ITEA (1996), Vol. 92V N.º 1, 17-28

ANÁLISIS GENÉTICO DE UN CRUZAMIENTO DIALÉLICO ENTRE 9 POBLACIONES DE MAÍZ PARA LOS CARACTERES PRODUCCIÓN DE GRANO CONTENIDO DE PROTEÍNA ACEITE Y FIBRA

J. Sinobas
I. Monteagudo (†) [1]

UD Genética y Fitopatología EUITA
Universidad Politécnica de Madrid
Ciudad Universitaria
28040 Madrid

RESUMEN

En este estudio se pretende determinar la existencia en el maíz (Zea mays L.) de alguna combinación con aptitud combinatoria igual o superior a la del cruce Reid x Lancaster con alto valor nutritivo. Con este fin, se ha analizado un cruzamiento dialélico entre siete poblaciones españolas y dos americanas, utilizando los análisis II y III propuesto por GARDNER y EBERHART (1966). Las fuentes de variación para entradas, poblaciones y aptitud combinatoria general (ACG) eran altamente significativas ($P<0.01$) para los caracteres producción de grano, contenido de proteína y fibra. Para el carácter contenido de aceite sólo se apreciaba significación para entradas ($P<0.05$).

El cruce BS-13 x Lancaster que representa el modelo heterótico Reid x Lancaster, da las producciones más altas. Le sigue el cruce BS-13 x Andaluz cuya diferencia no es significativa. Además, este último cruzamiento da producciones de proteína más elevadas que el modelo heterótico establecido. El cruzamiento de dos poblaciones españolas (Rastrojero x Blanco) ambas con buena ACG, daba la producción más elevada de proteínas.

Palabras clave: Maíz, Dialélico, Componentes del rendimiento, Componentes bioquímicas, Poblaciones de maíz.

SUMMARY
GENETIC ANALYSIS OF A DIALLEL CROSSING AMONG 9 MAIZE POPULATIONS FOR GRAIN YIELD AND PROTEIN, OIL, AND FIBER CONTENT.

The purpose of this study was to determine in the maize (Zea mays L.) the existence of some combinations with combining ability, higher than the crossing Reid x Lancaster with high feeding value. For this reason a diallel crossing among seven Spanish and two American populations has been analysed, using II and III analyses proposed by GARDNER y EBERHART (1966).

1. Fallecido el 15 de agosto de 1995

The variation sources for entries, populations and general combining ability (GCA) were highly significant for grain yield and protein and fiber content. For oil content, significant for entries was observed.

The crossing BS-13 x Lancaster, which represents the Reid x Lancaster heterotic pattern, provides the highest productions. The BS-13 x Andaluz crossing, whose difference is not significant, follows the previous one. Besides, the BS-13 x Andaluz crossing provides higher protein content than the established heterotic pattern. The crossing of two Spanish populations (Rastrojo x Blanco), both with good GCA, provided the highest protein production.

Key words: Corn, Diallel, Yield components, Biochemistry components, Maize populations.

Introducción

El análisis del cruzamiento dialélico para un grupo fijo de variedades, proporciona un conocimiento preliminar de los modelos heteróticos entre cruces de poblaciones (HALLAUER y MIRANDA, 1981).

La identificación de nuevos grupos heteróticos para el carácter producción de grano ha sido una constante en los últimos años mediante la técnica de los cruces dialélicos, y ha permitido encontrar otros grupos heteróticos que, bajo determinadas condiciones ambientales, eran superiores al cruce Reid x Lancaster (MIRANDA-FILHO y VENCOVSKI, 1984; MUNGOMA y POLLAK, 1988; MISEVIC, 1989 ; ORDAS, 1991; SINOBAS y ; MONTEAGUDO, 1994).

Se ha comprobado, que en general, los híbridos comerciales con una producción elevada por ha, tienen un bajo porcentaje de proteína en el grano. Los mejores resultados para producción de proteína por ha, se consiguen muchas veces con los maíces más productivos, aunque generalmente esto no se cumple cuando se trata de contenido de proteína. En algunos cruzamientos en los que intervienen determinadas líneas se han obtenido híbridos no muy productivos, sin embargo, la producción de proteína era elevada. Asimismo, determinados cruzamientos, ensayados en distintas localidades, han tenido una producción elevada de proteína por ha, al mismo tiempo que su producción de grano y contenido de proteína ha sido también sobresaliente (MONTEAGUDO, 1985; MONTEAGUDO y SINOBAS, 1986).

Estos resultados demuestran la posibilidad de poder combinar elevados rendimientos junto con una cantidad satisfactoria de proteína en el grano. Este aumento de producción y valor nutritivo del grano de maíz se podría conseguir seleccionando simultáneamente para estos dos caracteres.

Uno de los más valiosos constituyentes del grano de maíz en uso comercial es el aceite. Este carácter de gran importancia en procesos industriales, no tiene tanta importancia como valor nutritivo. Este carácter ha sido ampliamente estudiado en la variedad de maíz Burr's White seleccionando para alta y baja concentración de aceite, habiendo pasado en 90 generaciones de selección de 4,7 % a 22 % (WOODWORTH *et al.*, 1952; DUDLEY *et al.*, 1974; DUDLEY y LAMBERT, 1992). La herencia de este carácter era eminentemente aditiva (GENTER *et al.*, 1957; MILLER *et al.*, 1981) con descenso de peso

del grano sólo cuando la concentración de aceite superaba el 7 %.

Los objetivos del estudio del análisis genético de este cruzamiento dialélico en el que participan poblaciones españolas, es determinar la existencia de alguna combinación igual o superior en aptitud combinatoria al cruce Reid x Lancaster para el carácter producción, combinado con buena aptitud para caracteres que aumentan el valor nutritivo.

Material y métodos

Se han elegido nueve poblaciones de maíz (Zea mays L.) como fuente de líneas puras con buena aptitud combinatoria. Dicho material vegetal lo constituyen siete poblaciones españolas y dos americanas. Las poblaciones españolas corresponden a la agrupación que realizó SÁNCHEZ-MONGE (1962).

A continuación detallamos las poblaciones utilizadas con las abreviaturas que en su día utilizó el autor de la agrupación.

1. Norteño Largo (NL)

2. Hembrilla (He)

3. Andaluz (An)

4. Rastrojero (Ra)

5. Hembrilla x Queixalet (HexQu)

6. Basto x Enano Levantino (BaxEL)

7. Blanco (Bl)

8. BS-13(S2)C2, (BS-13). Población que procede de BSSS con siete ciclos de selección recurrente de medios hermanos para producción de grano, utilizando como probador el híbrido doble Iowa 13, seguido por dos ciclos de selección en S2 (HALLAUER y SMITH, 1979).

9. Lancaster Composite A (Lan). Compuesto americano formado por el cruzamiento de tres sintéticos procedentes de la variedad Lancaster con 15 líneas de distinta procedencia (HALLAUER, 1986).

En 1985 en la finca del "Encín" de Alcalá de Henares (Madrid) se realizó un cruzamiento dialélico 9x9 con las poblaciones de maíz enumeradas anteriormente. Los cruzamientos entre cada par de poblaciones se hicieron en las dos direcciones con la finalidad de obtener semilla suficiente para los ensayos. El número de polinizaciones cruzadas fue de 50, aproximadamente, y la semilla que se obtuvo de las polinizaciones cruzadas se mezcló. A la vez que se hicieron las polinizaciones cruzadas, se multiplicó la semilla de los parentales. Los 36 cruzamientos y los 9 parentales fueron ensayados en los dos años siguientes en Alcalá de Henares.

El diseño utilizado fue de bloques completos al azar con tres repeticiones en cada experimento. El tamaño de las parcelas fue de dos filas de 17 plantas cada una, filas de 3 m de largo y la distancia entre filas fue de 80 cm. La densidad fue de 70.000 plantas/ha.

De los ensayos de ambos años, se cogieron cinco mazorcas al azar de cada parcela y de cada repetición, pero nunca de la orilla de la parcela. El contenido de proteína, aceite y fibra, expresados en tanto por ciento al 14 % de humedad, se determinó de una muestra de 100 granos de cada una de las poblaciones y de cada uno de los 36 cruzamientos. La molienda de estas muestras para posterior análisis se realizó con un molinillo Tecator, y el análisis de proteínas, aceite y fibra se determinó con un Infra-alyzer 300 B. La producción expresada en

kg/ha, corresponde al peso medio de grano obtenido en las parcela de los dos ensayos.

Se hizo un análisis de la varianza preliminar para cada carácter y año. El análisis de la varianza que mostró significación en cuadrados medios de entradas fue posteriormente analizado según los Modelos II y III de GARDNER y EBERHART1966).

El análisis del modelo II se basa en el siguiente modelo lineal:

$Yij = \mu v + 1/2(vi + vj) + \delta(h + hi + hj + sij)$

donde:

Yij : media de los cruces de poblaciones i y j.

μv : media de todas las poblaciones.

vi, vj : el efecto de la población i y j.

h : heterosis media.

hi, hj : contribución de cada población a la expresión de la heterosis.

sij : heterosis específica que se produce cuando la población i se cruza con la población j.

$\delta = 0$ cuando i=j y =1 cuando $i \neq j$

El modelo III responde el siguiente modelo lineal:

$Yii = \mu v + vi$

$Yij = \mu c + gi + gj + sij$

donde :

Yii : media observada de la población i.

μv : media de todas las poblaciones.

vi : desviación de μv asociada con la población i.

Yij : media de los cruces de la población i y j.

μc : media de todos los cruces.

gi, gj : efectos de aptitud combinatoria general de la

población i y j.

sij: efectos de aptitud combinatoria específica.

Los efectos genéticos se han considerado efectos fijos y la interacción genotipo x medio ha sido utilizada como test de significación.

Se han obtenido estimas de efectos población (vi), heterosis poblacional (hi), aptitud combinatoria general (gi) y aptitud combinatoria específica (sij) en el análisis combinado.

Resultados y discusión

Los análisis de varianza combinados para los caracteres producción de grano, contenido de proteína y fibra (Cuadro 1) muestran diferencias altamente significativas ($P<0,01$) entre entradas, y significativas ($P<0,05$) para el carácter contenido de aceite. En cambio sólo hay interacción entre entradas x medios para el carácter producción de grano.

Los cuadrados medios de poblaciones y aptitud combinatoria general (ACG) son altamente significativos para todos los caracteres, excepto para contenido de aceite. Los caracteres contenido de proteína y fibra tienen una heterosis específica o aptitud combinatoria específica (ACE) altamente significativa. La heterosis es altamente significativa para los caracteres contenido en proteína y fibra. Para el carácter producción de grano sólo se observa significación al nivel del 5 p 100.

CUADRO I
ANÁLISIS DE VARIANZA COMBINADO PARA LOS CARACTERES PRODUCCIÓN DE GRANO (kg.ha-1), CONTENIDO EN PROTEÍNA, ACEITE Y FIBRA EN (%) DE 9 POBLACIONES DE MAÍZ Y SUS 36 CRUCES DIALÉLICOS

Fuente de variacion	GL	Producción grano	Contenido proteína	Contenido aceite	Contenido fibra
		CM	CM	CM	CM
Medios (M)	1	2.405.286	0.55	0.12	0.066
Entradas	44	168.734**	3.28**	0.11*	0.046**
Poblaciones	8	570.250**	13.58**	0.22	0.182**
ACG	8	536.565**	10.35**	0.21	0.135**
Heterosis (H)	36	79.508*	0.99**	0.09	0.015**
H.Media	1	1.502.800	0.09	0.14	0.031
H.Varietal	8	69.339	0.66*	0.04	0.006
H.Específica	27	29.807	1.12**	0.10	0.018**
M x Entradas	44	40.471**	0.13	0.07	0.004
M x Variedades	8	38.001*	0.11	0.07	0.003
M x ACG	8	67.740**	0.13	0.09	0.001
M x Heterosis	36	41.020**	0.13	0.07	0.004
M x H.Media	1	42.375	0.11	0.01	0.004
M x H.Varietal	8	40.879*	0.11	0.03	0.004
M x H.Específica	27	41.012**	0.14	0.08	0.004
Error	176	18.708	0.45	0.07	0.007
CV (%)		24.43	4.21	6.88	3.295

*, ** Significación al 5% y 1% niveles de probabilidad respectivamente

Producción de grano

La media de las poblaciones *per se* varían desde una producción máxima de 8.199 kg/ha para Andaluz a 4.767 kg/ha para Norteño Largo (Cuadro 2). La segunda población española más productiva es Blanco (7.659 kg/ha), pero algo inferior a las dos poblaciones americanas Lancaster (8.163 kg/ha) y BS-13 (8.032 kg/ha). La producción de estas dos poblaciones americanas que han sido originadas mediante un proceso de selección, no difiere de la conseguida con las poblaciones españolas Andaluz y Blanco originarias de la zona sur de nuestro país.

Las poblaciones más productivas tenían efectos (vi) positivos pero no significativos (Cuadro 3), sólo la población Norteño Largo tenía efectos (vi) significativos y negativos, indicando que su producción era inferior a la media de las poblaciones. El mayor efecto para la ACG correspondía a BS-13 seguida por la población Blanco, Andaluz y Lancaster, aunque en estos dos últimos no se observa significación (Cuadro 4). El valor más negativo y significativo de ACG corresponde a la población Hembrilla.

CUADRO 2
MEDIA DE LAS 9 POBLACIONES PER SE Y DE LOS 36 CRUZAMIENTOS EN LA PRIMERA COLUMNA Y ESTIMA DE LA APTITUD COMBINATORIA ESPECÍFICA (S_{ij}) EN LA SEGUNDA

Poblaciones	Producción de grano(kg.ha^{-1})		Contenido proteína(%)		Contenido aceite(%)		Contenido fibra(%)	
	Media	S_i	Media	S_{ij}	Media	S_{ij}	Media	S_{ij}
NL x He	7.261	836	9.44	-0.09	3,77	-0.02	2.00	0,01
NL x An	8.394	157	9.13	0,25	3.66	-0,14	1.86	-0,05
NL x Ra	7.005	-170	9,48	-0,11	3.70	0,02	1,99	0,03
NL x (He x Que)	7.037	-051	9,19	0,22	3,86	-0,03	1.90	-0,01
NL x (Ba x EL)	6.807	156	9,14	-0,11	3,82	0,04	1,93	-0,01
NL x Bl	9.018	422	9,57	-0.19	3.76	0,06	2,02	-0,02
NL x BS-13	10.328	500	8,67	0.21	3.68	0.03	1,91	0,04
NL x Lan	6.369	-1850**	8.33	-0,17	3,77	0.04	1,94	0,02
He x An	7.665	-283	7.99	-0,45**	3,73	-0,08	1.86	-0,05*
He x Ra	6.874	-011	9.53	0,45**	3.57	-0.13	2,06	0,07**
He x (He x Que)	6.220	-578	8.46	-0.02	3.76	0,52**	1.92	0,03
He x (Ba x EL)	6.887	520	8,48	-0,21	3,78	-0,02	1,94	0,02
He x Bl	7.886	-420	9,09	-0,18	3,57	-0,13	1,97	-0,08**
He x BS-13	9.981	442	8.02	0.06	3,60	-0,08	1,88	0,02
He x Lan	7.422	-506	8,73	0,44**	3.70	-0,06	1,95	-0,01
An x Ra	8.203	-494	8,89	0.39**	3,66	-0.04	2,00	0,01
An x (He x Que)	8.533	-076	7,91	0,02	3,85	-0,05	1,84	0,01
An x (Ba x EL)	8.497	325	7.51	-0.60**	3.91	0,12	1.81	-0,05*
An x Bl	10.117	-006	8,57	-0.12	3,88	0,13	1,98	0.09**
An x BS-13	11.265	-086	7,88	0,51**	3,67	-0,01	1.84	0,05*
An x Lan	10.205	464	7,83	-0,01	3.81	0,06	1,82	-0.01
Ra x (He x Que)	7.603	056	7,99	-0,53**	3,74	-0.06	1,88	-0,05*
Ra x (Ba x EL)	6.271	-840	9,55	0,81**	3,72	0,03	2,02	0,07**
Ra x Bl	10.079	1022	9,62	0.31	3,56	0,03	2,08	0,03
Ra x BS-13	10.877	588	7.15	-0.86**	3,64	0.08	1.78	-0,11**
RA x Lan	8.529	-150	8.01	-0,46**	3,71	0,06	1,89	-0,04
(He x Que)x(BaxEL)	6.896	-127	7.97	-0,03	3,75	-0,15	1.84	-0,01
(He x Que) x Bl	8.269	-699	9.49	0,78**	3,69	-0,13	2.01	0,08**
(He x Que) x BS-13	10.754	553	7.36	-0.03	3.71	-0.06	1,76	-0,01
(He x Que) x Lan	9.513	922	7,47	-0,39**	3,81	-0,04	1,78	-0,04
(Ba x EL) x Bl	8.998	467	8.50	-0,43**	3.78	0,05	1.89	-0,07**
(Ba x EL) x BS-13	8.529	-1235	7,98	0,36**	3,65	-0,01	1,82	0,02
(Ba x EL) x Lan	8.888	734	8,30	0,22	3,70	-0.04	1,87	0,03
Bl x BS-13	10.743	-967	7.82	-0,38**	3,62	0,03	1,84	-0,07**
Bl x Lan	10.281	181	8.70	0,21	3,63	0,04	1,95	0,02
BS-13 x Lan	11.536	204	7.49	0,14	3,64	0,02	1,81	0,05*
NL	4.767		9,70		3,78		2,02	
He	5.274		8,87		3,60		1,97	
An	8.199		7.73		3,79		1,85	
Ra	5.914		9.49		3,60		2,09	
He x Que	6.115		7,82		3,83		1.85	
Ba X EL	6.34		8.86		3,69		1,92	
Bl	7.649		8.70		3,55		1,99	
BS-13	8.032		7,36		3,64		1,80	
Lan	8.163		8.23		3,64		1,87	
ES (S_{ij})		718		0,13		0,10		0,02

* y ** Significación al 5% y 1% niveles de probabilidad respectivamente

CUADRO 3
ESTIMA DE EFECTO POBLACIÓN (VI) Y HETEROSIS POBLACIONAL (HI) PARA CADA UNA DE LAS 9 POBLACIONES SEGÚN EL ANÁLISIS II

Poblaciones	Producción grano		Contenido proteína		Contenido aceite		Contenido fibra	
	v_i	h_i	v_i	h_i	v_i	h_i	v_i	h_i
NL	-1.973*	42	1,15**	0,19	0,10	-0,03	0,10**	0,01
He	1.467	-500	0,33*	0,10	-0,09	0,08	0,04	0,02
An	1.458	-151	-0,82**	0,09	0,11	-0,02	-0,05*	-0,01
Ra	-827	-70	0,94**	-0,16	-0,05	-0,05	0,15**	-0,01
He x Que	-425	-359	-0,73**	0,07	0,14	0,06	-0,09**	-0,01
Ba x EL	-399	-809	0,32*	-0,23	0,01	0,03	-0,01	-0,02
Bl	918	478	0,30*	0,35**	-0,13	0,02	0,05*	0,04
BS-13	1.292	1.523	-1,18**	-0,22	-0,05	-0,08	-0,13**	-0,02
Lan	1.423	-152	-0,31*	-0,19	-0,04	-0,01	-0,06**	-0,01
ES	794	832	0,13	0,14	0,10	0,08	0,02	0,03

*, ** Significación al 5% y 1% niveles de probabilidad respectivamente

En general, las poblaciones más productivas poseían una frecuencia elevada de alelos favorables para el carácter producción de grano.

Las producciones de los cruzamientos variaban desde un valor máximo de 11.536 kg/ha para el cruce BS-13 x Lancaster a un mínimo de 6.220 kg/ha para el cruce Hembrilla x (HembrillaxQueixalet). Las cuatro poblaciones que tenían mayor ACG, intervenían también en los cinco cruces más productivos y en todos ellos interviene la población BS-13 con una producción media de 11.035 kg/ha.

El cruce más productivo BS-13 x Lancaster, que representa el modelo heterótico BSSS x Lancaster y cuyas líneas puras derivadas de BSSS y de Lancaster dan los mejores rendimientos en híbridos comerciales, podría ser sustituido por el segundo cruce más productivo BS-13 x Andaluz 11.265 Kg/ha, un 2,3 % menos productivo que el anterior. Sin embargo, esta sustitución aumentaría la variabilidad de los híbridos cultivados, proporcionando mayor estabilidad genética por proceder una de las líneas del híbrido de una población con mejor adaptación a nuestro medio.

El cruce más productivo entre dos poblaciones españolas es (9) Andaluz x Blanco 10.117 kg/ha, seguido por (10) Rastrojero x Blanco 10.079 kg/ha. Esta diferencia de los cruces entre material americano y material español, nos indica que la frecuencia de los alelos favorables es mucho mayor en las poblaciones americanas que en las españolas, a pesar de la mejor adaptación de estos últimos.

En los cruces menos productivos intervienen las poblaciones con valores de ACG negativos en el siguiente orden: Hembrilla, Basto x Enano Levantino, Norteño Largo, HembrillaxQueixalet y Rastrojero. El cruzamiento Norteño Largo x Lancaster tenía

CUADRO 4
ESTIMA DE LA APTITUD COMBINATORIA GENERAL (GI) SEGÚN EL ANÁLISIS III

Poblaciones	Producción grano	Contenido proteína	Contenido aceite	Contenido fibra
NL	-939*	0,76**	0,02	0,06**
He	-1.239**	0,27**	0,04	0,03**
An	578	-0,32**	0,03	-0,03**
Ra	-484	0,31**	-0,08	0,07**
He x Que	-572	-0,29**	0,13**	-0,05**
Ba x EL	-1.009**	-0,07	0,03	0,02**
Bl	937*	0,50**	-0,05	0,07**
BS-13	2.169**	-0,81**	-0,10*	0,08**
Lan	559	-0,35**	-0,02	0,04**
ES	378	0,05	0,08	0,.01

*, ** Significación al 5% y 1% niveles de probabilidad respectivamente

un alto efecto negativo y significativo de la ACE.

Las producciones se ven aumentadas considerablemente por los efectos de ACE en los siguientes cruces: Rastrojero x Blanco, (HembrilaxQueixalet) x Lancaster y Norteño Largo x Hembrilla.

El cruce BS-13 x Lancaster tenía la heterosis más elevada, medida en relación con la producción del parental con mayor rendimiento (41,4 %) y por tanto era la mejor combinación heterótica de los parentales. Si consideramos la heterosis en relación con la media de los parentales, la mejor combinación sería el cruce Rastrojero x BS-13 con un porcentaje del 56 % referido a dicha producción media. Todas las poblaciones, excepto Basto x Enano Levantino, combinan mejor con BS-13 que con cualquier otra población.

Contenido de proteína

En el análisis combinado para el carácter contenido de proteína muestra que el 76 % de la suma de cuadrados entre entradas era atribuible a efectos población y 24 % puede ser explicado por efectos de heterosis (Cuadro 1).

Estos pequeños efectos heteróticos han sido citados en varios trabajos aunque los efectos aditivos eran predominantes (GENTER *et al.*, 1957; POLLMER *et al.*, 1978). Estos análisis del dialélico demuestran que la variación entre entradas es debida a efectos aditivos y no aditivos aunque los efectos aditivos son predominantes. Esto indica que el contenido de proteína de los híbridos puede predecirse con fiabilidad por medio de las poblaciones *per se*.

El contenido en proteína de las poblaciones *per se* varían desde 7,36 % para la población BS-13 a 9,70 % para la población Norteño Largo (Cuadro 2). La estima (vi) era positiva y altamente significativa ($P<0.05$) para las poblaciones Norteño Largo y Rastrojero, y positiva y significativa para las poblaciones Hembrilla, Bastox-Enano Levantino y Blanco (Cuadro 3). Las poblaciones Norteño Largo, Blanco, Rastro-

jero y Hembrilla tenían estimas gi positivas y altamente significativas (P<0.01), lo que sugiere que estas poblaciones tienen altas frecuencias de alelos favorables para este carácter (Cuadro 4). La población BS-13 tenía la estima más negativa, lo que demuestra que la frecuencia de alelos favorables para este carácter es baja. El contenido de proteína en el grano se veía aumentado por los efectos de ACE en varios cruces, en la mayoría de ellos intervienen poblaciones españolas con buena ACG.

La producción más alta de proteínas (Cuadro 5) se obtiene en el cruce de dos poblaciones españolas Rastrojero x Blanco 970 kg/ha, seguido por los cruzamientos Lancaster x Blanco 894 kg/ha, BS-13 x Andaluz 888 kg/ha y BS-13 x Norteño Largo 875 kg/ha. Como se indicó anteriormente, el cruzamiento BS-13 x Andaluz podría ser el sustituto del modelo heterótico establecido para producción de grano. Este mismo cruzamiento da una producción de proteínas un 11 % superior a BS-13 x Lancaster.

De los cuatro cruzamientos con mayor producción de proteínas, en tres intervienen las poblaciones españolas con mayor ACG. Si en el modelo heterótico sustituimos la población Lancaster por la población Norteño Largo, la producción de grano sería un 10 % menor y la producción de proteína sería un 2% mayor. Si tenemos en cuenta que la población Norteño Largo es de ciclo medio y tiene buena ACG para contenido de proteína, un proceso de selección combinado, para los dos caracteres, proporcionaría líneas que aumentarían el contenido de proteína de sus híbridos a niveles considerables.

La población Blanco con buena ACG para producción de grano y contenido de proteína, podría aumentar su ACG hasta valores próximos a los de BS-13 en producción y muy superiores en contenido de proteína en un proceso de selección recurrente combinado para ambos caracteres. Este proceso proporcionaría híbridos con producción de grano y contenido en proteína.

Contenido de aceite

El contenido de aceite de las poblaciones *per se* varían desde un mínimo de 3,55 % para la población Blanco a 3,83 para la población HembrillaxQueixalet (Cuadro 2). La estima vi más positiva corresponde a las poblaciones HembrillaxQueixalet y Andaluz aunque no se observan diferencias significativas (Cuadro 3). La población HembrillaxQueixalet es la única que tiene estima gi positiva y altamente significativa (P<0.01), lo que sugiere que esta población tiene alta frecuencia de alelos favorables para este carácter (Cuadro 4).

El contenido de aceite en el grano se veía aumentado por efectos de ACE sólamente en el cruce Hembrilla x (HembrillaxQueixalet). La ausencia de significación en el resto de cruzamientos indica que los efectos no aditivos tienen menos importancia para este carácter. Los trabajos de MORENO-GONZÁLEZ *et al.*, (1975) señalan que un mínimo de la mitad de los loci que controlan este carácter exhiben dominancia. Es probable que los loci que exhiben variabilidad para porcentaje de aceite en las poblaciones españolas puedan diferir de las de estos autores.

El cruzamiento que da mayor producción de aceite (Cuadro 5) es BS-13 x Lancaster (420 kg/ha), seguido por BS-13 x Andaluz (413 kg/ha) y BS-13 x (HembrillaxQueixalet) (399 kg/ha). Este último cruzamiento es un 7 y 5 % inferior en producción de grano y aceite respectivamente con relación al primero.

Contenido de fibra

Para este carácter se observan diferencias altamente significativas (P<0.01) tanto para cuadrados medios de poblaciones como de heterosis (P<0.01). Estos resultados sugieren que la variación entre entradas es debida a efectos aditivos y no aditivos, aunque los aditivos son muy superiores.

Los efectos población (vi) más negativos y altamente significativos (P<0.01) corresponden a la población americana BS-13, y las más positivas y altamente significativas corresponden a Rastrojero y Norteño Largo (Cuadro 3). Las estimas gi son altamente significativas para todas las poblaciones, la más negativa corresponde a la población HembrillaxQueixalet y la más positiva corresponde a la población BS-13 (Cuadro 4). Esto indica que la población española tiene la menor frecuencia de alelos para este carácter.

El cruzamiento BS-13 x Lancaster es el segundo cruce con mayor producción de fibra (Cuadro 5). De los siete cruzamientos con mayor producción de grano, BS-13 x (HembrillaxQueixalet) da la menor producción de fibra. Este resultado se corresponde con la estima negativa de gi de la población HembrillaxQueixalet. El contenido en fibra se veía aumentado por los efectos de ACE en varios cruzamientos, en su mayoría intervienen las poblaciones españolas Rastrojero y Blanco.

Conclusiones

Los caracteres producción de grano y contenido en proteína presentan gran varia-

CUADRO 5
RELACIÓN DE LOS 15 CRUZAMIENTOS CON MAYOR PRODUCCIÓN DE GRANO Y SUS RESPECTIVAS PRODUCCIONES DE PROTEÍNA, ACEITE Y FIBRA (KG.HA-1)

Fórmula	Producción grano	Producción proteína	Producción aceite	Producción fibra
BS-13 x Lancaster	11.536	864	420	209
BS-13 x Andaluz	11.265	888	413	207
BS-13 x Rastrojero	10.877	778	396	194
BS-13 x (He x Que)	10.754	791	399	189
BS-13 x Blanco	10.743	840	389	198
BS-13 x N.Largo	10.328	875	380	197
Lancaster x Blanco	10.281	894	375	200
Lancaster x Andaluz	10.205	799	389	186
Andaluz x Blanco	10.117	867	393	200
Rastrojero x Blanco	10.079	970	359	210
Hembrilla x BS-13	9.981	800	359	188
N.Largo x Blanco	9.018	863	339	182
(Ba x EL) x Blanco	8.988	764	340	170
(He x Que) x Blanco	8.269	785	305	166
Andaluz x Rastrojero	8.203	729	300	164

bilidad tanto en las poblaciones como en sus cruzamientos. La variación entre cruzamientos es debida a efectos de ACG y ACE aunque los efectos de ACG son predominantes, de forma especial para el carácter contenido de proteína. La población BS-13 tiene la mayor ACG para el carácter producción de grano e interviene en los cinco cruzamientos más productivos. Sin embargo, sólo participa en dos de los cinco cruzamientos con mayor producción de proteínas debido a su baja ACG para este carácter.

De acuerdo con los resultados de producción de grano, la sustitución aconsejada al modelo heterótico BS-13 x Lancaster sería BS-13 x Andaluz. Este último cruce es un 2,3 % menos productivo, pero sin embargo la producción de proteina es un 11 % mayor. Como segundo cruzamiento alternativo se debe considerar a BS-13 x Blanco.

La mayor producción de proteínas se obtiene en el cruzamiento de dos poblaciones españolas (Rastrojero x Blanco) debido a la buena ACG de ambas. Además, el cruzamiento de esta dos poblaciones manifiesta heterosis alta en producción, lo que proporcionaría buenos híbridos autóctonos con elevado valor nutritivo.

Para el carácter contenido de aceite, la población española HembrillaxQueixalet es la única que tiene estima gi positiva y altamente significativa. Por lo tanto, es la única población española recomendada como donadora de alelos favorables.

Agradecimientos

Este artículo sobre maíz se ha redactado en memoria de D. Ildefonso Luis Monteagudo Paz, que en paz descanse, con afecto y consideración por sus enseñanzas y estímulo en las etapas investigadora y docente.

Bibliografía

DUDLEY J.W., LAMBERT, R.J., ALEXANDER, D.E., 1974. Seventy generations of selection for oil and protein concentration in the maize. p 181-212 Crop Science of America, Madison, WI.

DUDLEY J.W., LAMBERT, R.J., 1992. Ninety generations of selection for oil and protein in maize. Maydica 37:81-87.

GARDNER C.O., EBERHART S.A., 1966. Analysis and interpretation of the variety cross diallel and related populations. Biometrics 22:439-452.

GENTER C.F., EHEART, J.F., LINKOUS, W.N., 1957. Oil and protein relationships between Inbred Lines and their single cross progeny. Agron. Jour. 49:283-285.

HALLAUER A.R., SMITH O.S., 1979. Registration of BS13(S2)C1 and BS16 maize germplasm. Crop Sci. 19:75

HALLAUER A.R., MIRANDA FO, J.B., 1981. Quantitative genetics in maize breeding. Iowa State University Press, Ames, Iowa.

HALLAUER A.R., 1986. Registration of BS26 gerplasm. Crop Sci. 26:838-839.

MILLER R.L., DUDLEY, J.W, ALEXANDER, D.E., 1981. High intensity selection for percent oil in corn. Crop Sci. 21:433-437.

MIRANDA FILHO J.B., VENCOVSKY R., 1984. Analysis of diallel crosses among open pollinated varieties of maize (Zea mays L.). Maydica, 29:217-234.

MISEVIC D., 1989. Heterotic patterns among US Corn Belt, Yugoslavian and exotic maize populations. Maydica, 34:353-363.

MONTEAGUDO I., 1985. Report on the 1985 consultation of the European Cooperative Network on Maize. Appendix 5. FAO.

MONTEAGUDO I., SINOBAS A.J., 1986. Obtención de híbridos de maíz con alto contenido de proteina. IV Jornadas Técnicas sobre Maíz 9-11 de Abril de 1986. LERIDA.

MORENO GONZÁLEZ J., DUDLEY, J.W, LAMBERT, R.J., 1975. A design III study of linkage disequilibrium for percent oil in maize. Crop Sci. 15:840-843.

MUNGOMA C., POLLAK L.M., 1988. Heterotic patters among ten Corn Belt and exotic maize population. Crop Sci. 28:500-504.

ORDAS A., 1991. Heterosis in crosses between American and Spanish populations of maize. Crop Sci. 31:931-935.

POLLMER W.G., EBERHARD, D. KLEIN, D., 1978. Inheritance of protein and yield of grain and stover in maize. Crop Sci. 18:757-759.

SÁNCHEZ-MONGE E. 1962. Razas de maíz en España. M.A.P.A.

SINOBAS A.J., MONTEAGUDO I., 1994. Analisis genético de un cruzamiento dialélico entre poblaciones de maíz españolas y americanas. Invest. Agr.: Prod. Prot. veg. 9:167-179.

WOODWORTH C.M., LENG, E,R., JUGENHEIMER, R.W., 1952. Fifty generations of selection for protein and oil in corn. Agron. Jour. 44:60-65.

(Aceptado para publicación el 28 de febrero de 1996)