

# Análisis Dialélico Basado en Índices de Selección y Enfoque Biplot para Identificar Grupos y Patrones Heteróticos en Poblaciones de Maíz

## Diallel Analysis Based on Selection Index and Approach Biplot to Identify Heterotic Groups and Patterns in Maize Populations

Humberto De León Castillo<sup>\*a</sup>, Ricardo Cuellar Flores<sup>b</sup>, Alfredo de la Rosa Loera<sup>a</sup>, Daniel Sámano Garduño<sup>a</sup> y Francisco Javier Cárdenas Flores<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Col. Buenavista, C.P.25315 Saltillo, Coahuila. México.

---

### Resumen

En los cruzamientos dialélicos ordinariamente el rendimiento u otros parámetros de impacto son empleados de forma individual para generar información de efectos genéticos de los progenitores y de sus cruzamientos, no obstante que para la elección de cruza y progenitores se considera varios parámetros. En el presente trabajo se usó un análisis dialélico donde el criterio de selección fueron los valores relativos al mérito de cada genotipo al considerar simultáneamente 8 parámetros: rendimiento, floración macho, sincronía floral, acame de raíz, mala cobertura, plantas con Fusarium, calificación de mazorca y relación mazorca planta, englobados en un índice de selección (IS). El material genético empleado fueron las cruza posibles de once poblaciones F<sub>2</sub> de híbridos comerciales para las regiones entre 1000 y 2000 msnm, obtenidas para el método II de Gardner y Eberhart (II de G y E). Los objetivos del estudio fueron clasificar progenitores y cruzamientos con base en el valor de sus IS, atendiendo su desempeño *per se*, así como por sus efectos genéticos, e identificar posibles grupos y patrones heteróticos. Las 55 F<sub>1</sub> y los 11 progenitores fueron evaluados en Celaya, Gto., El Prado, N.L. y Tlajomulco de Zúñiga, Jal., durante el año 2006. Los resultados del dialélico II de G y E indican diferencias en: cruza, siendo las de índice superior las cruza 1x8 1x3, 4x5, 6x8 y 1x5 ; en poblaciones, las de mejores índices fueron la 2, 9 y la 3; con mayor efecto varietal sobresalieron estadísticamente las poblaciones 9, 2 y 3; en heterosis varietal sobresalen las poblaciones 11 y la 10; mientras que en heterosis específica las cruza mejores fueron la 9x10, 2x10, 4x5 y la cruza 1x8. El gráfico biplot permitió que se identificaran dos potenciales grupos heteróticos, el primero formado por las poblaciones 1, 2, 4, 6 y 9 el segundo con la población 3, 5 y 8.

**Palabras clave:** índices de selección, dialélicos y gráficos biplot.

### Abstract

In the diallel cross ordinarily the yield or another parameters of impact are used as individual form to generate information of combinatory aptitude of the parents and its crossovers. Even though for the selection of parents and combinations is important to consider several parameters. In this work it was to run a diallel analysis where the selection criterion are the values related to the merit of each genotype when considering simultaneously 8 parameters: yield, male flowering, plant-ears relation, lodging by root, bad coverage, plants with Fusarium, qualification ears, included in a selection index (SI). The work material was the possible combinations between eleven F<sub>2</sub> populations representative of the commercial hybrids recommended to be exploded in regions between 1000 and 2000 masl, obtained by method II of Gardner and Eberhart. The objectives of the study were to classify parents and crossovers with base in the value of the SI, Considering their performance "per se", as well as their genetic effects; and to identify possible groups and heterotic patterns. The 55 F<sub>1</sub> and the 11 parents were evaluated in Celaya, Gto., Prado N.L and Tlajomulco de Zuniga, Jal., during the 2006. The results detected differences in: combinations, being those of superior index combinations 1x8, 1x3, 4x5, 6x8 y 1x5 ; in populations, where those of better index were the 2, 9 and the 3; in GCA, populations 9, 2 and 3; and in heterosis (SCA) the combinations 9x10, 2x10, 4x5 and 1x8 were the best. In addition, the biplot graphical allowed to identify two potential heterotic groups, the first one formed by populations 1, 2 4, 6 and 9; the second one with populations 3, 5 and 8.

**Keywords:** Selection index, diallel, biplot graphical.

---

## Introducción

El dinámico cambio en los prototipos de híbridos comerciales impuesto por la competencia entre empresas, para beneficio de los productores, motiva a que programas de mejoramiento públicos como el del Instituto Mexicano del Maíz (IMM) “Dr. Mario E. Castro Gil” busque adecuar sus patrones heteróticos con la finalidad de atender las exigencias actuales de los productores en la generación de híbridos superiores. Por ello se planeó hacer una exploración de germoplasma con atributos comerciales que coadyuven a mejorar la variabilidad de los grupos heteróticos del programa de El Bajío del IMM.

El fundamento de usar generaciones avanzadas de materiales comerciales como fuente alternativa de variabilidad obedece al hecho de que en la derivación de líneas se espera tolerancia a la endogamia, así como deseables tipos de plantas; se propone usar cruzamientos dialélicos como estrategia de mejoramiento, debido a que en sus diferentes versiones son métodos funcionales para identificar posibles patrones y grupos heteróticos, así como para estimar la aptitud combinatoria general (ACG), aptitud combinatoria específica (ACE) y heterosis entre el material involucrado.

Por otra parte la respuesta a la selección en el cultivo de maíz a la fecha se ha basado principalmente en el mejoramiento de variables individuales. En este estudio se plantea que el seleccionar simultáneamente para varias características, ponderadas adecuadamente, permitirá la identificación de individuos con mejor combinación de caracteres y aumenta por tanto la respuesta a la selección.

Por este motivo, de los datos obtenidos de los cruzamientos posibles entre las 11 poblaciones, lo que se procesó estadísticamente en el análisis dialélico fueron los valores al mérito resultante de conjuntar 8 variables agronómicas: rendimiento, floración macho, sincronía floral, acame de raíz, mala cobertura, plantas con Fusarium, calificación de mazorca y relación mazorca planta, en un índice de selección descrito por Barreto (1991)

También se planeó lograr una clasificación del germoplasma en grupos heteróticos divergentes ya que con ello se logrará una óptima ubicación de este nuevo germoplasma hacia donde se espere mayor heterosis. Para generar esta información se realizó una exploración del dialélico con un enfoque biplot auxiliados del modelo SREG el cual genera una gráfica que permite visualizar que cruzamientos exhibirán la máxima heterosis.

Con los antecedentes anteriores se plantean los siguientes objetivos: Clasificar las 11 poblaciones y sus cruzamientos por medio de un análisis dialélico con base en el valor al mérito de los índices de selección de cada genotipo, tanto de las formas *per se*, así como por sus efectos de aptitud combinatoria general y específica respectivamente; y auxiliados por el modelo regresión en los sitios (SREG) identificar posibles grupos y patrones heteróticos.

Hipótesis: Se considera viable aumentar y mejorar la variabilidad genética del germoplasma del programa de mejoramiento de la región de El Bajío del IMM: si se parte de un germoplasma mejorado donde la endogamia haya sido implicada; si en la selección se consideran los efectos de aptitud combinatoria; si se hace uso de los “índices de selección” para elegir los genotipos ideales, así como de las propiedades de agrupación que tiene el gráfico biplot para la identificación de grupos y patrones heteróticos.

Espitia *et al.* (2006) reportan que el análisis de la aptitud combinatoria general (ACG), permite identificar adecuadamente a progenitores con capacidad para transmitir sus caracteres deseables a la descendencia, y la aptitud combinatoria específica (ACE) posibilita conocer aquellas combinaciones híbridas  $F_1$  sobresalientes, originadas de cruzamientos entre variedades, línea o líneas por variedad.

Vallejo y Estrada (2002) indican que cuando el efecto de ACG (gi) para un determinado progenitor presenta un valor alto positivo o negativo, indica que dicho parental es muy superior o inferior a los demás progenitores. Además, ese valor indica que los genes tienen efectos predominantemente aditivos, por lo tanto, los progenitores con los más altos valores (gi) son los más adecuados para formar nuevas poblaciones, favoreciendo la selección de nuevas líneas homocigotas.

Yáñez (2005) menciona que un índice de selección sirve para hacer selección de manera simultánea considerando tanto aspectos genéticos como económicos; por lo tanto este índice está conformado esencialmente por dos ecuaciones; la primera, en la cual se incluyen las características que se desea mejorar, es decir, las que comprenden el objetivo de selección y se denomina genotipo agregado; la segunda se constituye con las características sobre aquéllas que se hace la selección, las cuales se denominan criterios de selección.

Falconer (1980) menciona que el IS es el mejor predictor lineal del valor de mejoramiento de la unidad de selección y toma la forma de la regresión múltiple del valor de mejoramiento sobre todas las fuentes de información.

Sharma y Duveiller (2003). Indican que el uso de IS permite superioridad marcada en un rasgo para compensar inferioridad moderada en otro. Es decir, los segregantes inferiores pero con algunos atributos favorables se incluyen en el ciclo de selección, lo cual no puede ser logrado directamente con tandem o selección truncada.

Los modelos multi-variados se propusieron como una herramienta de exploración que permite visualizar de una manera práctica los patrones de respuesta de las variables de clasificación y sus tendencias al agrupamiento. Por su parte los modelos aditivos permiten obtener información donde se puede medir la confiabilidad de la misma. Un empleo simultáneo de estos dos modelos permite mayor claridad en la interpretación de algunos datos, sobretodo de aquéllos que implican efectos aditivos y multiplicativos de forma conjunta.

La regresión en los sitios (SREG) es un caso de estos modelos híbridos donde se manejan algunos efectos aditivos de la forma tradicional y como componentes principales otros efectos. Éste fue originalmente propuesto por Yan *et al.* (2000) para explorar la respuesta de los genotipos a ambientes específicos. Después de varias modificaciones, actualmente es conocido como “biplot” GGE, dado que enfatiza en mostrar en forma conjunta y simultánea los patrones de respuestas generados por los efectos del componente principal de los genotipos y los de la interacción genotipo ambiente en la evaluación de ensayos. Un mérito del modelo SREG es que permite agrupar ambientes y genotipos con similar desempeño e identificar gráficamente cuál es el genotipo con mayor potencial dentro de cada subgrupo de ambientes.

A pesar de que originalmente la metodología SREG o “biplot” GGE fue desarrollada para el análisis y la interpretación de datos de ensayos evaluados en varios ambientes, puede

ser aplicable a cualquier estructura de datos que muestre un arreglo matricial tipo línea por probador o genotipos por ambientes. En los análisis a través de ambientes, los genotipos son entradas y los ambientes probadores, en datos de dialélicos los genotipos son a la vez entradas y probadores para poder generar la figura “biplot” que permitirá discutir los resultados del dialélico (Yan y Hunt, 2002a).

Yan y Hunt (2002) indican que en un gráfico correspondiente a la interpretación de un dialélico, la longitud de los vectores de los genotipos con respecto a los paralelos de la abscisa permitirá clasificar los valores de ACG donde el vector de mayor longitud corresponderá al genotipo con mayores efectos de ACG. El gráfico también permite la identificación de genotipos, que no exhiben heterosis en sus cruzamientos, por la cercanía entre ellos, esto ayuda a la identificación de grupos heteróticos. Y por la ubicación de los genotipos en relación a los paralelos de la ordenada se podrán identificar posibles patrones heteróticos.

## **Materiales y Métodos**

El material genético empleado fueron las combinaciones generadas por el cruzamiento de 11 poblaciones atendiendo al método II de Gardner y Eberhart (1996) los cuales fueron formados en el campo experimental “Dr. Mario E. Castro Gil” de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” (UAAAN), ubicada en la localidad de Tepalcingo, Morelos en el ciclo otoño-invierno de 2005.

Las poblaciones empleadas en este estudio son híbridos de diferentes empresas con excelente desempeño en el área de El Bajío en sus generaciones segregantes ( $F_2$ ). Las polinizaciones del dialélico se hicieron mezclando el polen recolectado de 50 espigas de cada progenitor y en la cosecha se tomaron 20 mazorcas por cruzamiento. La identificación de las poblaciones es la siguiente: 1. PP1, 2. PP2, 3. PP3, 4. PP4, 5. PD1, 6. PD2, 7. PD3, 8. PA1, 9. PA2, 10. PA3, 11. PB1.

Los 66 genotipos fueron evaluadas en el ciclo primavera-verano de 2006 en tres localidades, Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco delimitado por las coordenadas 20° 28' latitud norte y 103° 27' longitud oeste con una altura de 1575 msnm, Celaya, Guanajuato que está ubicada en las coordenadas latitud norte de 20° 38' y longitud oeste de 101° 38' a una altura 1754 msnm; y en Tlahuelilpan, Hidalgo situado en las coordenadas 20° 07' latitud norte y 99° 13' longitud oeste con una altura de 2040 msnm. En todos los ensayos se utilizó un diseño de bloques incompletos al azar con arreglo en alfa-látice con dos repeticiones.

La unidad experimental fue de un surco con 21 plantas a 19 cm entre planta y una distancia entre surcos de 0.92 m para la localidad de Hidalgo y de 0.75 m en las localidades de Guanajuato y Jalisco. La siembra del material experimental se realizó en forma manual, depositando dos semillas por golpe para posteriormente aclarar a una planta por mata y así asegurar la densidad de siembra deseada (21 plantas/parcela).

Variabes agronómicas evaluadas: rendimiento, floración macho, sincronía floral, acame de raíz, mala cobertura, plantas con Fusarium, calificación de mazorca y relación mazorca planta.

El principio del IS utilizado en este trabajo está basado en estimar los valores estandarizados de cada parámetro a los cuales se les resta una meta de selección, que está de acuerdo a la desviación estándar del parámetro y a la media de la población, el resultado es elevado al cuadrado y a la vez éste es multiplicado por una intensidad cuyo valor depende de

la importancia del parámetro en cuestión. Los valores obtenidos por parámetro son sumados, a la sumatoria se le saca raíz cuadrada y el resultado es el Índice de Selección. Los genotipos que obtengan los IS más bajos son los mejores. Cuyo modelo se presenta a continuación.

$$IS = \left\{ [(Z_j - M_j)^2 * I_j] + [(Z_i - M_i)^2 * I_i] + \dots + [(Z_n - M_n)^2 * I_n] \right\}^{1/2}$$

Donde: IS = Índice de selección.  $Z_{j\dots n}$  = valor estandarizado de la variable de interés  $M_{j\dots n}$  = meta de selección  $I_{j\dots n}$  = intensidad de selección

La *intensidad de selección* es el valor económico que se le asignan a cada una de las variables a ser utilizadas en la selección y toma valores de 1 a 10.

La *meta de selección* asignada a cada variable se refiere a las unidades de desviación estándar con respecto a la media que se desea lograr en la selección. La meta toma valores de -3 a +3

Las variables que fueron incluidas en el IS presentan valores medidos en unidades distintas (toneladas, centímetros, días, porcentajes, etc.), por lo que fue necesario estandarizar cada uno de ellos y de esta forma las características pudieran ser manejadas de forma conjunta.

En este trabajo como se mencionó anteriormente el IS se calculó por repetición, utilizando diferentes metas para cada repetición en las tres localidades.

El modelo SREG se utilizó para generar un gráfico biplot del dialélico método II de Gardner y Heberhart, que adicionalmente al método tradicional permite el agrupamiento de materiales emparentados. El modelo y sus propiedades es descrito en detalle por (Yan *et al.*, 2002).

### *Análisis dialélico*

Se realizó un análisis con base en el método II propuesto por Gardner y Eberhart (1960) el modelo lineal aditivo es el siguiente:

$$Y_{jj'} = m_v + \frac{1}{2}(V_j + V_{j'}) + h_{jj'}$$

Donde:  $Y_{jj'}$  = Índice de selección de la j-ésima variedad cruzada con la variedad j'-ésima;  $m_v$  = Efecto medio de las variedades progenitoras;  $V_j$  = Efecto de la j-ésima variedad;  $V_{j'}$  = Efecto de la j'-ésima variedad  $h_{jj'}$  de la heterosis cuando la j-ésima variedad es cruzada con la j'-ésima variedad.

El efecto de heterosis se divide en;

$$h_{jj'} = h + h_j + h_{j'} + s_{ij}$$

Donde  $h_{jj'}$  = Efecto de la heterosis cuando la j-ésima variedad es cruzada con la j'-ésima variedad;  $h$  = a la heterosis promedio;  $h_j$  = heterosis de la j-ésima variedad;  $h_{j'}$  = al efecto de la j'-ésima variedad; y  $s_{ij}$  = heterosis específica debida a l el cruzamiento de la j-ésima variedad cruzada con la j'-ésima variedad.

## Resultados y Discusión

En los cruzamientos dialélicos ordinariamente el rendimiento u otros parámetros de impacto son empleados de forma individual para generar información de efectos genéticos de los progenitores y de sus cruzamientos, no obstante que para la elección de cruzas y progenitores se considera varios parámetros, pensando en esto último En el presente trabajo se realizó un análisis dialélico donde el criterio de selección fueron los valores relativos al merito de cada genotipo al considerar simultáneamente 8 parámetros: rendimiento, floración macho, sincronía floral, acame de raíz, mala cobertura, plantas con Fusarium, calificación de mazorca y relación mazorca planta, englobados en un índice de selección (IS).

El análisis dialélico bajo el modelo II de Garner y Eberhart (Cuadro 1), efectuado con los valores de los índices de selección muestra diferencias estadísticas ( $P \leq 0.01$ ) entre cruzas y entre poblaciones lo que indica que estos efectos influyen directamente en el valor de los índices de selección, estas diferencias permitieron diferenciar como de comportamiento superior a las poblaciones 2, 9 y 3, (Cuadro 2) así como de las cruzas 1x8 1x3, 4x5, 6x8 y 1x5 por su excelente IS (Cuadro 3).

**Cuadro 1.** Cuadros medios del análisis dialélico basado en índices de selección con el modelo II de Gardner y Heberhart, evaluado en tres ambientes durante el 2006 de Garner y Eberhart a través de tres ambientes de evaluación 2006

FV		GL	CM	
Ambientes		2	1.967	
Rep(Amb.)		3	13.807	
Cruzas	y	65	32.965	**
Poblaciones				
	variedades	10	76.364	**
	Heterosis	55	25.075	**
	Heterosis promedio	1	214.653	
	Heterosis varietal	10	47.115	**
	Heterosis específica	44	15.757	**
Amb*Cruzas	y	130	8.066	
Pob.				
	Variedades*Amb.	20	7.176	
	Heterosis*Amb.	110	8.228	
	Heterosis prom *Amb.	2	20.741	
	Heterosis varietal*Amb	20	10.602	
	Heterosis específica*Amb	88	7.404	
Error		195	7.915	

\* =  $P \leq 0.05$ , \*\* =  $P \leq 0.01$ , FV = fuentes de variación; GL = Grados de libertad; C M = cuadrados medios; Rep. = Repeticiones; Amb. = ambientes; Pob.= población.

Los efectos estimados de Variedades y Heterosis en el Cuadro 1 indican que son estadísticamente significativos, tienen diferente comportamiento atribuible a sus frecuencias génicas, lo que permite identificar poblaciones con mérito genético superior para varias características y en este trabajo corresponde a las poblaciones 1, 3, 6, y 5 lo que las ubica como las fuentes de mejores atributos para la derivación de líneas superiores. En cuanto a las



heterosis varietal las poblaciones 10 y 11 fueron estadísticamente superiores al resto (Cuadro 2). Mientras que las cruza específicas con una heterosis estadísticamente favorables fueron la 9x10, 2x10, 4x5 1x8 y la 6x7. (Cuadro 3)

Con relación a la contribución que aporta cada uno de estos efectos. El de heterosis es mayor a la de variedades (Cuadro 1) pudiendo atribuirse esto al fondo genético de las poblaciones que antes de ser sometidos a generaciones de recombinación originalmente fueron híbridos por lo que llevan una importante dosis de varianza no aditiva.

**Cuadro 2.** Aptitud combinatoria general (ACG), Efecto varietal (V), Heterosis Varietal (H) e Índices de selección de 11 poblaciones evaluadas bajo el modelo II de Gardner y Eberhart (1996) en tres localidades en el 2006

Genotipo	Población	ACG	V	H	IS
1	PP1	-1.051 **	-1.447	-0.473	10.129
2	PP2	-0.120	-2.756 *	1.817 *	8.820
3	PP3	-0.756 *	-2.640 *	0.815	8.935
4	PP4	0.119	-0.886	0.811	10.690
5	PD1	-0.693 *	-1.907	0.376	9.669
6	PD2	-0.835 *	-1.957	0.207	9.619
7	PD3	0.390	-1.128	1.379 *	10.447
8	PA1	-0.211	-0.401	-0.015	11.175
9	PA2	-0.450	-2.664 *	1.274	8.912
10	PA3	1.774 *	7.049 *	-2.528 **	18.624
11	PB1	1.833 *	8.737 *	-3.662 **	20.313

\* \*\* = significativos al 1 y 5 % de probabilidad respectivamente

**Cuadro 3.** Valores de heterosis específica de 11 poblaciones (arriba de la diagonal) y de índices de selección (debajo de la diagonal) de tres localidades en el 2006

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1		0.349	-1.604	1.887	-0.413	0.502	-0.770	<b>-2.331</b>	0.000	0.180	2.199
2	9.191		1.529	2.278	-0.696	-0.834	-1.685	0.691	0.715	<b>-2.670</b>	0.324
3	<b>6.294</b>	11.063		-0.577	1.265	2.602	0.310	-0.581	0.210	-1.369	-1.785
4	10.659	12.685	8.885		<b>-2.532</b>	1.028	-1.082	-1.523	-0.142	-0.071	0.735
5	<b>7.413</b>	8.765	9.781	<b>6.859</b>		-0.480	-0.276	0.532	1.168	3.515	-2.083
6	8.133	8.433	10.925	10.225	7.770		<b>-1.971</b>	-1.516	-1.232	1.352	0.549
7	8.448	9.169	10.219	9.701	9.561	7.673		2.857	0.461	1.982	0.175
8	<b>5.858</b>	10.515	8.298	8.230	9.339	<b>7.097</b>	13.056		0.988	0.878	0.004
9	8.346	10.696	9.247	9.769	10.133	7.539	10.818	10.316		<b>-2.923</b>	0.756
10	9.580	8.365	8.722	10.893	13.534	11.177	13.393	11.259	7.616		1.084
11	11.309	11.069	8.016	11.409	7.646	10.084	11.296	10.096	11.006	10.429	

Valores en negritas son estadísticamente superiores con una probabilidad menor al 5 %

Las interacción genotipo ambiente no fueron significativas en ninguno de los casos lo que indica que los efectos estimados no cambian de orden al evaluarse en estos tres ambientes.

*Enfoque “biplot” del Análisis dialélico utilizando como variable de respuesta los valores del índice de selección.*

Una de las interpretaciones de la gráfica del modelo SREG indica que el valor para ACG es representado por las distancias que ocupan los genotipos con relación al eje del CP1, que en este gráfico mostró una rotación muy cercana a los 90°, y que estén lo más cercano posible al origen del CP2 esto de acuerdo a lo reportado por Yan y Hunt (2002) y por Yan *et*

al. (2007). Por otra parte los genotipos superiores o ideales con base en los índices de selección según Barreto *et al.* (1991) son aquellos que poseen el valor más bajo de IS.

La figura 1 indica que los atributos descritos en el párrafo anterior, corresponden a las poblaciones 1 = PP1 3 = PP3, 6 = PD2 y 5 = PD1 donde es importante destacar que la población 6 además de buen potencial genético es muy estable en sus efectos. Al comparar estos resultados con los obtenidos mediante el análisis convencional coinciden en lo general como se puede apreciar en el cuadro 2 sólo cambian un poco en el orden, esta inconsistencia se puede atribuir que los dos componentes incluidos en la gráfica solo representan el 64 % de la variación total debida a los efectos genéticos y de interacción genotipo-ambiente por lo que es de esperarse algunos cambios. Se predice que estas poblaciones son excelente fuente para la derivación de versátiles líneas.

Por la posición de las poblaciones 10 y 11 (figura 1) es de esperarse que al cruzarse con poblaciones que se ubiquen en diferente cuadrante al que ellas ocupan, la heterosis esperada es alta, en gran medida explicado por sus efectos genéticos comparado con el del resto de las poblaciones, esto coincide en un 100% con lo detectado por el análisis convencional que las clasifica como las poblaciones de mayor heterosis varietal.

La clasificación del germoplasma en grupos heteróticos divergentes es conveniente debido a que se logra una expectativa alta en heterosis al realizar cruzamientos con material de diferente grupo y se evita programar cruzamientos entre progenitores con baja respuesta heterótica. En el presente gráfico se pueden detectar dos grupos importantes: el primero formado por las poblaciones 8, 3, y 5; el segundo con las poblaciones 1, 2, 4, 9 y 6; se supone que entre las poblaciones de un mismo grupo la heterosis es mínima y la expectativa de heterosis será máxima entre grupos que se encuentran en lados opuestos del segundo componente principal y que muestren un buen IS.

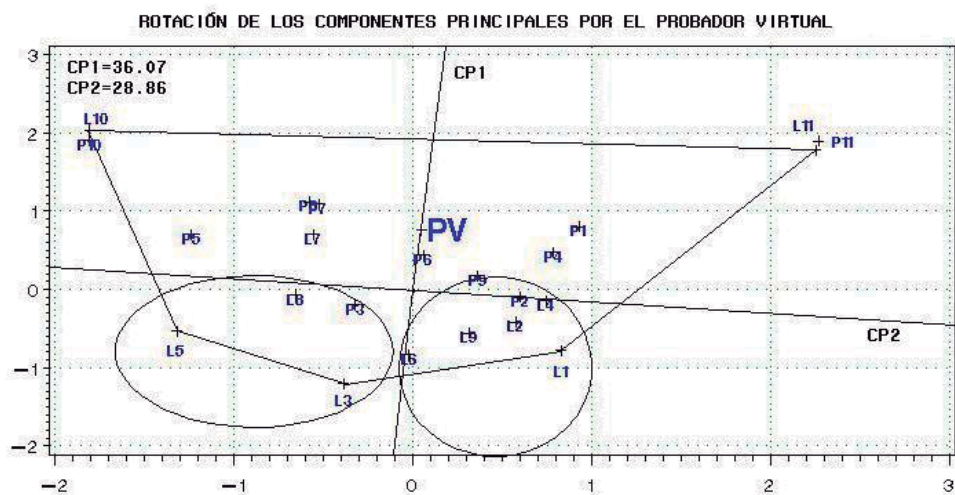


Fig. 1. Representación gráfica del dialéctico de once poblaciones la variable de respuesta son los índices de selección. CP1 Y 2 = Componente principal uno y dos respectivamente; L y P representan las poblaciones: 1 = PP1, 2 = PP2; 3 = PP3; 4 = PP4; 5 = PD1; 6 = PD2; 7 = PD3; 8 = PA1; 9 = PA2; 10 = PA3; 11 = PV1.

Debido a que las poblaciones son generaciones avanzadas de híbridos esto trae implicaciones particulares, ya que al seleccionar una población o una cruce interpoblacional la lógica del mejoramiento indica un aprovechamiento directo y dirigido con sus descendientes endogámicos. Sin embargo, en esta situación antes de intentar asignar las líneas a grupos



germoplásmicos específicos se requiere que las líneas derivadas de las poblaciones, sean previamente separadas en grupos.

Otro punto importante es que una vez que se han identificado los potenciales patrones heteróticos se sugiere que estas poblaciones pasen por un esquema de selección recíproca recurrente donde las familias se formen con progenitores endogámicos para seguir mejorando las poblaciones *per se*, enriqueciendo la respuesta heterótica entre ellas y generando información para el seguimiento de las mejores combinaciones

## Conclusiones

Tomando los valores de un índice de selección como variable de respuesta en un dialélico, se logró clasificar como de potencial genético superior a las poblaciones PD2, PP3 y PA2 tanto en su desempeño *per se*, como por sus favorables efectos de aptitud combinatoria general. Se identificaron como superiores las cruzas PP1xPA1, PP4xPD1 por su excelente IS, así como por sus efectos en heterosis específica.

Atendiendo los resultados del gráfico biplot fue posible identificar dos importantes grupos germoplásmicos el primero formado por las poblaciones PP1, PP4, PP2, PA2 y PD2; el segundo con las poblaciones PP3, PA1 y PD2; se supone que entre las poblaciones de un mismo grupo la heterosis es mínima y que las de mayor respuesta heterótica serán las formadas entre materiales del primer grupo cruzadas con las del segundo grupo, por estar en diferente posición con respecto al primer componente principal y por poseer un IS de aceptable valor.

## Literatura Citada

- Barreto H. J., J. A. Bolaños y H. S. Córdoba.**, 1991. Índice de selección: guía para la operación del software. Manual de Capacitación Regional. Programa Regional Centroamérica y el Caribe, Apdo. Postal, Guatemala.
- Espitia C.M.M., Vallejo C.F.A. y Baena G.D., 2006.** Efectos heteróticos y habilidad combinatoria para el rendimiento por planta en cucurbita moschata Duch. Ex. Poir. Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín.Vol.59, No.1. p.3.
- Gauch H.G. and R.W. Zobel.**, 1996. AMMI analysis of yield trials. *In* Genotype-by-Environment Interaction. M.S. Kang and H.G. Gauch (eds.). CRC Press, Boca Raton, FL. pp:1-40.
- Falconer D. S.** 1980. Introducción a la Genética Cuantitativa. C.E.C.S.A. Eds. Mexico D. F. 430 p. Traducido al español por Márquez S. F.
- Kang M. S. and R. Magary.**, 1996. New developments in selecting for phenotypic stability in crop breeding. *In* Genotype-by-Environment Interaction. M.S. Kang and H.G. Gauch (eds.). CRC Press, Boca Raton, FL. pp:1-14.
- Vallejo C.F.A., Estrada S.E.I., 2002,** mejoramiento genético de plantas, Universidad Nacional de Colombia. Pp 154-155.
- Sharma R. C. and E. Duveiller.**, 2003. Selection index for improvig helminthosporium leaf blight resistance, maturity, and kernel weight in spring wheat. *Crop. Sci.* 43:2031-2036.
- Yan, W.; L. A. Hunt; Q. Sheng and Z. Szlavnic., 2000.** Cultivar evaluation and mega- environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Sci.* 40 (3): 597-605.

**Yan W. and L. A. Hunt.,** 2002. Biplot analysis of diallel data. *Crop. Sci.* 42:21-30.

**Yan W., M. S. Kang, M. Baoluo, S. Woods, and P. L. Cornelius.,** 2007. GGE biplot vs AMMI analysis of genotype-by-environment data. *Crop. Sci.* 47:643-655.

**Yáñez, C. L. F.,** 2005. Índices de selección: sugerencias para su utilización. Universidad Nacional Experimental Sur del Lago. Págs. 107-110.