Análisis Línea x Probador: Estrategia para Selección de Progenitores de Alto Rendimiento en Chile Jalapeño (*Capsicum annuum* L.)

José Ángel García Sandoval[1*], Gaspar Martínez Zambrano[2], Manuel Lujan Favela[3], Moisés Ramírez Meraz[4], Alfonso López Benítez[2]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones, Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Chetumal. Avenida Tumben Cuxtal #29, Colonia Tumben, Cuxtal. 77026, Chetumal, Quintana Roo, México. E-mail: jagarciasandoval@yahoo.com (*Autor responsable). [2]Departamento de Fitomejoramiento, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista. 25315. Saltillo, Coah., México. [3]Campo Experimental Delicias. [4]Campo Experimental Sur de Tamaulipas.

Abstract

Mexico's international trade agreements have caused important changes in the tendencies of the agricultural markets, and in cultures like that of jalapeno pepper its effect is on the quality standards of the fruit, tendencies that at its time have exhibited a backlog in the generation in the generation of competitive genotypes, both in productivity and quality, fact that constitutes the main problem to solve in the melioration of pepper. The objectives of this assay were: a) to determine the type of genic action of the yield in a group of parents of jalapeno pepper, to define and to make more efficient the profiting of these advantages in the melioration, and b) to detect the best lines and testers on an ACG basis, as well as the best crosses on the basis of ACE and heterosis for the formation of varieties of free pollination or jalapeno pepper hybrids. The 40 lines were crossed by hand with 3 testers, obtaining 120 mixed ones. The evaluation was carried out during the spring-summer agricultural cycle 2004 and 2005 at the CEDEL experimental station in Delicias, Chih., Mexico , and the CESTAM in Tampico, Tamps., Mexico. The experimental parcel consisted of a row of plants of 3 ms of length, at a distance of 30 cm among plants, distributed in a completely randomized block design with three replications. The genetic effects were estimated using the line x tester design. The obtained results indicate that the yield of jalapeno pepper is mainly influenced by the additive effects of the genes. A differential behavior was observed between the lines, the testers and the mixed ones with respect to test environments, having observed a better behavior in the temperate one of Delicias, than in the tropical one of Tampico, since the shown heterosis was higher by 76%. The best mixed ones for Delicias are 4x3, 10x3, 30x3, and 33x3; and for Tampico 27x3, 28x3, 33x1, and 38x1.

Key Words: jalapeno pepper, ACG, ACE, heterosis, mixed ones.

Resumen

Los acuerdos de comercio internacional que tiene México han propiciado importantes cambios en la tendencia del mercado de productos agrícolas y, en cultivos como el chile jalapeño, su efecto es en los estándares de la calidad del fruto, las que a su vez han exhibido el rezago en la generación de genotipos competitivos en productividad y calidad, lo que constituye el principal problema a resolver del mejoramiento de chile. Por lo anterior, los objetivos de este estudio fueron: a) Determinar el tipo de acción génica del rendimiento en un grupo de progenitores de chile jalapeño para definir y eficientar su aprovechamiento en el mejoramiento, y b) detectar las mejores líneas y probadores en base a ACG así como las mejores cruzas en base a ACE y heterosis para la formación de variedades de polinización libre o híbridos de chile jalapeño. Las 40 líneas se cruzaron con 3 probadores en forma manual, logrando formar 120 mestizos en total. La evaluación se llevó a cabo durante los ciclos agrícola primavera-verano 2004 y 2005 en los campos experimentales CEDEL en Delicias, Chih., México y el CESTAM en Tampico, Tamps., México. La parcela experimental consistió de una hilera de plantas de 3 m de largo y una distancia de 30 cm entre planta y planta, distribuidas en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Los efectos genéticos se estimaron utilizando el diseño Línea x Probador. Los resultados obtenidos indican que el rendimiento del chile jalapeño está mayormente influenciado por efectos aditivos de los genes. Se observó comportamiento diferencial entre las líneas, los probadores y los mestizos con respecto a los ambientes de prueba, teniendo mejor comportamiento en el ambiente templado de Delicias que en el ambiente tropical de Tampico, ya que la heterosis manifestada fue superior en un 76%. Los mejores mestizos para Delicias son 4x3, 10x3, 30x3 y 33x3 y para Tampico los 27x3, 28x3, 33x1, 35x1 y 38x1.

Palabras clave: Chile jalapeño, ACG, ACE, heterosis, mestizos.

Introducción

México junto con otros países de Centro y Sudamérica es considerado como uno de los centros de origen del chile, básicamente del *Capsicum annuum*. Esta especie también es considerada como la más amplia y de mayor diversificación en el mundo (Pozo, 1984).

En nuestro país existe una vasta diversidad de tipos de chile, de los cuales sobresalen por su preferencia, rentabilidad y superficie los chiles jalapeño, guajillo, ancho, serrano, y habanero, entre otros, con una superficie anual que fluctúa entre 140 a 170,000 ha (ASERCA, 1998).

El chile jalapeño es de los más consumidos, tanto en fresco como procesado, durante todo el año, ya que el cultivo se adapta muy bien a la diversidad de ambientes que existen en el país. Su cultivo rebasa las 45,000 ha por año y lo hace ser, dentro de la amplia riqueza de tipos y especies de chile, el de mayor interés e importancia, incluso es de las especies de mayor aceptación y crecimiento en Estados Unidos. Los estados mexicanos productores son Chihuahua con 12,000 ha, Veracruz con 6,000 ha, Campeche con 3,600 ha y Quintana Roo con 3,500 ha promedio anual (ASERCA, 1998).

La apertura comercial en México ha dado un giro importante a las tendencias del mercado agrícola. En algunos cultivos como el chile jalapeño, el cambio en los estándares de la calidad del fruto es una situación dinámica que ha impuesto algunas modas en el mercado, y que han exhibido el rezago en la generación de genotipos competitivos, lo que constituye el principal problema actual del mejoramiento del chile.

Para enfrentar este problema, es necesario hacer más eficientes los programas de mejoramiento, en lo referente a la generación de híbridos competitivos en productividad y con la calidad comercial demandada. Para ello es primordial disponer de una amplia base de progenitores caracterizados, fenotípica y genéticamente, para responder en forma efectiva y rápida a cualquier cambio que experimente la dinámica del mercado del chile.

El diseño línea x probador es un método de análisis de efectos genéticos sencillo y versátil que permite el manejo de un mayor número de progenitores y proporciona información relevante sobre los efectos genéticos aditivos y no aditivos (Kempthorne, 1957). Además, origina información genética específica tanto de las líneas como de los probadores y, sobre todo, no limita el número de entradas. Este diseño no es tan popular como los dialélicos II y IV de Griffing (1956), específicamente en chile jalapeño no se encontró referencia de su uso pero se ha empleado como una excelente opción para generar información genética en otros cultivos (Narro *et al*., 2003; Joshi *et al*., 2002; Senthil y Ganesan, 2002; Singh y Kumar, 2004; Ahmed *et al*., 2003; Upadhja y Cabello, 2000).

Los términos de aptitud combinatoria fueron definidos por Sprague y Tatum (1942), refiriéndose a la aptitud combinatoria general (ACG) como el comportamiento promedio de una línea en todas sus combinaciones híbridas y a la aptitud combinatoria especifica (ACE) como aquellos casos particulares en los que cierta combinación híbrida se comporta relativamente mejor, o peor, que las líneas involucradas en la cruza.

El conocimiento de la ACG y ACE es prerrequisito indispensable para la selección de progenitores con mejores perspectivas en caracteres hortícolas deseables. Griffing (1956), Falconer (1981) y Vencovsky y Barriga (1992) mencionan que a través de la relación ACE/ACG indicador del grado promedio de dominancia, se puede obtener una aproximación sobre la forma en que se hereda el carácter en estudio, asimismo, puede ser un indicativo para elegir el método de mejoramiento a seguir.

Explorar y aprovechar el vigor híbrido en cultivos tradicionales de México como el chile, ubicado como una planta de polinización facultativa (Odland y Porter, 1941; Franceschetti, 1971; Pozo, 1983), debe ser algo rutinario en cualquier programa de mejoramiento, pues se ha demostrado la existencia de heterosis con potencial de uso como en las especies alógamas. En este sentido, Chain (1987) reporta para *Capsicum annuum* una heterosis importante sobre el progenitor medio y mejor progenitor o heterobeltiosis, en rendimiento por planta de 34.91 y 9.36 %, respectivamente, así como para algunos componentes del rendimiento como número de frutos por planta (49.87 % y 31.37 %) y longitud de fruto (22.69 % y 15.21 %). En tanto, Singh (1987) reporta, para chile picoso un incremento de 101 a 235 % del rendimiento de fruto verde y de 74.45 a 137 % del rendimiento de fruto rojo sobre el progenitor estándar.

Por lo anterior, se realizó la presente investigación con los siguientes objetivos: a) determinar el tipo de acción génica del rendimiento en un grupo de progenitores de chile jalapeño para definir y eficientar su aprovechamiento en el mejoramiento, y b) detectar las mejores líneas y probadores en base a ACG así como las mejores cruzas en base a ACE y heterosis para la formación de variedades de polinización libre o híbridos de chile jalapeño.

Materiales y Métodos

La investigación se llevó a cabo durante los ciclos agrícolas PV- 2004 y 2005 en las localidades de Delicias, Chih., México, en colaboración con el campo experimental Delicias (CEDEL) localizado en el km 2 de la carretera Delicias-Rosales y en Tamaulipas, en colaboración con el

campo experimental Sur de Tamaulipas (CESTAM), del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

El material germoplásmico consistió de 40 líneas y 3 probadores. Cada línea y probador fueron sembrados en macetas y crecidas en invernadero, obteniendo 3 plantas por línea o probador para realizar los diferentes cruzamientos programados. La formación de los mestizos, producto del cruzamiento de los probadores con las líneas, se realizó en invernadero en el CEDEL durante 2004. Los cruzamientos fueron en forma manual y en promedio se obtuvieron de 3 a 5 frutos por cruza, en total se lograron formar 120 mestizos.

Previo al establecimiento de los mestizos en campo, las plántulas fueron crecidas en invernadero, en charolas de poliestireno con un manejo nutricional especializado para este tipo de chile (CESTAM, 2000). La parcela de evaluación para cada mestizo y padres fue una hilera de plantas de 3 m de largo y una distancia de 30 cm entre planta y planta. En promedio cada parcela constó de 10 a 12 plantas. El manejo agronómico del cultivo fue en base al paquete tecnológico sugerido por el INIFAP en las localidades de estudio (CESTAM, 2000). Se tomaron datos de rendimiento de fruto en dos cortes.

Para estimar los efectos genéticos se recurrió al diseño línea x probador bajo el modelo propuesto por Singh y Chaudhary (1977). El diseño experimental empleado fue bloques completos al azar con tres repeticiones. Los resultados se compararon mediante análisis de variación.

Considerando los cuadrados medios de aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE) en términos de las covarianzas de medios hermanos (CovMH) y hermanos completos (CovHC), respectivamente, se estimaron varianzas genéticas aditiva (σ_A^2) y dominante (σ_D^2).

La ACG es igual a la covarianza de MH e igual a la varianza para líneas, probadores y el promedio de ambos, en tanto, σ_A^2 es igual a 4 veces la varianza de ACG cuando el coeficiente de endogamia (F) tiene un valor de F=0 o bien dos veces cuando el valor de F=1; en esta investigación se considero un valor de F=1 para la estimación de los parámetros genéticos anteriormente indicados. Para σ_D^2 corresponde directamente el valor de la ACE (Singh y Chaudhary, 1977). Las expresiones empleadas fueron, de acuerdo con Singh y Chaudhary (1977). Una vez determinados los componentes de la varianza genética se estimó la heredabilidad estrecha (h^2), como: $h^2 = \frac{\sigma_A^2}{\sigma_P^2}$. La varianza fenotípica (σ_P^2) se estimó como: $\sigma_P^2 = \sigma_A^2 + \sigma_D^2 + \sigma_E^2$.

La heterosis fue determinada mediante las expresiones para progenitor medio (PM) y mejor progenitor (MP) tomadas de Reyes (1985). La prueba de significancia de ACG y ACE se realizó con la fórmula propuesta por Singh y Chaudhary (1977).

La prueba de significancia de la heterosis del progenitor medio (PM) y mejor progenitor (MP) se realizó mediante una t, para lo que se recurrió a las expresiones utilizadas por Acevedo y Monteverde (1998) y Delgado y Layrisse (1992).

Toda la información se analizó con el paquete estadístico SAS versión 8.0 (SAS, 1999). La rutina en lenguaje SAS para el diseño línea x probador fue de acuerdo a Bartolomé y Gregorio (2000), que da seguimiento paso a paso al procedimiento de cálculo presentado por a Singh y Chaudhary (1977).

Resultados y Discusión

Análisis de varianza

El análisis de varianza para el diseño experimental se presenta en el Cuadro 1, en el que se incluye también el análisis del diseño Línea x Probador. Al fraccionar la fuente de mestizos en líneas (L), probadores (P) e interacción entre ellos (LxP), se encontraron diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) entre líneas y probadores en las dos localidades y en el análisis combinado. Aunque en la localidad de Tampico se aprecian diferencias altamente significativas de la interacción LxP, con base a la magnitud de los cuadrados medios es posible decir, que el rendimiento se atribuyó preferentemente a los efectos de las líneas y probadores, más que a su interacción. Tomando en cuenta el análisis combinado, se confirma lo anterior ya que muestra la misma tendencia de la contribución relativa a favor de probadores y líneas. En lo que se refiere a la interacción de los mestizos con el ambiente, la varianza del rendimiento es mayormente explicada por las diferencias altamente significativas de Loc x Probador y Loc x Línea, que por la interacción de ambos con el ambiente; sin embargo, la magnitud del cuadrado medio de Loc x Probador señala que los probadores responden diferencialmente al efecto de los ambientes de prueba, en mayor intensidad que las líneas.

Componentes genéticos de la varianza

La interpretación de los efectos de ACG de líneas y probadores y la de ACE de la interacción entre ellos en términos de efectos genéticos a partir de covarianzas de parientes y estas en componentes aditivo y dominante de la varianza genética, se presenta en el Cuadro 2.

Cuadro 1. Grados de libertad (GL) y Cuadrados Medios (CM) del análisis de varianza del rendimiento de chile jalapeño en dos localidades y combinado. INIFAP-CEDEL-CESTAM-UAAAN. 2006.

FV	Delicias		Tampico		Combinado	
	GL	CM	GL	CM	GL	CM
Loc					1	23671.590**
Mestizos	109	177.005	119	17.715**	119	60.892**
Línea	38	307.346**	39	34.782**	39	79.407**
Probador	2	946.033 **	2	45.838**	2	560.959**
Línea x Probador	69	83.506	78	8.460**	78	37.672
LocxMestizos					119	61.146**
LocxLínea					39	98.687**
LocxProbador					2	228.973**
LocxLíneaxProbador					78	36.612
Error	302	96.240	119	1.638	218	41.790

** Significativo al 0.01 de probabilidad.

Cuadro 2. Componentes genéticos del rendimiento de chile jalapeño evaluado en Delicias, Tampico y combinado. CEDEL-CESTAM-INIFAP- UAAAN. 2006.

Parámetros genéticos	Delicias	Tampico	Combinado
$ACG_{líneas}$	24.871	4.387	-2.214
$ACG_{probadores}$	7.188	0.467	1.780
ACG_{prom}	0.432	0.068	0.110
ACE	-4.245	3.411	-0.170
σ^2_A líneas	49.742	8.774	-4.428
σ^2_A probadores	14.375	0.634	3.560
σ^2_A prom.	0.863	0.136	0.221
σ^2_D	-4.245	3.411	-0.170
$\overline{D}_{líneas}$	0	0.624	0
$\overline{D}_{probadores}$	0	2.319	0
$\overline{D}_{promedio}$	0	5.000	0
$h^2_{Líneas}$	0.351	0.635	-0.084
$h^2_{Probadores}$	0.135	0.156	0.004
$h^2_{promedio}$	0.009	0.026	0.067

$s^2_{Alineas}$, $s^2_{Aprobadores}$, s^2_{Aprom} = varianza aditiva de líneas, probadores y promedio de líneas y probadores, respectivamente. s^2_D =varianza de dominancia. dominancia. $\overline{D}_{Líneas}$, $\overline{D}_{probadores}$, $\overline{D}_{promedio}$ = grado promedio de dominancia con base en varianzas aditivas de líneas, probadores y el promedio de ellos, respectivamente. $h^2_{Líneas}$, $h^2_{Probadores}$, $h^2_{promedio}$ =heredabilidad con base en varianzas aditivas de líneas, probadores y el promedio de ellos, respectivamente.

Se puede deducir que el rendimiento de los mestizos en la localidad Delicias se debió mayormente a efectos de los genes aditivos, resultados que coinciden con Patel *et al.* (1998).

En la localidad Tampico se aprecian resultados contradictorios con los obtenidos en la localidad de Delicias, sobre todo para la varianza de dominancia, ya que de expresarse en forma negativa en Delicias (-4.245) pasó a tener una expresión positiva (3.411) en Tampico. Al estimar las varianzas genéticas y el grado de dominancia en la localidad de Tampico, con la varianza aditiva de los probadores y el promedio de ambos progenitores, se aprecia que el rendimiento fue mayormente influenciado por la actividad de genes no aditivos ($\overline{D} > 1$), estos resultados son parecidos a los de Ahmed *et al.* (1998), mientras que al estimarlos con la varianza de las líneas, la expresión del grado de dominancia del rendimiento cambió, siendo ahora mayormente atribuida a genes de acción aditivaa ($\overline{D} > 1$). En la localidad Delicias, en cambio, dado que la estimación de la varianza de dominancia resultó negativa, teóricamente igual a cero (Dudley y Moll, 1969; Castillo y Nevado, 1980), la interpretación es que el grado de dominancia fue inexistente ($\overline{D} = 0$) y el rendimiento fue una función de los efectos solamente del tipo aditivo.

Por otra parte, los resultados del análisis combinado señalaron a la ACG de probadores como la fuente de mayor contribución al rendimiento, ya que superó a los valores de ACG de líneas y a la ACE. Considerando las varianzas genéticas aditivas promedio de ambos tipos de progenitores y la de probadores, se puede deducir que los genes aditivos estuvieron más estrechamente relacionados que los no aditivos con la expresión del rendimiento de chile jalapeño. Sin embargo, tomando en cuenta la estimación de varianza aditiva de las líneas, la situación fue muy diferente a los otros componentes, ya que los valores negativos de las varianzas aditivas y no aditivas no permitieron determinar con precisión la acción de los genes que están vinculados a la expresión del rendimiento.

Heredabilidad

El valor de la h^2 estimado con datos promedio de $\sigma^2_{\hat{A}}$ de los dos progenitores en las dos localidades, permitió comprobar que el rendimiento es de los caracteres más difíciles de fijar (Hallauer y Miranda, 1981), pues su expresión generalmente es de herencia cuantitativa o poligénica, por lo tanto, altamente influenciada por el ambiente.

Cuadro 3. Rendimiento y efectos de Aptitud Combinatoria General (ACG) para líneas progenitoras de chile jalapeño. INIFAP-CEDEL-CESTAM- UAAAN.2006.

Líneas	Delicias		Tampico		Combinado	
	t h-1	ACG	t h-1	ACG	t h-1	ACG
1	25.62	-3.70	14.21	-2.25**	21.74	-0.99
2	24.17	-5.15	15.50	-0.95	24.14	-0.97
3	30.98	1.67	16.87	0.41	26.23	3.68
4	33.75	4.44	17.72	1.26*	22.77	0.89
5	23.69	-5.62	19.17	2.72**	26.54	2.82
6	40.36	11.04**	17.10	0.64	22.52	0.91
7	28.96	-0.35	15.61	-0.85	22.91	-0.71
8	37.44	8.13*	15.05	-1.41**	22.14	2.02
9	31.70	2.38	16.00	-0.46	22.70	3.13
10	24.45	-4.86	16.41	-0.05	19.85	-1.27
11	23.27	-6.04	10.67	-5.79**	27.90	-0.28
12	28.62	-0.70	13.64	-2.82**	21.08	-3.65
13	36.40	7.09*	20.89	4.43**	22.45	4.58*
14	28.32	-0.99	15.96	-0.50	20.91	-0.90
15	28.04	-1.28	15.29	-1.17*	26.37	-0.64
16	17.73	-11.58**	12.13	-4.33**	28.00	1.06
17	18.23	-11.08**	15.92	-0.54	24.31	4.49*
18	18.83	-10.48**	18.93	2.47**	27.10	4.58*
19	19.58	-9.73**	15.24	-1.22*	22.78	-0.63
20	25.08	-4.23	19.57	3.11**	25.43	2.96
21	25.78	-3.53	15.90	-0.56	27.99	-0.51
22	21.19	-8.12*	16.03	-0.43	25.39	-2.50
23	32.20	2.89	17.66	1.21*	22.42	5.72**
24	18.59	-10.73**	20.10	3.65**	24.47	0.73
25	31.28	1.97	15.28	-1.18*	21.43	-1.67
26	31.21	1.90	13.47	-2.99**	20.98	-3.56
27	35.16	5.85	20.59	4.13**	22.47	-1.98
28	33.00	3.68	20.80	4.34**	19.89	-4.29*
29	35.80	6.49*	15.43	-1.03	29.13	-0.95
30	35.92	6.61*	17.84	1.38**	19.13	-1.98
31	33.57	4.26	16.26	-0.20	26.87	2.96
32	31.99	2.68	14.09	-2.37**	25.09	-2.84
33	28.47	-0.84*	20.74	4.28**	23.13	1.98
34	32.06	2.75	17.46	1.00	19.77	1.68
35	36.94	7.63*	17.01	0.55	24.33	3.46
36	36.99	7.68*	13.71	-2.74**	20.57	-2.47
37	31.12	1.81	16.87	0.41	19.85	-3.56
38	29.45	0.14	16.92	0.46	20.45	-2.44
39	36.51	7.20*	17.09	0.63	21.44	-2.33
40	-	-	13.20	-3.26**	-	-

*, ** Significativamente diferente de cero al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente.

La magnitud de h^2 mejoró notablemente al ser estimada considerando la varianza aditiva de cada tipo de progenitor, particularmente con líneas, donde los valores alcanzaron la mayor expresión, en las dos localidades. Según Robinson *et al.* (1951) la heredabilidad del rendimiento en líneas fue intermedia en Delicias y alta en Tampico, similar a lo encontrado por Takur (1987). Esto significa que poseen gran cantidad de genes favorables del tipo aditivo, y por lo tanto, factibles de mejorar a través de métodos de mejoramiento como pedigrí, selección masal y selección recurrente tal como sugieren Pozo y Ramírez (2000), Ahmed *et al.* (1998), Patel *et al.* (1998), Joshi (1990) y Martínez *et al.* (2005).

Aptitud combinatoria de progenitores y mestizos

En el Cuadro 3 se presentan las estimaciones de ACG de las líneas progenitoras evaluadas en las dos localidades y combinando ambos experimentos. En Delicias el 46.15 % de las 39 líneas tuvieron ACG negativa con valores fluctuando de -0.35 a -11.58. El 53.85 % restante manifestó una ACG positiva variando su magnitud de 0.14 a 11.04. De este último grupo sobresale la línea 6 (11.04) ya que fue la única con efectos positivos altamente significativos ($P<0.01$); así como las líneas 8 (8.13), 36 (7.68), 35 (7.63), 39 (7.20), 13 (7.09), 30 (6.61) y 29 (6.49) con efectos significativos ($P<0.05$) y valores elevados de ACG. Estas líneas coincidieron con los mejores rendimientos y, por lo tanto, pueden considerarse candidatas a ser excelentes progenitoras para la formación de variedades sintéticas como reservorios de genes aditivos o bien para mejorar el rendimiento por los métodos convencionales como selección masal, recurrente o pedigrí.

La asociación entre el rendimiento de las líneas y los efectos de ACG en la localidad de Delicias, mostró un coeficiente de correlación de $r=0.99$, lo que explica que las líneas con mayor o menor valor de ACG corresponde al mayor o menor rendimiento.

En el mismo Cuadro 3 se muestran los valores de ACG de la evaluación de las líneas en Tampico, en donde el 55 % resultaron con ACG negativa, esto significa que quedan descartadas como líneas para mejoramiento de este carácter aprovechando los efectos de genes aditivos. Del grupo con ACG positiva (45 %) sobresalen las líneas 13 (4.431), 24 (3.644), 27 (4.129), 28 (4.340) y 33 (4.284) con los valores más elevados y significativamente diferentes de cero ($P<0.01$), dichas líneas corresponden a las más productivas de esta localidad. Al igual que en la localidad anterior, el rendimiento y el valor de ACG expresaron una estrecha relación al presentar un coeficiente de correlación igual a la unidad ($r=1$).

Es importante notar que el comportamiento productivo y genético (ACG) de las líneas fue diferente entre las dos

localidades, ya que de todas las líneas sólo la 13 y la 30 coincidieron en ambas localidades. La caída del rendimiento en la localidad de Tampico en relación a la localidad de Delicias era de esperase, ya que los genotipos fueron desarrollados en ambiente templado que predomina en la región de Delicias. Sin embargo, fue clara la idea de su evaluación en ambiente contrastante a fin de seleccionar aquellos progenitores que formen híbridos competitivos específicos o para ambos ambientes. Lo anterior queda explicado por los resultados mostrados en el ANVA combinado del Cuadro 1, ya que marca diferencias altamente significativas entre localidades de prueba y localidades x líneas. Los valores de ACG combinados de líneas (Cuadro 3) indican que el 40 % de ellas poseen ACG positiva, del cual destacan por su alta diferencia significativa ($P<0.01$) las líneas 23 (5.716), luego con efectos significativos ($P<0.01$) las líneas 13 (4.584), 18 (4.576) y 17 (4.486).

ACG de Probadores

En el Cuadro 4 se presentan los resultados de la ACG de los probadores en ambas localidades y el combinado. Se observó que de los 3 probadores solamente la número uno manifestó una ACG positiva y significativamente diferente ($P<0.01$); en cambio los otros 2 expresaron una ACG negativa. Esto significa que el probador número uno puede ser un excelente probador para identificar líneas para la formación de sintéticos o bien para mejorar hacia mayor rendimiento mediante métodos convencionales mencionados anteriormente, indistintamente del ambiente de prueba.

ACE de Mestizos

En el Cuadro 5 se muestran los efectos de ACE de los mejores 5 mestizos de cada probador en las dos localidades y combinado. En Delicias se detectaron al 54.54 % con valores negativos de ACE cuyos datos, no mostrados, fluctuaron entre -0.21 a -9.27 y el 45.46 % restante con ACE positiva. Cabe resaltar que ningún mestizo mostró efectos significativos en la localidad de Delicias. Los mejores valores de ACE del probador uno fueron con las líneas 8, 10, 15, 41 y 42; con el probador dos las líneas, 17, 23, 30, 32 y 34; y en el caso del probador tres, las mejores líneas fueron 13, 22, 28, 31 y 36.

En la localidad de Tampico, de la totalidad de los mestizos el 52 % tuvieron un valor de ACE negativo y el 48 % restante una ACE positiva (datos no mostrados). Los mayores valores de ACE logrados con el probador uno fueron con las líneas 31, 33, 35, 36 y 38; en el probador 2 con 3, 15, 21, 32 y 37 y en el probador 3 con 8, 26, 27, 28 y 29. En este caso en particular ninguna línea se repitió con los 3 probadores.

Las estimaciones de ACE, tomando en cuenta el análisis combinado de ambas localidades, indican que del total de mestizos evaluados el 52.66 % presentaron valores positivos, el restante 47.34 % negativos (datos no

Cuadro 5. Efectos de Aptitud Combinatoria Específica (ACE) para mestizos sobresalientes de chile jalapeño. CEDEL-INIFAP- UAAAN.2006.

Delicias			Tampico			Combinado		
Mestizo	(t h^{-1})	ACE	Mestizo	(t h^{-1})	ACE	Mestizo	(t h^{-1})	ACE
8x1	32.44	5.44	31x1	20.15	3.06 **	6x1	30.02	3.67
10x1	39.82	7.55	33x1	25.19	3.62 **	19x1	28.25	3.45
15x1	37.29	5.37	35x1	20.93	3.09 *	25x1	26.96	3.19
41x1	38.48	5.72	36x1	15.88	1.34	38x1	27.43	4.43
42x1	45.80	5.98	38x1	20.80	3.05 **	39x1	25.93	2.82
17x2	35.12	9.04	3x2	19.42	2.72 **	3x2	30.38	4.23
23x2	31.96	9.13	15x2	17.84	2.72 **	21x2	26.17	4.21
30x2	39.38	6.46	21x2	18.50	2.76 **	24x2	28.49	5.29
32x2	40.65	7.09	32x2	16.32	2.40 **	31x2	24.31	4.81
34x2	39.38	8.05	37x2	18.70	2.00 *	40x2	23.80	4.85
13x3	30.21	6.70	8x3	17.63	3.24 **	10x3	26.74	5.65
22x3	25.42	6.78	26x3	15.52	2.71 **	27x3	24.06	3.68
28x3	38.27	7.94	27x3	22.91	2.98 **	28x3	21.15	3.08
31x3	36.90	4.85	28x3	22.58	2.44 **	29x3	24.26	2.85
36x3	34.46	6.94	29x3	17.79	3.02 **	39x3	22.79	2.76

*, ** Significativamente diferente de cero al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente.

mostrados). Es importante mencionar que ningún mestizo tuvo diferencias significativas de ACE. Sin embargo, de grupo de interés se puede señalar aquellas con mayor ACE como la 6, 19, 25, 38, y 39 con el probador 1; la 3, 21, 24, 40 y 31, con el probador 2 y finalmente las líneas 10, 27, 28, 29, y 39 con el probador 3.

Es importante indicar que los mejores rendimientos no necesariamente se relacionan con las líneas seleccionadas por el valor alto de ACE, pero vale la pena señalar que genéticamente existe el potencial para combinar mejor y por ende para explotar el vigor híbrido de tales progenitores.

El comportamiento *per se* y los valores de ACE de cada mestizo no guardan una alta asociación, ya que de acuerdo al análisis de correlación los coeficientes fueron 0.57, 0.56 y 0.62 en las localidades de Delicias, Tampico y combinado, respectivamente. Esta correlación permite explicar porqué se observan valores altos, bajos e incluso negativos con un rendimiento alto o bajo; asimismo, que el rendimiento expresado por los mestizos no es indicador de buena ACE.

Heterosis del rendimiento

La estimación de la heterosis de los mejores mestizos o híbridos F_1 evaluados en la localidad Delicias, se muestra en el Cuadro 6. Los mestizos que expresaron heterosis del promedio de los padres, superior a 100 % fueron 4x3, 10x3, 28x3, 30x1, 30x3, 32x1 y 33x3, de éstos, solamente 4x3, 10x3, 33x3, y 30x3 generaron una heterosis respecto al mejor padre, o heterobeltiosis, también superior a 100 %, resultados que concuerdan con lo reportado para *Capsicum* por Singh (1987), Chain (1987) y Takur (1987). Llama la atención que en la mayoría de las combinaciones se encontró el progenitor 3 con ACG negativa; asimismo, que sólo el mestizo 28x3 presentó una ACE positiva (Cuadro 6).

No se observó tendencia alguna que indicara que el valor de la heterosis pudiera ser de utilidad para elegir los mejores progenitores a falta de valores significativos de ACE, ya que su grado de asociación fue bajo (r=0.50) indicando que la heterosis se dio principalmente por efectos aditivos más que por efectos de dominancia.

Estos resultados difieren con lo consignado por De Fatima *et al.* (2002) donde la heterosis expresada por los híbridos de frijol fue coherente con la ACE (r = 0.71). Falconer (1981) estableció que la heterosis puede originarse de la dominancia de los genes, la diferencia en frecuencias génicas de los progenitores o de la diversidad genética entre ellos.

En la localidad de Tampico (Cuadro 7), del total de mestizos evaluados el 49.17 % produjeron heterosis positiva y el 50.83 % restante heterosis negativa. La heterosis positiva fluctuó de 0.29 % hasta 32 % en las combinaciones 19x1 y 33x1, respectivamente. Los 5 mestizos que generaron la heterosis más alta fueron 27x3, 28x3, 33x1, 35x1 y 38x1. En este caso están involucrados, consistentemente, los probadores 1 y 3 cuyos valores de ACG fueron positivo y negativo, respectivamente. Con relación a la ACE las combinaciones con mayor heterosis coincidieron con valores positivos y altamente significativos. Aún cuando los mejores mestizos señalan una alta asociación entre ambas variables, al considerar todos los mestizos esta aparente correlación se redujo a 0.31, es decir muy baja y similar a la encontrada en la localidad de Delicias, confirmando que la heterosis estuvo dada principalmente por efectos aditivos más que por efectos de dominancia.

Cuadro 6. Rendimiento de los mestizos más sobresalientes, de su mejor progenitor (MP), el promedio de sus progenitores (PM), heterosis con respecto a su progenitor medio (PM) y a su mejor progenitor (MP). CEDEL-INIFAP- UAAAN. 2006.

Cruza	Rendimiento (t h^{-1})			Heterosis %)	
	Mestizo	PM	MP	PM	MP
4x1	35.51	21.56	26.25	64.66*	35.25
4x3	35.65	15.43	16.88	131.05**	11.30*
5x1	32.44	17.68	26.25	83.49*	23.57
6x1	43.45	26.30	26.36	65.19*	64.86
8x1	42.65	28.60	30.95	49.11*	37.79
10x3	30.21	14.17	14.35	113.23*	110.60*
25x3	38.27	22.93	31.88	66.90*	20.07
28x3	36.90	17.78	21.58	107.53**	71.03
29x2	40.65	24.76	25.92	64.18*	56.83
30x1	43.66	19.84	26.25	120.09**	66.31*
30x3	33.10	13.71	13.99	141.47**	136.60*
31x2	39.38	24.99	26.37	57.59*	49.32
32x1	34.82	17.26	20.54	101.72*	69.57
33x3	34.46	15.57	17.15	121.37**	101.00*
35x3	37.74	22.99	31.99	64.14*	17.95
36x1	43.36	29.14	32.02	48.82*	35.41
39x1	45.80	26.18	26.25	74.98**	74.48*
39x3	35.02	20.04	26.10	74.70*	34.16

*, ** Significativamente diferente de cero al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente.

Al comparar ambas localidades es muy notoria la diferencia productiva de los mestizos, ya que mientras en Delicias las heterosis máximas del PM y la del MP superaron el 100 %, en Tampico apenas rebasó el 32 %. De todos los mestizos evaluados sólo el conformado por la línea 28 y el probador 1 coincidió productivamente en ambos ambientes. Cabe hacer mención que los ambientes son contrastantes, por lo tanto, es posible que las diferencias productivas tan marcadas sean por interacción genotipo-ambiente a favor del ambiente templado, ya que superó

en 76.55 % a los híbridos de Tampico. Considerando los progenitores, se observó, de igual manera, una diferencia notable pues la media de los progenitores líneas y probadores superaron en 57.84 % y 27.52 % a las líneas y probadores de Tampico, respectivamente. Las diferencias señaladas entre los mestizos y los progenitores fueron corroboradas en el análisis combinado, ya que el ANVA del Cuadro 1 presenta diferencias significativas (P<0.01), primeramente entre ambientes, luego entre ambiente x líneas, ambiente x probadores y ambiente x mestizos.

Cuadro 7. Rendimiento de los mestizos más sobresalientes, de su mejor progenitor (MP), el promedio de sus progenitores (PM), heterosis con respecto a su progenitor medio (PM) y a su mejor progenitor (MP). CESTAM-INIFAP- UAAAN. 2006.

Cruza	Rendimiento (t h-1)			Heterosis (%)	
	Mestizo	PM	MP	PM	MP
3x2	19.42	16.58	16.87	17.14*	15.12*
5x2	19.93	17.73	19.17	12.43*	3.97
8x3	17.63	15.42	15.80	14.31*	11.60
13x1	21.49	19.09	20.89	12.60*	2.89
18x1	20.44	18.11	18.93	12.91*	8.01
20x2	20.18	17.93	19.57	12.53*	3.10
21x2	18.50	16.10	16.29	14.93*	13.56
24x1	20.95	18.69	20.10	12.08*	4.23
24x2	21.12	18.20	20.10	16.09**	5.08
27x1	21.79	18.94	20.59	15.09**	5.86
27x3	22.91	18.19	20.59	25.95**	11.30
28x1	21.65	19.04	20.80	13.71*	4.10
28x3	22.58	18.30	20.80	23.40**	8.57
29x3	17.79	15.61	15.80	13.92*	12.58
31x1	20.15	16.77	17.29	20.15**	16.59*
33x1	25.19	19.01	20.74	32.48**	21.44**
35x1	20.93	17.15	17.29	22.04**	21.06**
38x1	20.80	17.10	17.29	21.61**	20.33**

*, ** Significativamente diferente de cero al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente.

Conclusiones

El diseño genético Línea x Probador es una buena estrategia para discriminar progenitores y obtener descriptores genéticos confiables. Los valores de ACG y ACE permitieron diferenciar genéticamente las líneas progenitoras de chile jalapeño e identificar, con ello, su mejor estrategia de mejoramiento y aprovechamiento potencial en cada ambiente de prueba. El rendimiento del chile jalapeño es mayormente influenciado por efectos aditivos de los genes. Las líneas, probadores, y mestizos respondieron diferencialmente a los ambientes de prueba, siendo más favorable el ambiente templado de Delicias que el ambiente tropical de Tampico. El chile jalapeño expresó valores significativos de heterosis con respecto al PM (141.47 %) y MP (136.59 %). Los mejores mestizos en Delicias fueron 33x3, 10x3, 4x3, y 30x3 y en Tampico los mestizos 27x3, 28x3, 33x1, 35x1 y 38x1.

Literatura Citada

Acevedo, B. M. A. y P. E. J. Monterverde. *1998*. Heterosis y heredabilidad en una población indehiscente de ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) de tipo africano. Rev. Fac. Agron. (Maracay) 24: 1-23.

Ahmed, N., M. Hurra, S. A. Wani and S. H. Khan. 2003. Gene Action and Combining Ability for Fruit Yield and its Component Characters in Sweet Pepper. 22: 55-58. *In*: Capsicum and Eggplant Newsletter. Turin, Italy.

Ahmed, N., F. A. Shah, G. H. Zargar and S. A. Wani. 1998. Line x Tester Analysis for the study of combining ability in hot pepper (*Capsicum annuum* L.). 17: 38-41. *In*: Capsicum and Eggplant Newsletter. Turin, Italy.

ASERCA. Apoyos y Servicios a la Comercialización Agropecuaria. 1998. El chile verde y su trascendencia cultural. Claridades Agropecuarias, 56, 3-17.

Bartolome, V. I. and G. B. Gregorio. 2000. An Interactive Macro Program for Line x Tester analysis. International Rice Research Institute. Los Baños, Philippines. (http://www.cgiar.org/irri).

Castillo, M. A. y B. M. Nevado. 1980. El método de análisis de varianza y probabilidad de obtener estimaciones negativas de componentes de varianza. Agrociencia 40: 145-180.

CESTAM. 2002. Paquetes Tecnológicos para la Producción Agrícola en el Sur de Tamaulipas. Documento Técnico para Productores. Campo Experimental Sur de Tamaulipas CIRNE-INIFAP. 53 p.

Chain, M. 1987. A study of hybrid vigour in chillie (*Capsicum annuum* L.). 6: 47-48. *In:* Capsicum and Eggplant Newsletter. Turin, Italy.

De Fátima M. C., S. J. Bosco, N. G. E. De Sousa and R. M. A. Patto. 2002. Choice of common bean parents based on combining ability estimates. Genet. Mol. Biol. 25(2): 179-183.

Delgado, N, y A. Layrisse. 1992. Análisis del cruzamiento dialélico de seis variedades indehiscentes y dos dehiscentes de ajonjoli (*Sesamum indicum* L.) *Agronomía Trop. 42: 191-209.*

Dudley, J. W. and R. H. Moll. 1969. Interpretation and use of estimates of heritability and genetic variances in plant breeding. Crop Sci. 9: 257-262.

Franceschetti, U. 1971. Natural cross pollination in pepper (*Capsicum annuum* L.). pp: 346-353. *In:* Proceeding of the Eucarpia Meeting on Genetic and Breeding of Capsicum. Turin, Italy.

Falconer, D. S. 1981. Introducción a la Genética Cuantitativa. C. E. C. S. A., México D. F., México. 457 p.

Griffing, B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. Aust. J. Biol. Sci. 9:463-493.

Hallauer, A. R., and J. B. Miranda. 1981. Quantitative Genetics in Maize Breeding. Iowa State Univ. Press. Ames, Ia. 468 p.

Joshi, S. 1990. Genetics of six quantitative traits in sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). Capsicum and Eggplant Newsletter 8-9: 26-27.

Joshi, V. N., R. B. Dubey and S. Marker. 2002. Combining ability for polygenic traits in early maturing hybrids of maize (*Zea mays* L.). Indian J. Genet. 62: 312-315.

Kempthorne, O. 1957. An Introduction to Genetic Statistics, John Wiley and Sons, New York. pp: 458-471.

Martínez, Z., G., J. R. A. Dorantes G., A. de la Rosa L., y O. Pozo C. 2005. Efectos genéticos y heterosis en la vida de anaquel del chile serrano. Rev. Fitotec. Mex. 28: 327-332.

Narro, L., S. Pandey, J. Crossa, C. De León and F. Salazar. 2003. Using Line x Tester interaction for the formation of yellow maize synthetics tolerant to acid soils. Crop Sci. 43:1718-1728.

Odland, M. L. and A. M. Porter. 1941. A study of natural crossing in pepper (*Capsicum frutescens* L.). J. Am. Soc. Hort. Sci. 38: 585-588.

Pozo, C., O. 1983. Estimates of natural cross-pollination in Serrano pepper (*Capsicum annuum* L.). 2: 106-108. *In*: Capsicum and Eggplant Newsletter. Turin, Italy.

Pozo, C., O. 1984. Situación Actual del Cultivo de Chile en México. *In*: J. A. Laborde C. y O. Pozo, C. (eds.) Presente y Pasado del Chile en México. SARH-INIA. Publicación Especial No. 85. pp 18-25.

Pozo, C., O. y M. Ramírez M. 2000. Centauro: Híbrido de chile serrano. Memoria XVIII Congreso Nacional de Fitogenética. p. 359.

Patel, J. A., M. R. Shukla, K. M. Doshi, B. R. Patel and S. A. Patel. 1998. Combining analysis for green fruit yields & yields components in chilli (*Capsicum annuum* L.). 17:34-37. *In:* Capsicum and Eggplant Newsletter Turin, Italy.

Robinson, P. 1963. Heritability; a second look. p. 609-614. *In*: W. D. Hanson and H. F. Robinson (Ed.) Stat. Genetics and Plant Breeding NAS-NRC.

Reyes, C., P. 1985. Fitogenotecnia básica y aplicada. AGT Editor, S. A. México. 460 p.

Senthil, K. P. and J. Ganesan. 2002. Line x Tester for combining ability in sesame (*Sesamum indicum* L.) Sesame and Sawflower Newsletter 17. Institute of Sustainable Agriculture (IAS). Córdoba, Spain.

Singh, N. K. and A. Kumar. 2004. Combining ability analysis to identify suitable parents for heterotic rice hybrid breeding. International Rice Research Notes. Vol 29 :21-22.

SAS Institute Inc. 1999. SAS Institute Inc, version 8.0. Cary, NC., USA.

Singh, S. 1987. Results of the combined ability studies in sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). 6: 49-50. *In*: Capsicum and Eggplant Newsletter, Turin, Italy.

Singh, K. R and D. B. Chaudhary. 1977. Biometrical Methods in Quantitative Genetic Analysis. Kalyani Publishers, Ludhiana New Delhi. 288 p.

Takur, P. C. 1987. Gene Action, an index for heterosis breeding in sweet pepper. 6: 41-42. *In*: Capsicum and Eggplant Newsletter, Turin, Italy.

Upadhya, M. H. and R. Cabello. CIP Program Report 1999 –2000. Lima, Peru. pp:197-206.

Vencovsky, R., y P. Barriga. 1992. Genética Biométrica no Fitomelhoramento. Sociedade Brasileira de Genética, Ribeirao Preto, Sao Paulo, Brasil. 496 p.