarzini' y 'Lolita' con valores máximos de 24.1, 23.5, 22.7 y $16.78 \text{ g} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{día}^{-1}$, respectivamente; y hasta los 48 dds en los más tardíos 'Terminator' y 'Huracán' con valores de 27.2 y $25.13 \text{ g} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{día}^{-1}$, respectivamente (Figura 3c). En los genotipos mas precoces la TAN se redujo drásticamente después de los 70 dds atribuible a la senescencia foliar.

El índice de cosecha (IC) de la calabacita para verdura fue de 0.29, 0.32 y 0.35 en los genotipos precoces 'Tala', 'Dolarzini' y 'WA9041', respectivamente; mientras que en 'Huracán' y 'Terminator' fue de 0.36 y 0.39, respectivamente. En el caso de Lolita el IC fue el más alto (0.40). En general, el IC es considerado bajo comparado con el del trigo que es de 0.60. En términos de eficiencia medida con respecto al tiempo, el híbrido 'Lolita' es más eficiente porque entra más pronto a producción que 'Terminator' y 'Huracán', y con rendimiento por planta y por hectárea de verdura estadísticamente similar a 'Terminator'.

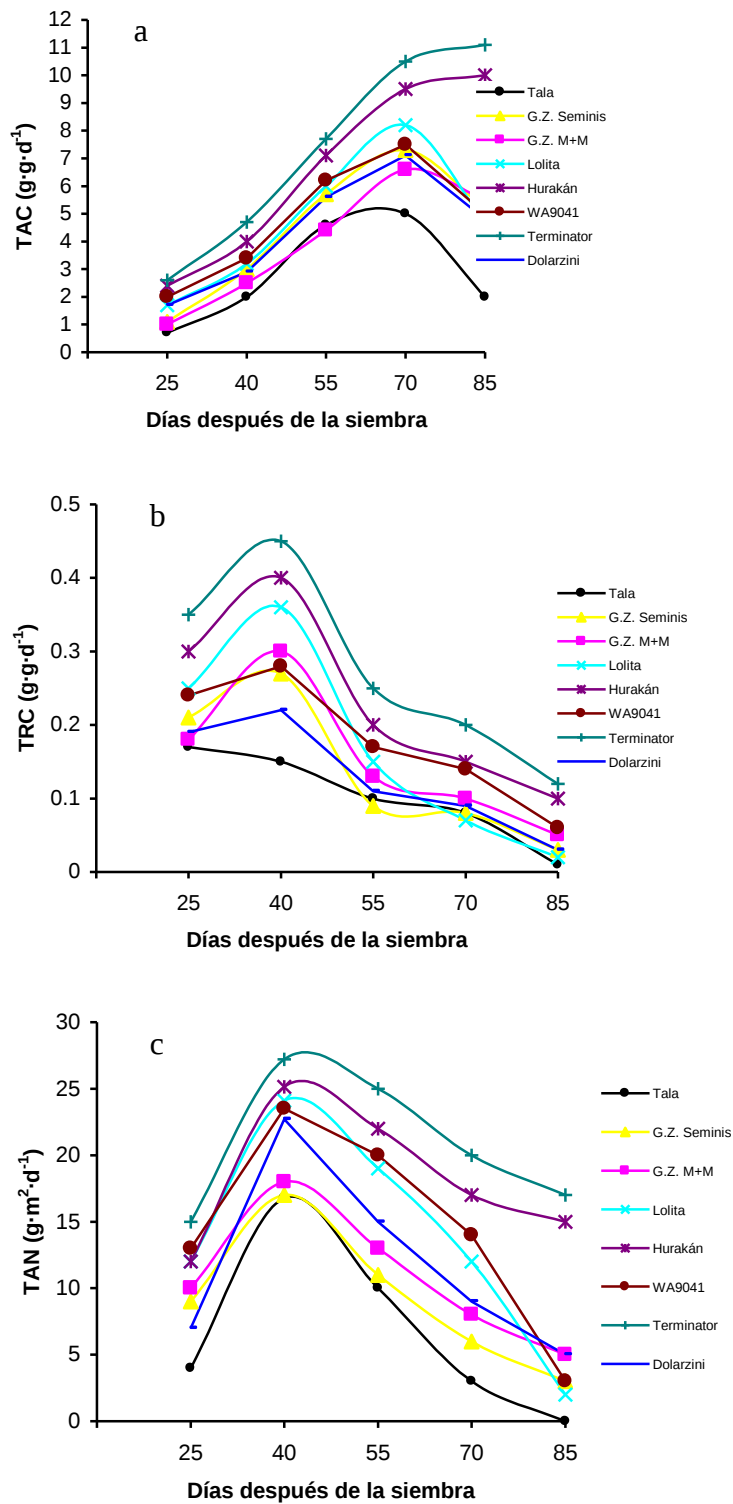


Figura 3. Tasa absoluta de crecimiento (a), tasa relativa de crecimiento (b) y tasa de asimilación neta (c) de la parte aérea de ocho híbridos de calabacita. Chapingo, Méx. 2006.

Rendimiento y sus componentes

Los cuadrados medios combinados sobre ambientes y los niveles de significancia para los caracteres rendimiento por planta (RPP, g), rendimiento de calabacita para verdura por hectárea (REN, t·ha⁻¹), frutos por planta (FPP), largo de fruto (LFR, cm) y ancho de fruto (AFR, cm) se presentan en el Cuadro 20. Se encontraron diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) en la fuente de variación localidades para los caracteres días a floración femenina y masculina indicando que la floración cambió a través de los años de evaluación. También hubo diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) entre tratamientos para todos los caracteres evaluados, lo cual se puede atribuir a que los materiales provienen de diferentes casas comerciales, lo que hace posible identificar y diferenciar híbridos precoces, tardíos, frutos más grandes (largos y anchos) y sobre todo, híbridos con rendimiento de verdura contrastante.

Cuadro 20. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado para siete caracteres en calabacita tipo 'Grey Zucchini'. Chapingo, México. 2006-2008.

F.V.	G.L.	CUADRADOS MEDIOS						
		RPP	FPP	LFR	AFR	DFF	DFM	REN
Loc (L)	2	20088	5.56	0.02	0.04	46.18**	58.72**	19.58
TRA	7	512682**	45.35**	2.40**	0.40**	152.27**	147.92**	500.56**
LOC x TRA	14	24605	3.72	0.21	0.02*	2.54*	2.73*	24.05
BLO (LOC)	6	33005	4.51	0.16	0.01	1.88	1.26	32.19
Error	42	20276	2.67	0.13	0.006	0.92	0.72	19.79
Total	71							
Media		1083	11.26	11.90	4.15	47.52	49.73	33.84
C.V (%)		13.15	14.50	3.11	2.45	5.85	5.49	13.15
R ²		0.83	0.78	0.78	0.92	0.96	0.97	0.83

FV = Fuentes de variación; GL = Grados de libertad; RPP = Rendimiento por planta (g·planta⁻¹); FPP = Frutos por planta; LFR = Largo de fruto (cm); AFR = Ancho de fruto (cm); DFF = Días a floración femenina; DFM = Días a floración masculina; REN = Rendimiento por hectárea (t·ha⁻¹); C.V. Coeficiente de variación (%); *, ** = Significancia estadística al 5 y 1 %, respectivamente.

Rendimiento por planta (RPP, g.planta⁻¹). Se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre los híbridos evaluados. La prueba de comparación de medias de Tukey detectó diferencias entre las medias de los tratamientos; 'Terminator' y 'Lolita' difieren estadísticamente de los demás híbridos con un rendimiento por planta de 707.5 y 675.3 g.planta⁻¹, respectivamente (Cuadro 21). El híbrido Tala promedió el menor rendimiento por planta con 350.5 g.

Frutos por planta (FPP). Se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre tratamientos. La prueba de comparación de medias de Tukey detectó diferencias entre las medias de los híbridos evaluados. 'Terminator' y 'Lolita' presentaron las medias más altas en el número de frutos por planta con 14.3 y 14.2, respectivamente (Cuadro 21). Resalta el hecho de que ambos híbridos pertenecen a la misma compañía semillera y probablemente compartan alguna línea en común. Fueron seguidos de los híbridos WA9041 y Dolarzini con 12.1 y 11.5 frutos por planta respectivamente, y el peor híbrido fue Tala con 8.1 frutos por planta. Las variedades Grey Zucchini de Seminis y Grey Zucchini de Molina Seed generaron 9.3 y 9.7 frutos por planta, pese a ser variedades produjeron más frutos por planta que el híbrido Tala, tal comportamiento se atribuye a que este último lleva al menos 25 años en el mercado y las variedades son de más reciente liberación.

La menor cantidad de frutos por planta producidos por el híbrido Tala (8.1) concuerda con lo obtenido por Sedano *et al.* (2005) que estudió la dinámica del crecimiento y eficiencia fisiológica de la planta de calabacita con el híbrido Tala del que reporta 7.25 frutos cosechados por planta.

Largo de fruto (LFR, cm). En largo de fruto la prueba de comparación de medias de Tukey detectó diferencias significativas. Los híbridos 'Terminator', 'Lolita' y 'WA9041' tuvieron los valores más altos con 12.5, 12.4 y 12.4 cm, respectivamente (Cuadro 21). Los híbridos 'Grey Zucchini' M+M, 'Dolarzini' y 'Tala' promediaron un largo de fruto de 11.8, 11.4 y 11.4 cm, y la menor longitud de fruto se obtuvo con la variedad 'Grey Zucchini' de seminis. Aunque el tamaño no está incluido en los grados de calidad de las normas estadounidenses cuando se exporta calabacita, en los contratos comerciales puede especificarse un diámetro o una longitud mínima, máxima o ambas.

Ancho de fruto (AFR, cm). En ancho de fruto los híbridos 'Huracán' y 'Terminator' son los que producen frutos más anchos con un valor de 4.4 cm para ambos, y estadísticamente ($P \leq 0.05$) diferentes de los demás, los híbridos 'Lolita', 'WA9041', 'Dolarzini', y las variedades 'Grey Zucchini' de Seminis y 'Grey Zucchini' M+M promedian frutos de 4.0 cm y 'Tala' presentó el menor valor en ancho de fruto con 3.8 cm (Cuadro 21). El mayor potencial de rendimiento del híbrido 'Terminator' se explica por presentar frutos largos, anchos y en mayor cantidad en comparación a los demás híbridos, y aunque 'Huracán' también presenta frutos anchos y largos, produce menor cantidad de frutos por planta y son de color verde oscuro lo que los hace menos atractivos al consumidor.

Días a floración femenina (DFF). Los híbridos más precoces fueron Dolarzini, WA9041, Lolita y Tala con 44, 44, 45 y 45 días a floración femenina,

respectivamente, las variedades Grey Zucchini de Seminis y Grey Zucchini M+M intermedias con 47 y 48 DFF y las más tardías fueron los híbridos Huracán y Terminator con 54 días en ambos (Cuadro 21).

Días a floración masculina (DFM). Los híbridos más tardíos precoces fueron Dolarzini, WA9041, Lolita y Tala con 46, 46, 47 y 47 días a floración masculina, respectivamente, las variedades Grey Zucchini de Seminis y Grey Zucchini M+M intermedias con 49 y 50 DFM y las más tardías fueron los híbridos Huracán y Terminator con 56 días (Cuadro 21).

Rendimiento por hectárea (REN, t·ha⁻¹). La comparación de medias detectó diferencias significativas en rendimiento entre los híbridos de calabacita. El híbrido 'Terminator' en promedio de tres años de evaluación rindió 44.5 t·ha⁻¹ y es estadísticamente ($P \leq 0.05$) igual al híbrido 'Lolita' con 42.7 t·ha⁻¹, ambos híbridos son de la misma compañía semillero. 'WA9041' y 'Huracán' tuvieron un rendimiento intermedio con 36.2 y 32.7 t·ha⁻¹, y las variedades 'Grey Zucchini' de Seminis y 'Grey Zucchini' de Molina Seed promediaron 27.0 y 29.9 t·ha⁻¹, mientras que el rendimiento más bajo se obtuvo con el híbrido 'Tala' (22.6 t·ha⁻¹) (Cuadro 21). Estos rendimientos de calabacita para verdura son similares a los obtenidos con los mejores híbridos evaluados por el INIFAP Campo Experimental Valle del Yaqui, en el Sur de Sonora donde se siembran 1000 hectáreas de calabacita por ciclo agrícola. De 12 híbridos de calabacita evaluados durante el ciclo agrícola 2008-2009, reportan rendimientos de 44.3 t·ha⁻¹ en 'SSX6729', 'Huracán' 39 t·ha⁻¹, 'Adelita' 44.1 t·ha⁻¹ y 'Grisón' 43.1

t·ha⁻¹ (INIFAP, 2009). El menor rendimiento por hectárea del híbrido 'Tala' se explica por el hecho de que lleva al menos 25 años en el mercado mientras que los demás híbridos son de más reciente liberación, con mejores características de adaptación, resistencia a enfermedades.

Sedano *et al.* (2005) estudió la dinámica del crecimiento y eficiencia fisiológica de la planta de calabacita con el híbrido 'Tala' en Montecillos, Texcoco, Estado de México reportó un rendimiento de fruto inmaduro para verdura de 21.79 t·ha⁻¹, rendimiento similar al encontrado en la presente investigación en promedio de tres años de evaluación (21.9 t·ha⁻¹).

Cuadro 21. Prueba de comparación de medias en siete caracteres de rendimiento de ocho híbridos de calabacita. Chapingo, México. 2007.

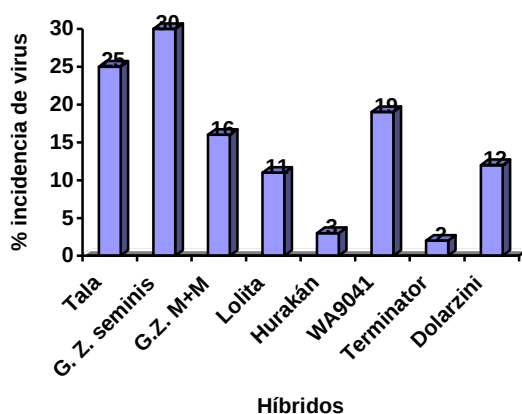
Genotipo	MEDIAS						
	RPP (g·planta ⁻¹)	FPP (número)	LFR (cm)	AFR (cm)	DFF (días)	DFM (días)	REN (t·ha ⁻¹)
1: Tala	350.5e	8.1d	11.4cd	3.8c	45 c	47c	22.6e
2: Grey Z. Seminis	432.2ed	9.3cd	11.1d	4.0b	47 b	50b	27.0de
3: Grey Z. M+M	478.8cd	9.7bcd	11.4cd	4.1b	48 b	50b	29.9cd
4: Lolita	675.3ab	14.2a	12.4a	4.0b	45 c	47c	42.7ab
5: Huracán	527.3cd	10.6bc	12.0ab	4.4a	54 a	56a	32.7cd
6: WA9041	575.3bc	12.1ab	12.4a	4.0b	44 c	46c	36.2bc
7: Terminator	707.5a	14.3a	12.5a	4.4a	54 a	56a	44.5a
8: Dolarzini	562.1bc	11.5bc	11.8bc	4.1b	44 c	46c	34.8c
Media	540.7	11.26	11.90	4.15	47.52	49.73	33.84
DMS	107.01	2.45	0.55	0.12	1.44	1.28	6.68

RPP = Rendimiento por planta (g·planta⁻¹); **FPP** = Frutos por planta; **LFR** = Largo de fruto (cm); **AFR** = Ancho de fruto (cm); **DFF** = Días a floración femenina; **DFM** = Días a floración masculina; **REN** = Rendimiento por hectárea (t·ha⁻¹); **DMS** = Diferencia Mínima Significativa.

Incidencia de virus

Los híbridos 'Terminator' y 'Huracán' tuvieron el menor porcentaje de incidencia de virus en promedio de tres años de evaluación con valores de 2 y 3 %, respectivamente; y los más afectados fueron 'Grey Zucchini' de seminis (30 %), 'Tala' (25 %) y 'WA9041' (19 %). Lo anterior se explica porque el híbrido 'Tala' y la variedad 'Grey Zucchini' de seminis son de la misma compañía semillera y llevan más de 20 años en el mercado por lo que no presentan resistencia a ningún tipo de virus. Por su parte, los híbridos 'Terminator' y 'Huracán' pese a ser tardíos, son de reciente liberación y cuentan con resistencia a virus, lo que los hace más atractivos al productor.

Figura 3. Incidencia de virus en híbridos de calabacita, Chapingo, Méx. 2007.



4.6. CONCLUSIONES

La biomasa aérea producida por la planta de calabacita es asignada principalmente a las hojas, lo que ocasiona en general un índice de cosecha bajo siendo (0.35 en promedio de los materiales evaluados). El valor más alto de índice de cosecha se obtuvo con el híbrido 'Lolita' (0.40) y el menor con 'Tala' (0.29).

El análisis de crecimiento indicó que los híbridos 'Terminator' y 'Huracán' retrazaron su entrada a senescencia por lo que acumularon mayor peso seco total durante su ciclo, en comparación al resto de los híbridos, lo que sugiere que en dichos materiales se podría tener más de los 17 cortes realizados de calabacita, lo que redundaría en un mayor potencial de rendimiento.

Los híbridos 'Terminator' y 'Lolita' fueron los mejores híbridos comerciales en rendimiento por hectárea de calabacita ($44.50 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ y $42.70 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, respectivamente), y el menos productivo fue 'Tala' ($22.6 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) según los resultados de tres años de evaluación en Chapingo, Mexico.

Los híbridos más precoces fueron 'Tala', 'WA9041', 'Lolita' y 'Dolarzini' con 45 días a floración femenina, y los más tardíos 'Huracán' y 'Terminator' con 54 días a floración femenina.

El porcentaje de incidencia de virus en tres años de evaluación fue de 14.75 % en promedio de los genotipos ensayados, siendo mayor los porcentajes en Grey Zucchini de seminis (30 %), Tala (25 %), WA9041 (19 %), Grey Zucchini de Molina Seed (16 %), y menor incidencia en Huracán (3 %) y Terminator (2 %).

4.7. LITERATURA CITADA

- AYALA T., F. 2002. Híbridos de calabacita (*Cucurbita pepo* L.) cultivados bajo casa sombra. Memorias del XIX Congreso Nacional de Fitogenética. 1 al 5 de Septiembre. Saltillo, Coahuila, México. P. 177.
- ANÓNIMO. 1999. Producción de calabazas y frijol. Revista Claridades Agropecuarias 76:1-36.
- FAO. 2008. Superficie, producción y rendimiento de calabazas en el mundo. <http://www.fao.org>
- CHEN-YUAN, M.; CUI-SHI, M.; WANG-RUO, Q.; HAN-FENG, Y.; CHEN, Y.M.; CUI, S.M.; WANG, R.Q.; HAN, F.Y. 1997. Studies on fruit development law of seed pumpkin during the fruting stage. Acta Agriculturae Boreali Sinica 12(1):72-76.
- HERNÁNDEZ, D. J.; ZAVALA G., F.; GUZMÁN B., H. 1999. Análisis de crecimiento en cilantro (*Coriandrum sativum* L.) establecidos en diferentes ambientes. Programa y Notas Científicas del VIII Congreso de Horticultura del 25 al 30 de abril. Manzanillo, Colima, México. P. 117.
- HUNT, R. 1990. Basic Growth Analysis. Unwinn Hyman. London, UK. 132 p.
- INIFAP. 2009. Informe anual de proyectos apoyados por la Fundación Produce Sinaloa A.C. Campo Experimental Valle del Yaqui, Sonora. 7 p.
- SEDANO, C. G.; GONZÁLEZ H, V. A.; ENGLEMAN, E. M.; VILLANUEVA V, C. 2005. Dinámica del crecimiento y eficiencia fisiológica de la planta de calabacita. Revista Chapingo Serie Horticultura Vol 11(2):291-297.

5. DISCUSIÓN GENERAL

Análisis dialélico. El análisis combinado de localidades demostró que existen diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) para las cruzas obtenidas a partir del cruzamiento dialélico entre ocho híbridos comerciales de calabacita en los principales componentes del rendimiento (rendimiento por planta y por hectárea, número de frutos por planta, y largo y ancho de fruto) evaluados, así como en precocidad (días a floración femenina y masculina) (Cuadro 1).

En el análisis de varianza del dialélico por el Método I Modelo II de Griffing (1956) se encontró que fueron más importantes los efectos de aptitud combinatoria específica (ACE) en los principales componentes del rendimiento (rendimiento por planta y por hectárea, número de frutos por planta, y largo de fruto) evaluados, mientras que los efectos de aptitud combinatoria general (ACG), lo fueron en ancho de fruto y en precocidad (días a floración femenina y masculina) (Cuadro 1). Estos resultados se explican por el hecho de que los progenitores son híbridos comerciales que durante su formación fueron dejando atrás mucha carga genética y se aprovechan principalmente los efectos no aditivos, es decir, disminuyó la varianza aditiva y se incrementó la de dominancia.

No hubo significancia estadística en los efectos maternos (Cuadro 3), lo que indica que los caracteres evaluados están solo influenciados por genes localizados en el núcleo, no existiendo contribución de genes de cromosomas localizados en el citoplasma. Sin embargo, en los efectos recíprocos se encontraron diferencias significativas en rendimiento por planta y por hectárea, resultado indicativo de que

hay cruzas en que los progenitores no se comportan de igual manera en la cruza directa que en la cruza recíproca, aunque estas diferencias no se pueden atribuir a los efectos maternos de cada progenitor, sino a otros efectos que excluyan al efecto materno. Estos resultados concuerdan con los reportados por Ruíz *et al.* (2004) en un análisis dialélico del rendimiento y sus principales componentes en variedades de calabaza (*Cucurbita moschata* Duch.) donde no encontraron diferencias significativas para los efectos maternos pero sí en los efectos recíprocos.

Componentes de varianza. Se encontró que en la población teórica obtenida de la recombinación de las cruzas F_1 entre híbridos comerciales de calabacita tipo Grey Zucchini es más importante la varianza de dominancia en los principales componentes del rendimiento (frutos por planta, rendimiento por planta y por hectárea), mientras que la varianza genética aditiva es importante en largo y ancho de fruto así como en días a floración femenina y masculina (Cuadro 4). Estos resultados eran de esperarse dado que los progenitores utilizados en el presente estudio son híbridos comerciales y durante el proceso de su formación se aprovechan los efectos aditivos, de tal manera que en aquellas cruzas donde la varianza aditiva y de dominancia sean importantes se podría utilizar la selección recíproca recurrente que explota tanto la varianza aditiva como la de dominancia; y en las cruzas donde la varianza de dominancia es más importante que la aditiva utilizar dicha cruza directamente como híbrido de cruza doble la cual sería muy útil para pequeños productores de escasos recursos y/o iniciar un programa de hibridación cíclica.

El grado promedio de dominancia $\bar{h}$ fue superior a la unidad en rendimiento por planta y por hectárea, y en el número de frutos por planta (Cuadro 4) dichos resultados indican que en tales caracteres es factible explotar los efectos de heterosis ya que teóricamente la F_1 superará significativamente al genotipo homocigoto dominante, tal y como lo sugieren Hallauer y Miranda (1981) en el sentido de que los valores mayores a la unidad en la estimación del grado promedio de dominancia, proporciona información para explotar la heterosis.

Heredabilidad. Las estimaciones de heredabilidad (h^2) en el presente estudio oscilaron de 10.95 a 54.45 % (Cuadro 4). Los valores más altos ocurrieron en los caracteres largo (42.11 %) y ancho de fruto (49.78 %), días a floración femenina (54.45 %) y masculina (53.88 %). Mientras que las heredabilidades fueron más bajas en los caracteres rendimiento por planta (25.10 %) y por hectárea (25.48 %), y en el número de frutos por planta (10.95 %). Lo anterior es un indicativo de que la selección en los progenitores (híbridos comerciales) ha reducido la variabilidad genética en los principales componentes del rendimiento. Sin embargo, para precocidad los valores de heredabilidad son relativamente altos, pero ello no es una garantía de que la respuesta a la selección sea grande.

Heterosis. En el análisis de varianza del dialélico empleando el modelo II de Gardner y Eberhart (1966) para determinar heterosis (media, varietal, específica) (Cuadro 9) se encontró que hubo significancia estadística en la interacción heterosis x ambiente lo que indica que la heterosis cambió a través de los ambientes. En lo que respecta a

la heterosis promedio por ambiente, además de que también es una comparación de cruzas vs híbridos, donde los híbridos progenitores obtuvieron un rendimiento de verdura de $33.7 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ y las cruzas $34.8 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (heterosis promedio por ambientes); dado que no hay evidencia de significancia estadística se infiere que tiende a mantenerse estable a través de ambientes. En heterosis varietal por ambiente se encontró significancia estadística indicando que la heterosis varietal de los híbridos no fue estable a través de ambientes, pero tampoco fue muy alta debido probablemente a que varios de los híbridos usados como progenitores están emparentados (cuatro de los ocho híbridos empleados como progenitores son de la misma compañía). Respecto a la heterosis específica x ambiente que fue significativa revela que la heterosis de las cruzas fue diferente para cada localidad.

Heterosis media. Se encontró heterosis media significativa (Cuadro 17) positiva en todos los caracteres estudiados (REN: $1.10 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$; RPP: $13.10 \text{ g}\cdot\text{planta}^{-1}$; AFR: 0.10 cm ; LFR: 0.50 cm ; DFF: 3 días y DFM: 3 días). La existencia de heterosis positiva en todos los caracteres evaluados sugiere que en la población obtenida del dialélico entre ocho híbridos comerciales de calabacita son más importantes los efectos de aptitud combinatoria específica que los de los efectos de aptitud combinatoria general.

Se encontró heterosis varietal positiva en los progenitores 'Terminator' (7), 'Tala' (1), y 'Lolita' (4) lo que explica la alta productividad mostrada por sus cruzas. Con base en lo anterior, para un programa de selección recíproca recurrente, en donde se explota tanto los efectos aditivos como los no aditivos, los mejores progenitores para rendimiento por planta y por hectárea serían 'Terminator' y 'Lolita' que son los que muestran mayor heterosis varietal.

Heterosis específica. Permitió identificar las cruzas de alto rendimiento con mejores resultados agronómicos que los progenitores comerciales. Tres cruzamientos presentaron efectos de heterosis específica (S_{ij}) significativos en rendimiento por hectárea (Cuadro 10), son las cruzas 'Grey Zucchini M+M' x 'Terminator' (3.78), 'Huracán' x 'Lolita' (3.86) y 'Tala' x 'Terminator' (3.25). El valor de heterosis específica positivo y significativo, sugiere que su promedio fue superior, al promedio esperado con base en la g_i de sus progenitores y la media general.

En rendimiento por hectárea el mejor cruzamiento fue 'Grey Zucchini' M+M x 'Terminator' con 50.0 t·ha⁻¹ (Cuadro 16), 799.9 g·planta⁻¹ (Cuadro 10) y 17.5 frutos por planta de calabacita (Cuadro 11) en 17 cortes acumulados, que superó en 15.3 % el rendimiento por hectárea al mejor de sus progenitores (Cuadro 18), se explica en parte porque esta crusa es la que presentó la mayor heterosis tanto específica (S_{ij}) como heterosis con respecto al mejor progenitor (H_{mp}).

Heterosis con respecto al mejor progenitor. La heterosis de mayor significado agronómico es la que se calcula con respecto al mejor progenitor. La crusa con mayor heterosis con respecto al mejor progenitor en rendimiento por hectárea, por planta y número de frutos por planta, fue 'Grey Zucchini M+M' x 'Terminator' (Cuadro 18); la cual superó en 15.3 % el rendimiento por hectárea (44.2 t·ha⁻¹) y por planta (707.58 g·planta⁻¹), y en 1.5 % en frutos por planta (13.6) a su mejor progenitor. Le siguió la crusa 'Lolita' x 'Huracán' que superó en 25.6 % el rendimiento por planta (675.3 g·planta⁻¹) y por hectárea (42.2 t·ha⁻¹) con respecto a su mejor progenitor. Si el objetivo fuera obtener frutos más largos, la mejor crusa para largo de fruto fue 'Tala'

x 'WA9041' (Cuadro 18); tuvo heterosis con respecto al mejor progenitor de 11.5 % seguida de la cruza 'WA9041' x 'Lolita' (8.1%). No se encontraron efectos significativos ($P \leq 0.05$) de heterosis con respecto al mejor progenitor en ancho de fruto.

Análisis de crecimiento. Los híbridos de calabacita tuvieron una dinámica de acumulación de biomasa de la planta total tipo sigmoideal (Figura 1). Esta dinámica de crecimiento coincide con la reportada por Sedano *et al.* (2005) al analizar el crecimiento y la eficiencia fisiológica de la planta de calabacita híbrido 'Tala' en Montecillos, Estado de México, y es similar a la de cilantro (*Coriandrum sativum*) como lo reportaron Hernández *et al.* (1999), y a la de *Cucurbita moschata* según Chen-Yuan *et al.* (1997). Los híbridos que tuvieron una mayor acumulación de peso seco total de la planta a los 70 dds y que fueron estadísticamente superiores a los demás fueron 'Terminator' (200 g·planta⁻¹), seguido de 'Huracán' (180 g·planta⁻¹) y 'Lolita' (170 g·planta⁻¹), los que tuvieron la menor acumulación de materia seca fueron 'Tala' (140 g·planta⁻¹), 'Grey Zucchini' de seminis y 'Dolarzini' con 155 g·planta⁻¹. La mayor acumulación de materia seca del híbrido 'Terminator' se reflejó en una mayor cantidad de frutos por planta y de mayor tamaño, siendo el que tuvo el mayor rendimiento por planta y por hectárea. La superioridad de 'Terminator' y 'Huracán' en acumulación de biomasa sobre los demás híbridos se atribuye a su mayor área foliar, ya que la magnitud del área foliar es el principal factor que determina la producción de biomasa en los cultivos agrícolas al asociarse directamente con la cantidad de radiación interceptada y la producción de fotoasimilados (Jefferies y Mackerron, 1989).

El área foliar presentó el mismo comportamiento que la acumulación de materia seca. Se observó una fase de crecimiento lenta hasta los 30 días después de la siembra (dds), atribuible a que durante este lapso la planta desarrolla el sistema radical para procurar un mejor anclaje y suministro de agua y nutrimentos, y posteriormente ocurre un crecimiento acelerado hasta alcanzar la máxima acumulación de área foliar a los 70 dds en la mayoría de los genotipos evaluados, sin embargo, en 'Terminator' y 'Huracán' es alrededor de los 85 dds (Figura 2).

Sin embargo, los híbridos 'Terminator y 'Huracán' mantuvieron por más tiempo el área foliar, ya que hasta el último muestreo a los 85 dds el área foliar siguió aumentando (1.7 y $1.5 \text{ m}^2 \cdot \text{planta}^{-1}$, respectivamente), por lo que en dichos híbridos pudieran darse más cortes de calabacita (adicionales a los 17 cortes realizados en todos los materiales evaluados). En los demás híbridos se observó una marcada senescencia de su área foliar.

En términos de eficiencia con respecto al tiempo (comparados hasta los 17 cortes realizados), el híbrido 'Lolita' es el mejor material debido a su mayor índice de cosecha (0.40), comparado a 'Terminator' (0.38) y a su precocidad, sin embargo, éste último mantiene por más tiempo el área foliar, lo que permitiría obtener cortes adicionales a los 17 realizados y con ello aumentaría su potencial de rendimiento.

6. CONCLUSIONES GENERALES

Con base en los resultados de la presente investigación se concluyó que en la población obtenida de la recombinación de la F_1 del dialélico formado entre ocho híbridos comerciales de calabacita tipo 'Grey Zucchini', fueron más importantes los efectos de dominancia en los principales componentes del rendimiento (rendimiento por planta y por hectárea, frutos por planta, y largo de fruto). Mientras que los efectos aditivos lo fueron en precocidad (días a floración femenina y masculina).

Tres cruzamientos presentaron efectos de heterosis específica (S_{ij}) significativos en rendimiento por hectárea, estas fueron 'Grey Zucchini M+M' x 'Terminator' (3.78), 'Huracán' x 'Lolita' (3.86) y 'Tala' x 'Terminator' (3.25). Tales cruza pueden utilizarse directamente como híbridos, o con ellas emprender un programa de hibridación cíclica para obtener nuevos híbridos cada vez mejores.

La cruza con mayor heterosis con respecto al mejor progenitor en rendimiento por hectárea, por planta y número de frutos por planta, fue 'Grey Zucchini M+M' x 'Terminator' que superó en 15.3 % el rendimiento por hectárea ($44.2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) y por planta ($707.58 \text{ g}\cdot\text{planta}^{-1}$), y en 1.5 % en frutos por planta (13.6) a su mejor progenitor.

El análisis de crecimiento indicó que los híbridos comerciales de calabacita difieren en su capacidad para producir biomasa a lo largo del ciclo del cultivo. El mayor rendimiento por planta y por hectárea de 'Terminator' se debe a que produce más área foliar y asigna más asimilados hacia los frutos tiernos (verdura); sin embargo, en términos de eficiencia con respecto al tiempo el híbrido 'Lolita' es más eficiente porque es más precoz y tuvo el mayor índice de cosecha (0.40).

7. LITERATURA CITADA GENERAL

- ASERCA. 1999. La calabaza y la calabacita mexicanas en el Mercado norteamericano. *In*: Claridades agropecuarias. No. 76, diciembre de 1999. pp: 1-31.
- BUROW, M. D. AND J.G. COORS. 1994. Diallel: A microcomputer program for the simulation and analysis of diallel crosses. *Agronomy Journal*. 86: 154-58.
- COCKERHAM, C. C. 1954. An Extension of the concept of partitioning hereditary variance for analysis of covariance among relatives when epistasis is present. *Genetics*. 39:859-882.
- COMSTOCK, R.E. AND H. ROBINSON, F. 1952. Estimation of average of dominance of genes. *Heterosis*. Ames, Iowa State College Press. pp 494-516.
- EAST, E. M. 1936. Heterosis. *Genetics* 21:375-397.
- EISENHART, C. 1947. The assumptions underlying the analysis of variance. *Biometrics*. 3:1-21.
- FALCONER D, S. 1985. Introducción a la Genética Cuantitativa. Editorial CECSA, México. 135 p.
- FIRPO, I.T., F.S. LÓPEZ A, S.M. GARCÍA Y E.L. COINTRY. 1998. Heterosis in summer squash (*Cucurbita pepo* L.). *Cucurbit Genet Coop Rep* 21:43-45.
- GARDNER, C. O. AND S. A. EBERHART. 1966. Analysis and interpretation of the variety cross diallel and related populations. *Biometrics* 22(3): 439-452.
- GARDNER, C. O. 1967. Simplified methods for estimating constants and computing sums of squares for a diallel cross analysis. *Fitotecnia Latinoamericana*. 4(2): 1-12.
- GRIFFING, B. 1956a. A generalized treatment of the use of diallel crosses in quantitative inheritance. *Heredity* 10: 31-50.
- GRIFFING, B. 1956b. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Australian Journal of Biology Science*. 9: 463-491.
- GUTIÉRREZ DEL RÍO, E.; A. PALOMO G.; A. ESPINOZA B.; E. DE LA CRUZ L. 2002. Aptitud combinatoria y heterosis para rendimiento de líneas de maíz en la comarca lagunera, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* Vol 25(3):271-277.

- HALLAUER, A. R. 1976. Heterosis: What have we learned, what have we done, and where are we headed? *In: The Genetics and Exploitation of Heterosis in Crops*. J.G. Coors and S. Pandey (ed). American Society of Agronomy. Crop Science Society of America. Wisconsin, USA. 380 p.
- HALLAUER A., R.; B. MIRANDA J. 1981. Quantitative Genetic in Maize Breeding. Iowa State University Press. Ames, Iowa. pp:268-368.
- INIFAP. 2009. Informe anual de proyectos apoyados por la Fundación Produce Sinaloa A.C. Campo Experimental Valle del Yaqui, Sonora. 7 p.
- KEMPTHORNE, O. 1956. The theory of the diallel cross. *Genetics* 41(4): 451-459.
- KEMPTHORNE, O. 1957. An Introduction to Genetics Statistics. Hohn Wiley & Sons, New York.
- MÁRQUEZ S., F. 1988. Genotecnia vegetal. Métodos Teoría Resultados. Tomo II. AGT EDITOR, S.A. México. pp: 25-28.
- MARTÍNEZ G., A. 1983. Diseño y análisis de los experimentos de cruza dialélicas. Centro de cálculo, Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 252 p.
- MARTÍNEZ G., A. 1988a. Diseños experimentales. Editorial Trillas. 1ª. Edición. México. 756 p.
- MARTÍNEZ G., A. 1988b. Análisis de los experimentos dialélicos a través del procedimiento MATRIZ de SAS. *Comunicaciones en Estadísticas y Cómputo*. 7(1):1-32.
- MARTÍNEZ G., A. 1988c. Análisis de los experimentos dialélicos usando algoritmos computacionales para el análisis de experimentos dialélicos. *Comunicaciones en Estadísticas y Cómputo*. 7(2):1-35.
- MARTÍNEZ G., A. 1991. Análisis de los experimentos dialélicos a través del procedimiento IML de SAS. *Comunicaciones en Estadística y Cómputo*. 10(2):1-36.
- MARTÍNEZ S., J. PEÑA L., A.; RODRÍGUEZ P, J. E.; VILLANUEVA V, C.; SAHAGÚN C, J.; PEÑA O, M. G. 2004. Heterosis intervarietal y uso de generaciones F₂ de híbridos de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Revista Chapingo Serie Horticultura*. Vol 11(2):299-307.

- MASTACHE L., A. A., A. MARTÍNEZ G. Y A. CASTILLO M. 1999a. Los mejores predictores lineales e insesgados (MPLI) en los diseños uno y tres de Griffing. *Agrociencia*, 33(1):81-90.
- MASTACHE L., A. A., A. MARTÍNEZ G. Y A. CASTILLO M. 1999b. Los mejores predictores lineales e insesgados (MPLI) en los diseños uno y tres de Griffing. *Agrociencia*, 33 (3):349-359.
- MOLINA G., J. 1992. Introducción a la genética de poblaciones y cuantitativa. Algunas implicaciones en genotecnia. AGT EDITOR. México. 349 p.
- MONTESINOS L., O. A. 2003. Los mejores predictores lineales e insesgados de aptitud combinatoria específica en los diseños de Griffing. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Posgraduados, Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 91p.
- MONTESINOS L., O. A., A. MARTÍNEZ G., MASTACHE L. Y G. RENDÓN S. 2006. Mejor predictor lineal e insesgado combinado para aptitud combinatoria general y análisis combinado de los diseños uno y tres de Griffing. *Fitotecnia Mexicana*. 29 (3):263-270.
- MONTESINOS L., O. A., A. MASTACHE L., I. LUNA E. Y J. F. HIDALGO C. 2007. Mejor predictor lineal e insesgado combinado para aptitud combinatoria general y análisis combinado de los diseños uno y tres de Griffing. *Técnica Agropecuaria en México*. 45(2): 131-146.
- MURRAY, L. W.; I. M. RAY, H. DONG, AND A. SEGOVIA-LERMA. 2003. Clarification and reevaluation of population-based diallel analyses: Gardner and Eberhart analyses II and III revisited. *Crop Science*. 43(2):1930-1937.
- PEÑA L., A., J. D. MOLINA G., J. ORTÍZ C., S. CERVANTES, F. MÁRQUEZ S. Y J. SAHAGÚN C. 1999. Heterosis intravarietal en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) *Revista Fitotecnia Mexicana*. 22:199-212.
- RUIZ E., A. SIGARROA Y J. A. CRUZ. 2004. Análisis dialélico del rendimiento y sus principales componentes en variedades de calabaza (*Cucúrbita moschata* Duch) I Tabla dialélica de Griffing. *Biología*. 18: 65-73.

- ROBINSON, H. F., R. E. COMSTOCK Y P.H. HARVEY. 1951. Genotypic and phenotypic correlations in corn and their implication in selection. *Agronomy Journal*. 43:282-287.
- SAHAGÚN C., J.; C. VILLANUEVA V. 1997. Teoría de las variedades sintéticas formadas con híbridos de cruas simples. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 20:69-79.
- SAHAGÚN C., J.; C. VILLANUEVA V. 2003. Coeficiente de endogamia de las variedades sintéticas de cruas dobles. *Agrociencia*. 37(6): 641-655.
- SERRANO C., L.; L. MENDOZA O. 1990. Formación de híbridos de sorgo para grano III. Proposición de un modelo de selección de progenitores con base en sus parámetros genéticos. *Revista Fitotecnia Mexicana Vol 13*:44-55.
- SIAP. 2007. Indicadores básicos del sector agroalimentario y pesquero. SAGARPA. México. 27 p.
- SCHAFFER, H. E. AND R. A. USANIS. 1989. General leas squares analysis of diallel experiments: A computer program. Genetics Dep. Res. Rep.1 North Carolina State University, Raleigh, USA.
- SCOTT, G.W., 1934. Observations on some inbred lines of bush types of *Cucurbita pepo*. *Proc AMER Soc Hort Sci* 32:480.
- SHULL, G. H. 1948 What is 'heterosis'? *Genetics* 33: 439-446.
- SPRAGUE, G.F. and L.A., TATUM. 1942. General vs. Specific combining ability in single crosses of corn. *Journal American Society Agronomy*. 34(10):923-932.
- STERN, C. 1948. Negative heterosis and decreased effectiveness of alleles in heterozygotes. *Genetics*. 33:215.
- STUBER, C.W., 1994. Heterosis in plant breeding. *Plant Breed Rev* 12:227-251.
- VILLANUEVA V., C.; F. CASTILLO G.; J. D. MOLINA G. 1994. Aprovechamiento de cruzamientos dialélicos entre híbridos comerciales de maíz: Análisis de progenitores y cruas. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 17:175-185.
- WHITAKER, T.W. AND G.N. DAVIS. 1962. *Cucurbits*. Interscience Publishers Inc. New York.
- YATES, F. 1947. Analysis of data from all possible reciprocal crosses between a set of parental lines. *Heredity* 1: 287-301.

ZHAN, Y. AND M. S. KANG. 1997. Diallel-SAS: A SAS program for Griffing's diallel analysis. Agronomy Journal. 89(2): 176-182.

8. APÉNDICE

Programa de cómputo desarrollado en SAS-IML, para el análisis combinado de los diseños uno y tres de Griffing conforme a Montesinos *et al.* (2007).

```
DATA MASTACHE;
OPTIONS PS=60 PAGENO=1 NODATE NONUMBER;
INPUT LOC CRUZA I J DIALELO REP Y1...YN;
CARDS;

-----DATOS-----

TITLE "SERIES DE EXPERIMENTOS DE GRIFFING";
PROC IML;SORT MASTACHE OUT=MAR BY LOC CRUZA;USE MAR;READ ALL INTO LUCY; G
=MAX(LUCY[,2]);
R=MAX(LUCY[,6]);L=MAX(LUCY[,1]);NC=NCOL(LUCY);NN=NROW(LUCY); UUU
=1;X=J(G*R,1,.);XX=J(G*R,1,.);TIN=LUCY[,6];P=MAX(LUCY[,4]);DO Z =1 TO G;DO
W=1 TO R;X[UUU,1]=Z;XX[UUU,1]=W;UUU=UUU+1;END;END;III
=I(G*R);II=J(G*R,1,1);XD=II||DESIGN(X)||DESIGN(XX);MM=XD*(GINV(XD`*XD))*XD`;HEIDI=J(G*L,1,
.); MARY=J(G*L,1,.);WWW=1;DO Z =1 TO L;DO W=1 TO
G;MARY[WWW,1]=Z;HEIDI[WWW,1]=W;WWW=WWW+1;END;END;GAMA =
HEIDI;N=NROW(GAMA);
UNO = J(N,1,1);DISG=DESIGN(HEIDI);DISL=DESIGN(MARY); GEN=UNO||DISG;
GENOTT=GEN*(GINV(GEN`*GEN))*GEN`; LOCAL=
DISL*(GINV(DISL`*DISL))*DISL`;CRUZAS=G;PRINT NN CRUZAS P L R;

TITLE "MATRIZ DISEÑO TRAT Y REP:LOC";
PPP =1;QQQ=1;DO MARY=1 TO L BY 1;PP=MARY-1;DO K=PPP TO MARY*G BY
1;GAMA[K,1]=GAMA[K,1]+PP*G;END;PPP=MARY*G+1;DO KKK=QQQ TO MARY*R*G;
TIN[KKK,1]=TIN[KKK,1]+PP*R;END;QQQ=MARY*R*G+1;END;
A=DESIGN(TIN);REP=A*(GINV(A`*A))*A`;B=DESIGN(GAMA); INT=B*(GINV(B`*B))*B`; GA=LUCY[,3];
GB
=LUCY[,4]; IF ANY (GA=GB) THEN Q=1;ELSE Q=0;

TITLE "MATRIZ DISEÑO Zp Y DIAL";
GA0 =J(NN,P,.);GB0=J(NN,P,.);DO GAA= 1 TO P;DO CC=1 TO NN; IF GA[CC,1]=GAA THEN
GA0[CC,GAA]=1;ELSE GA0[CC,GAA]=0; IF GB[CC,1]=GAA THEN GB0[CC,GAA]=1;ELSE
GB0[CC,GAA]=0;END;END;GAB=GA0+GB0;GZp=J(NN,1,1)||GAB;GZpZp=GZp`*GZp;GZpIG=GINV(G
ZpZp);Mp=GZp`*GZpIG`*GZp`;DIAL=LUCY[,5];
D=DESIGN(DIAL);DD=D`*D; D0=D*(GINV(DD))*D`;

TITLE "DISEÑO DE Zp POR AMBIENTE";
PP =0;COMB1=J(G*R,2,.); DO W =1 TO G*R;COMB1[W,1]=LUCY[W,3]; COMB1[W,2]=LUCY[W,4];
END;PA =COMB1[,1]; PB =COMB1[,2]; PA0
```

```
=J(G*R,P,.);PB0=J(G*R,P,.); DO PAA=1 TO P;DO CC=1 TO G*R;IF PA[CC,1]=PAA THEN
PA0[CC,PAA]=1;ELSE PA0[CC,PAA]=0; IF PB[CC,1]=PAA THEN
PB0[CC,PAA]=1;ELSE
PB0[CC,PAA]=0;END;END;PAB=PA0+PB0;Gz=J(G*R,1,1)||PAB;GzGz=Gz`*Gz;GzIG=GINV(GzGz);M
z=Gz`GzIG`Gz;M0=J(G*R,1,1)*(J(G*R,1,1))`/
(G*R);DIALl=J(G*R,1,.); DO W = 1 TO G*R;DIALl[W,1]=LUCY[W,5];END; DIALE=
DESIGN(DIALl);DIALE=DIALE`DIALE;LAURA = J(G*R,1,1); DO I =1 TO G*R;IF
DIALE [I,]*LAURA=R THEN DIALE[I,]=2*DIALE[I,];END;
```

```
TITLE "DISEÑOS 1 Y 3 GRIFFING";
IF ANY(GB<GA) THEN DO; IF ANY (GA=GB) THEN PRINT "DISEÑO 1 DE GRIFFING"; ELSE PRINT
"DISEÑO 3 DE GRIFFING";Zm = GA0-GB0;
Mat=Zm*(GINV(Zm`*Zm))*Zm; Zmm=PA0-
PB0;Mmm=Zmm*(GINV(Zmm`*Zmm))*Zmm;DIALl=J(G*R,1,1)||DIALE;
DIALl=DIALl*(GINV(DIALl`*DIALl))*DIALl`;
```

```
TITLE "DISEÑO DEL CUADRO DEL ANALISIS DE VARIANZA";
CCC = {" GL " "SC" "CM" "F"}; DDD = {"LOCALIDAD (L)" "REP:A" "CRUZA(C)" "ACG" "ACE" "EM"
"ER" "L x C" "L x ACG" "L x ACE" "L x EM" "L x ER" "ERROR COMB." "TOTAL"};
```

```
TITLE "ANALISIS DE VARIANZA";
FV =J(14,4,.);DO F =7 TO NC BY 1; VARIABLE = F -
6;YYY=J(G*R,L,.);PP=0;SCEi=J(L,1,.);SCacgl=J(L,1,.); AxACG=J(P,L,.);SCeml=J(L,1,.);
SCdiall=J(L,1,.);AxEM=J(P,L,.); AxESP=J(G*R,L,.); DO Z =1 TO L;DO W=1 TO
G*R;YYY[W,Z]=LUCY[W+PP,F];END;PP=Z`G*R;END; DO QU=1 TO L;SCEi[QU,1]=
(YYY[QU])`*(III-MM)*YYY[QU];
SCacgl[QU,1]=(YYY[QU])`*(Mz-
M0)*YYY[QU];MED=(J(G*R,1,1))*YYY[QU]/(G*R);SCdiall[QU,1]=(YYY[QU])`*(DIALl-
M0)*YYY[QU];SCacel=SCdiall-SCacgl;
SCeml[QU,1]=(YYY[QU])`*Mmm*YYY[QU];AxACG[QU]=(INV(PAB`*PAB))*PAB`*(YYY[QU]-
J(G*R,1,1)*MED);AxEM[QU] =(GINV(Zmm`*Zmm))*Zmm`*(YYY[QU]-J(G*R,1,1)*MED);
AxESP[QU] =DIALE*YYY[QU]/(2`R)-J(G*R,1,1)*MED-PAB`AxACG[QU];END;
YY=(DESIGN(X))*YYY/R;WDIAL=1;WWDD=(P*(P-1)/2)+Q`P;AxACE=J(WWDD,L,.); DO
W =1 TO WWDD;AxACE[W,]=AxESP[WDIAL,];WDIAL=WDIAL+R;END;
CMEi =J(L,1,1)`SCEi/(L*(G-1)*(R-1));Y=J(G*L,1,.);CME=CMEi/R;ZZZZ=1;DO Z=1 TO L;DO W=1 TO
G;Y[ZZZZ,1]=YY[W,Z];ZZZZ=ZZZZ+1;END;END;FC=(UNO`Y)**2/N;MEDIA=UNO`Y/N;
CV=((R`CME)**.5)*100/MEDIA;SCTOT=(LUCY[F,])`*LUCY[F,]-
FC`R;FV[14,2]=SCTOT;SCLOC=(Y`*LOCAL`Y-FC)*R;FV[1,2]=SCLOC;
SCTRAT=(Y`*Y-FC)*R;SCG=(Y`*GENOTT`Y-FC)*R;FV[3,2]=SCG;SCE=L*(G-1)*(R-
1)*CME`R;FV[13,2]=SCE;SCGL=SCTRAT-SCG-SCLOC;FV[8,2]=SCGL;
DY=LUCY[F,];SCREP=DY`REP`DY-SCLOC-
FC`R;FV[2,2]=SCREP;FCC=((J(NN,1,1))`DY)**2/NN;SCacg=DY`Mp`DY-FCC;FV[4,2]=SCacg;SCace
=DY`*(D0-Mp)*DY;FV[5,2]=SCace;SCem=DY`Mat`DY;FV[6,2]=SCem;
SCer=SCG-(SCacg+SCace+SCem);FV[7,2]=SCer;SCaxacg=(J(L,1,1))`SCacgl-SCacg;
FV[9,2]=SCaxacg;
SCaxace=(J(L,1,1))`SCacel-SCace;FV[10,2]=SCaxace;SCaxem=(J(L,1,1))`SCeml-
SCem;FV[11,2]=SCaxem;
SCaxer=SCgl-(SCaxacg+SCaxace+SCaxem);FV[12,2]=SCaxer;FV[1,1]=L-1;FV[2,1]=L*(R-
1);FV[3,1]=G-1;FV[4,1]=P-1;FV[5,1]=P*(P-3+2`Q)/2;FV[6,1]=P-1;FV[7,1]=(P-1)*(P-2)/2;
FV[8,1]=(G-1)*(L-1);FV[9,1]=(P-1)*(L-1);FV[10,1]=(L-1)*P*(P-3+2`Q)/2;FV[11,1]=(L-1)*(P-
1);FV[12,1]=(L-1)*(P-1)*(P-2)/2;FV[13,1]=L*(R-1)*(G-1);FV[14,1]=L`R`G-1;FV[1,3]=SCLOC/FV[1,1];
FV[2,3]=
SCREP/FV[2,1];FV[3,3]=SCG/FV[3,1];FV[4,3]=SCacg/FV[4,1];FV[5,3]=SCace/FV[5,1];FV[6,3]=
SCem/FV[6,1];FV[7,3]=SCer/FV[7,1];FV[8,3]=SCGL/
FV[8,1];FV[9,3]=SCaxacg/FV[9,1];FV[10,3]=SCaxace/FV[10,1];FV[11,3]=SCaxem/FV[11,1];FV[12,3]=S
Caxer/FV[12,1];FV[13,3]=R`CME;FV[1,4]=FV[1,3]/FV[2,3];
```

```

FV[3,4]=FV[3,3]/FV[8,3];FV[4,4]=FV[4,3]/(FV[5,3]+FV[9,3]-FV[10,3]);IF FV[4,4]>0 THEN
FV[4,4]=FV[4,4];ELSE FV[4,4]=0;FV[5,4]=FV[5,3]/FV[10,3];FV[6,4]=
FV[6,3]/(FV[11,3]+FV[7,3]-FV[12,3]);IF FV[6,4]>0 THEN FV[6,4]=FV[6,4];ELSE
FV[6,4]=0;FV[7,4]=FV[7,3]/FV[12,3];FV[8,4]=FV[8,3]/FV[13,3];FV[9,4]=FV[9,3]/
FV[10,3];FV[10,4]=FV[10,3]/FV[13,3];FV[11,4]=FV[11,3]/FV[12,3];FV[12,4]= FV[12,3]/FV[13,3];

```

```

TITLE "ESTIMACION DE COMPONENTES DE VARIANZA";
VARg=(FV[4,3]+FV[10,3]-FV[5,3]-FV[9,3])/(2*L*R*(2*Q+P-2));IF VARg>0 THEN VARg=VARg;ELSE
VARg=0; VARs=(FV[5,3]-FV[10,3])/(2*L*R*(P*P-Q*(P-1)))/(P*P));
IF VARs>0 THEN VARs=VARs; ELSE VARs=0; VARm=(FV[6,3]+FV[12,3]-FV[11,3]-
FV[7,3])/(2*L*R*P); IF VARm>0 THEN VARm=VARm; ELSE VARm=0;VARI=
(FV[7,3]-FV[12,3])/(2*L*R); IF VARI>0 THEN VARI=VARI;ELSE VARI=0;VARag=(FV[9,3]-
FV[10,3])/(2*R*(2*Q+P-2)); IF VARag>0 THEN VARag=VARag; ELSE VARag=0;
VARas=(FV[10,3]-FV[13,3])/(2*R*(P*P-Q*(P-1)))/(P*P)); IF VARas>0 THEN VARas=VARas;ELSE
VARas=0; VARam= (FV[11,3]-FV[12,3])/(2*R*P); IF VARam>0 THEN
VARam=VARam;ELSE VARam=0; VARal=(FV[12,3]-FV[13,3])/(2*R);IF VARal>0 THEN
VARal=VARal;ELSE VARal=0;VARE=FV[13,3]; COMP=J(9,1,.);COMP[9,1]=VARE;
COMP[1,1]=VARg; COMP[2,1]=VARs;
COMP[3,1]=VARm;COMP[4,1]=VARI;COMP[5,1]=VARag;COMP[6,1]=VARas;COMP[7,1]=VARam;CO
MP[8,1]=VARal;ESTIM={"V. EST."};VARIAN={"VARg" "VARs" "VARm" "VARI" "VARag" "VARas"
"VARam" "VARal" "VARE"};
V=R*VARE/(VARE+R*VARs); VV=2*R*VARE/(VARE+2*R*VARs);

```

```

TITLE "EST. DE ACG, EM y ACE";
ACG=(INV(GAB*GAB))*GAB*(DY-J(NN,1,1)*MEDIA);EM=(GINV(Zm*Zm))*Zm*(DY-
J(NN,1,1)*MEDIA);
ACE=(J(L,1,1))*(AxACE)/L; ACE=ACE`; PROG=J(P,L+1,.);MATER=J(P,L+1,.);GGENO=J(P,1,.);DO
LLL=1 TO P BY
1;GGENO[LLL,1]=LLL;END;FFF=CHAR(GGENO,3,0);PROG[,L+1]=ACG;MATER[,L+1]=EM;IF
VARg>0 THEN K=(4*V*Q+(P-2)*VV)*VARg/(VARE+(4*V+Q+(P-2)*VV)*VARg);
ELSE K=1;MPLI=K*ACG;DO SSS=1 TO
L;PROG[,SSS]=AxACG[,SSS];MATER[,SSS]=AxEM[,SSS];END;HHHH=J(L+1,1,.);DO HHH=1 TO L;
HHHH[HHH,1]=HHH;END;KKK=CHAR(HHHH,4,0);KKK[L+1,1]={"ACG"};KKKM=KKK;KKKM[L+1,1]={"
EM"};DIALELO=J(WWDD,L+1,.);DDESP=J(WWDD,1,.);
DO LLL=1 TO WWDD;DDESP[LLL,1]=LLL;END;DDFF=CHAR(DDESP,3,0);DIALELO[,L+1]=ACE;DO
SSS=1 TO L;DIALELO[,SSS]=AxACE[,SSS];END;KKEP=
KKK;KKEP[L+1,1]={"ACE"};

```

```

TITLE "IMPRESION DE RESULTADOS";
PRINT VARIABLE;PRINT "CUADRO 1. ANALISIS DE VARIANZA COMBINADO.";PRINT
FV[ROWNAME=DDD COLNAME=CCC];PRINT ;PRINT MEDIA[FORMAT=12.4]
CV[FORMAT=12.4];PRINT /;PRINT "CUADRO 2. EST. DE COMP. DE LA VARIANZA.";PRINT
COMP[ROWNAME=VARIAN COLNAME=ESTIM FORMAT=12.4]; PRINT /;
PRINT "CUADRO 3. ESTIMACION DE EFECTOS DE ACG Y EL MPLI Combinado.";PRINT ;PRINT
"LOCALIDAD";PRINT PROG[ROWNAME=FFF COLNAME=KKK FORMAT=12.4];
PRINT MPLI;PRINT K[FORMAT=12.4];PRINT /;PRINT "CUADRO 4. EST. DE EFECTOS
MATERNALES.";
PRINT ;PRINT "LOCALIDAD";PRINT MATER[ROWNAME=FFF COLNAME=KKK
FORMAT=12.4];PRINT /;PRINT "CUADRO 5. EST. DE EFECTOS DE ACE.";PRINT ;
PRINT "LOCALIDAD";PRINT DIALELO[ROWNAME=DDFF COLNAME=KKEP
FORMAT=12.4];PRINT /;END;END;QUIT;

```