

# IDENTIFICATION OF BREEDING POTENTIAL FOR GRAIN YIELD AND ITS COMPONENT TRAITS OF COMMON WHEAT VARIETIES IN THE EAST MEDITERRANEAN

## IDENTIFICACIÓN DEL POTENCIAL DE MEJORAMIENTO PARA RENDIMIENTO DE GRANOS Y SUS CARACTERES COMPONENTES DE VARIEDADES COMUNES DE TRIGO EN EL ESTE DEL MEDITERRÁNEO

Okan Sener\*

Mustafa Kemal University, Faculty of Agriculture, Department of Field Crop, 31040 Antakya-Turkey (osener9@gmail.com)

### ABSTRACT

Six experimental lines and one commercial wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivar from diverse backgrounds were intercrossed in a half diallel and analyzed to determine suitable parents for hybrids combinations and promising hybrid combinations. The experiment was established in typical Mediterranean environment, using a randomized complete block design with three replications. General combining ability (GCA) and specific combining ability (SCA) effects were identified for spike length, spikelets per spike, kernel number per spike, kernel weight per spike, thousand kernel weight, and grain yield per plant. Spike length was determined by additive gene effect, though number of spikelets in spike was determined by non-additive genes. Number of kernels per spike, thousand kernel weight and yield per plant were affected by both additive and dominant genes. However, additive genes were more effective on number of kernels per spike and thousand kernel weight than that of dominant genes. Dominant genes were more effective on grain yield per plant than that of additive genes. Of the measured yield components, only spikelets per spike were significantly correlated with grain yield. Based on the path analysis, it was found that spikelets per spike, kernel number per spike and kernel weight per spike had the greatest positive direct effect on grain yield. It was determined that P2 (F6 0314-76/MRL), P4 (HP 1744) and P5 (SERI-82//SHI#4414/CROW "S") were the best combiner for grain yield per plant. The analysis of the results showed that the best specific crosses for grain yield per plant were P1(GENÇ-99)XP2, P1XP3(PFAU/MILAN) and P5XP7(ATTILA/3/HUI/CARC//CHEN/CHTO/4/ATTILA). They these crosses were the most promising combinations for future breeding.

\*Author for correspondence ❖ Autor responsable.

Received: April, 2008. Approved: February, 2009.

Published as ARTICLE in *Agrociencia* 43: 707-716. 2009.

### RESUMEN

Seis líneas experimentales y una variedad comercial de trigo (*Triticum aestivum* L.) provenientes de diversos orígenes, se cruzaron en un medio diallelo y se analizaron para establecer los progenitores adecuados para combinaciones de híbridos así como combinaciones de híbridos prometedoras. El experimento se estableció en un ambiente típicamente mediterráneo, usando un diseño de bloques completos al azar con tres réplicas. Se identificaron los efectos de la aptitud combinatoria general (ACG) y la aptitud combinatoria específica (ACE) para longitud de la espiga, espiguillas por espiga, número de granos por espiga, peso de granos por espiga, peso de mil granos, y rendimiento de granos por planta. La longitud de la espiga se determinó por efecto de genes aditivos, aunque el número de espiguillas en la espiga se determinó por genes no aditivos. El número de granos por espiga, el peso de mil granos y el rendimiento por planta fueron afectados tanto por genes aditivos como dominantes. Sin embargo, los genes aditivos fueron más efectivos para el número de granos por espiga y el peso de mil granos, que los genes dominantes. Los genes dominantes fueron más efectivos para el rendimiento de granos por planta que los genes aditivos. De los componentes del rendimiento estudiados, sólo espiguillas por espiga estuvo significativamente correlacionado con el rendimiento de granos. Con base en el análisis de trayectoria, se encontró que espiguillas por espiga, número de granos por espiga y peso de granos por espiga tuvieron el efecto positivo directo más alto sobre el rendimiento de granos. Se determinó que P2 (F6 0314-76/MRL), P4 (HP 1744) y P5 (SERI-82//SHI#4414/CROW "S") fueron los mejores combinadores para el rendimiento de granos por planta. El análisis de los resultados muestran que las mejores cruza específicas para el rendimiento de granos por planta fueron P1(GENÇ-99)XP2, P1XP3(PFAU/MILAN) y P5XP7(ATTILA/3/HUI/CARC//CHEN/CHTO/4/

**Key words:** *Triticum aestivum* L., combining ability, path analysis, half-diallel analysis.

## INTRODUCTION

The Mediterranean climate is found in five regions: the coasts of the Mediterranean Sea, the center and southern coasts of California and northern coast of México, central Chile, the southern tip of Southern Africa, and southwest Australia. Wheat (*Triticum aestivum* L.) is one of the major components of the agro-ecosystem in the Mediterranean type of climate. Around 10 % of wheat world production, 627 million t, comes from the Mediterranean type of environment (Acevedo *et al.*, 1999). Yield improvement in such environments is highly difficult due to the variation in precipitation. Therefore, selecting new wheat varieties under the best criteria would be crucial for wheat improvement. Selecting best parents and best combinations have been two major steps in breeding self pollinated crops for early generation selection in order to avoid time and labor expenses (Whitehouse *et al.*, 1958). Diallel analysis is a useful method to select suitable parents with their combining abilities in crossings and to establish genetic structure of hybrid population as early as the F1 generation. Without diallel analysis, precision is rarely obtained in selecting suitable parents with their actual value. Although the natural gene pool for wheat breeding has been decreasing over the years, there is still the possibility of broadening the genetic variation for yield and yield components for diverse environmental conditions. Griffing's (1956) combining ability analysis is one of the most useful techniques for selecting parents with respect to performance of the hybrids. This analysis has been exploited for wheat breeding for agronomic traits (Javaid *et al.*, 2001; Joshi *et al.*, 2004; Chowdhary *et al.*, 2007) as well as disease resistance (Hakizimana *et al.*, 2004).

In subtropical environments Chowdhary *et al.* (2007) and Hakim *et al.* (2007) found significant general and specific combining ability (GCA and SCA) for some agronomic traits including grain yield in wheat diallel studies that. They noticed preponderance of additive gene action for most of the traits. However, little is known about the combining abilities of cultivars in the Mediterranean environment.

**ATTILA).** Estas cruzas fueron las combinaciones más prometedoras para el mejoramiento futuro.

**Palabras clave:** *Triticum aestivum* L., aptitud combinatoria, análisis de trayectoria, análisis de medio diallelo.

## INTRODUCCIÓN

El clima mediterráneo se encuentra en cinco regiones: las costas del Mar Mediterráneo, las costas del centro y sur de California y la costa norte de México, Chile central, el extremo sur de Sudáfrica y el suroeste de Australia. El trigo (*Triticum aestivum* L.) es uno de los componentes principales del agroecosistema en el clima de tipo mediterráneo. Alrededor de 10 % de la producción de trigo en el mundo, 627 millones de t, proviene del ambiente tipo mediterráneo (Acevedo *et al.*, 1999). La mejoría en el rendimiento en estos ambientes es muy difícil debido a la variación en la precipitación. Por lo tanto, seleccionar nuevas variedades de trigo con los mejores criterios sería crucial para la mejora del trigo. Seleccionar los mejores progenitores y las mejores combinaciones han sido dos pasos importantes en el mejoramiento de variedades de auto-polinización para la selección de generación temprana y así evitar gastos por tiempo y trabajo (Whitehouse *et al.*, 1958). El análisis de diallelo es un método útil para seleccionar progenitores adecuados con sus aptitudes combinatorias en cruzas, y para establecer la estructura genética de la población híbrida en la generación F1. Sin el análisis de diallelo, difícilmente se obtiene precisión al seleccionar progenitores adecuados con su valor real. Aunque el genoma natural para el mejoramiento de trigo ha disminuido con los años, todavía es posible ampliar la variación genética para el rendimiento y los componentes del rendimiento en condiciones ambientales diversas. El análisis de aptitud combinatoria de Griffing (1956) es una de las técnicas más útiles para seleccionar progenitores en cuanto al rendimiento de los híbridos. Este análisis ha sido usado para el mejoramiento de trigo en características agronómicas (Javaid *et al.*, 2001; Joshi *et al.*, 2004; Chowdhary *et al.*, 2007), así como para resistencia a enfermedades (Hakizimana *et al.*, 2004).

En ambientes subtropicales de diallelo del trigo Chowdhary *et al.* (2007) y Hakim *et al.* (2007) encontraron aptitud combinatoria general y específica (ACG y ACE) significativa para algunos caracteres

The objectives of this study were to estimate the general and specific combining ability effects for yield components, as well as to determine the gene action for morphological and yield-related traits. We used path analysis to determine which yield components has the greatest effect on grain yield, and suggested promising parents and hybrid combinations to improve yield of common wheat.

## MATERIALS AND METHODS

Seven common wheat genotypes, widely varied in terms of their morphological characteristics and their adaptation to growing in the Mediterranean, were selected from the field trials run by Cukurova University, Adana, Turkey. Names or crosses of the parents are presented in Table 1.

Parents were non-reciprocally crossed during 2001 and 2002 growing seasons at the research field of Cukurova University. About 10 spikes were used for each of the 21 cross combinations and approximately 100-150 hybrid seeds were obtained. During 2002 and 2003 growing seasons, hybrid F<sub>1</sub> seeds with their parents were planted in the plots, with 25 cm inter-row spacing, 10 cm intra-row spacing and 100 cm row length, in net cages at the research field of Mustafa Kemal University, Hatay. Randomized complete block design (RCBD) was used with three replications. The soil of the experimental site, developed from alluvial deposits of river terraces, is typical for the eastern Mediterranean region of Turkey and is classified as Chromoxeret by USDA Soil Taxonomy (1998) and as Vertisol by FAO/UNESCO (1974). This soil shows relatively high clay content with the predominant clay minerals smectite and kaolinite. The soil of the experimental plots was a clay silt loam with pH 7.6, 1.7 % organic matter, 0.13 % total N, and water holding capacity of 0.34 cm<sup>3</sup>. Based on soil analysis and local recommendations, fertilizer was applied prior to planting at a rate of 160, 80 and 80 kg ha<sup>-1</sup> N, P and K. Total precipitation

agronómicos incluyendo el rendimiento de granos en estudios de diallelo del trigo. Ellos notaron preponderancia de acción génica aditiva para la mayoría de los caracteres. Sin embargo, se sabe poco sobre la aptitud combinatoria de las variedades en el ambiente mediterráneo.

Los objetivos de este estudio fueron estimar los efectos de la aptitud general y la específica en los componentes del rendimiento, y determinar la acción génica para los caracteres morfológicos y aquellos relacionados con el rendimiento. Se usó el análisis de trayectoria para determinar qué componentes del rendimiento tienen el mayor efecto en el rendimiento de granos, y se sugirieron progenitores y combinaciones de híbridos prometedores para mejorar el rendimiento del trigo común.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se seleccionaron siete genotipos comunes de trigo, ampliamente diversos en términos de sus características morfológicas y su adaptación al crecimiento en el Mediterráneo, a partir de ensayos en el campo efectuados por la Universidad Cukurova en Adana, Turquía. Los nombres o las cruza de los progenitores se presentan en el Cuadro 1.

Se cruzó sin reciprocidad a los progenitores durante las temporadas de cultivo 2001 y 2002, en el campo experimental de la Universidad Cukurova. Alrededor de 10 espigas se usaron para cada una de las 21 combinaciones de cruza y se obtuvieron aproximadamente 100-150 semillas de híbridos. Durante las temporadas de cultivo de 2002 y 2003 se sembraron semillas de híbridos F<sub>1</sub> junto con sus progenitores en las parcelas, con 25 cm de espacio entre surcos, 10 cm de espacio en los surcos y 100 cm de longitud de los surcos, en jaulas con red en el campo experimental de la Universidad Mustafa Kemal, Hatay. Se usó un diseño de bloques completos al azar (RCBD, por sus siglas en inglés) con tres réplicas. El suelo del sitio experimental, desarrollado a partir de depósitos de aluvión de terrazas de río, es típico para la región este mediterránea en Turquía y está clasificado como Chromoxeret por USDA Soil Taxonomy (1998) y como Vertisol por la FAO/UNESCO (1974). Este suelo presenta un contenido relativamente alto de arcilla con minerales de arcilla predominantes de esmectita y caolinita. El suelo de las parcelas experimentales era franco arcillo limoso con pH 7.6, 1.7 % de materia orgánica, 0.13 % de N total y capacidad para alojar agua de 0.34 cm<sup>3</sup>. Con base en el análisis del suelo y las recomendaciones locales, se aplicó fertilizante antes de la siembra a una tasa de 160, 80 y 80 kg ha<sup>-1</sup> de N, P y K. La precipitación total fue 660.6 mm durante la temporada de cultivo. La temperatura promedio fue de 12.6 °C en el

**Table 1. Number and name or cross of the parents used in diallel crossing.**

**Cuadro 1. Número y nombre o cruza de los progenitores usados en la cruza de diallelo.**

Parent no	Name or cross of the parents
P1	GENÇ-99
P2	F6 0314-76/MRL
P3	PFAU/MILAN
P4	HP 1744
P5	SERI-82//SHI# 4414/CROW "S"
P6	(GEMINI X BALCALI-85) F <sub>2</sub> × HD2329
P7	ATTILA/3/HUI/CARC//CHEN/CHTO/4/ATTILA

was 660.6 mm during the growing season. Average temperature was 12.6 °C at cropping period (November-June), while the mean relative humidity was around 63.5 %. To avoid side effects, one seed of awnless cv. Gemini was planted in the front rows. For each plot, measurements were done for all plants to assess spike length (cm), spikelets per spike, kernel number per spike, kernel weight per spike (g), thousand kernel weight (g), and grain yield per plant (g). Evaluations were performed according to Griffing (1956) Method 2, Model 1 and analyses were done using the software developed by Burrow and Coors (1994). The path coefficient analyses were conducted for all of the measured traits as described by Kang (1992).

## RESULTS AND DISCUSSION

Mean phenotypic values obtained from seven common wheat genotypes and their half-diallel  $F_1$  generations are shown in Table 2. Analysis of variance showing mean squares for combining ability for different traits in common wheat is shown in Table 3.

All traits, except spikelets per spike and grain yield per plant, had the GCA/SCA ratio higher than one, meaning that additive gene action was more effective than non-additive (Table 3). Similar findings were previously for GCA for spike length in different environments (Li *et al.*, 1991; Ul Hag and Laila, 1991) and other studies revealed that non additive gene action was also significant (Hasnain *et al.*, 2006; Chowdhary *et al.*, 2007). However, Iqbal *et al.* (1991) reported significant epistatic gene action for this trait.

In the present study there was a significant SCA for spikelets per spike suggesting that non-additive gene action affects the trait, although Kashif and Khaliq (2003) found that additive and non-additive gene action were significant and Rasal *et al.* (1991) reported only additive gene action for spikelets per spike.

Significant GCA and SCA for kernel number per spike indicated both additive and non-additive gene action and the present study corroborates the results of Javaid *et al.* (2001) and Joshi *et al.* (2004), who also found  $GCA/SCA > 1$ , suggesting that additive gene action was more important for kernel number per spike than that of dominant one. However, Li *et al.* (1991) and Rasal *et al.* (1991) reported additive gene action, while Khamandosh *et al.* (1991) reported non-additive gene action. Additionally, Bebyakin and Starichkova (1992) reported that epistatic gene

periodo de cosecha (noviembre-junio), mientras que la humedad relativa media fue alrededor de 63.5 %. Para evitar efectos secundarios, se sembró una semilla inerme cv. Gemini en las hileras del frente. Para cada parcela, se tomó medidas de todas las plantas para evaluar la longitud de la espiga (cm), el número de espiguillas por espiga, el número de granos por espiga, el peso de granos por espiga (g), el peso de mil granos (g), y el rendimiento de granos por planta (g). Se realizaron evaluaciones según el Método 2 de Griffing (1956), Modelo 1, y para el análisis se usó el software desarrollado por Burrow y Coors (1994). Se efectuó el análisis de coeficiente de trayectoria para todos los caracteres medidos, según Kang (1992).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores fenotípicos promedio obtenidos de siete genotipos comunes de trigo y sus generaciones  $F_1$  de medio diallelo se muestran en el Cuadro 2. El análisis de varianza que muestra el cuadrado medio para la aptitud combinatoria de distintos caracteres en el trigo común se muestra en el Cuadro 3.

Todos los caracteres, excepto espiguillas por espiga y rendimiento de granos por planta, tuvieron una tasa ACG/ACE mayor a uno, lo que significa que la acción génica aditiva fue más efectiva que la no aditiva (Cuadro 3). Hallazgos similares se reportaron para la ACG de la longitud de espiga en diversos ambientes (Li *et al.*, 1991; Ul Hag y Laila, 1990) y otros estudios revelaron que la acción génica no aditiva también fue significativa (Hasnain *et al.*, 2006; Chowdhary *et al.*, 2007). Sin embargo, Iqbal *et al.* (1991) reportaron una significativa acción génica epistática para esta característica.

En el presente estudio se encontró una importante ACE para espiguillas por espiga, lo que sugiere que la acción génica no aditiva afecta esta característica, aunque Kashif y Khaliq (2003) encontraron que la acción génica aditiva y la no aditiva fueron significativas, y Rasal *et al.* (1991) reportaron sólo acción génica aditiva para espiguillas por espiga.

La ACG y la ACE significativas para el número de granos por espiga indicaron tanto acción génica aditiva como no aditiva, y el presente estudio corrobora los resultados de Javaid *et al.* (2001) y Joshi *et al.* (2004), quienes también encontraron que  $ACG/ACE > 1$ , sugiriendo que la acción génica aditiva fue más importante para el número de granos por espiga que la del dominante. Sin embargo, Li *et al.* (1991) y Rasal *et al.* (1991) reportaron acción génica

**Table 2. Mean phenotypic values obtained from seven common wheat genotypes and their half-diallel F<sub>1</sub> generation.****Cuadro 2. Valores fenotípicos promedio obtenidos de siete genotipos comunes de trigo y su generación F<sub>1</sub> de medio diallelo.**

Parents and hybrids	SL	SPS	KNS	KWS	TKW	GY
P1	12.38	21.67	65.78	2.43	36.97	19.33
P2	13.90	22.67	71.38	3.03	49.50	38.00
P3	10.67	23.33	65.35	2.63	40.27	27.33
P4	12.15	21.33	67.80	2.77	40.90	28.00
P5	12.90	22.33	76.27	2.83	37.13	30.67
P6	12.90	22.33	63.97	2.63	41.16	23.00
P7	11.82	22.33	63.98	2.53	39.57	25.00
P1XP2	13.38	21.67	67.47	2.80	41.48	30.00
P1XP3	12.97	22.33	52.62	2.03	38.62	27.00
P1XP4	13.07	20.67	66.01	2.77	41.85	24.67
P1XP5	12.55	21.67	60.72	2.33	38.42	19.33
P1XP6	13.63	22.00	66.18	2.73	41.28	20.33
P1XP7	12.57	20.67	62.37	2.77	49.16	13.33
P2XP3	12.72	22.00	69.32	2.77	39.92	21.33
P2XP4	13.73	22.33	69.83	3.00	42.95	24.33
P2XP5	13.13	23.00	67.23	2.80	41.65	27.00
P2XP6	12.98	22.00	67.88	3.00	44.16	23.00
P2XP7	12.83	22.33	72.83	2.97	46.21	28.00
P3XP4	11.75	22.33	68.01	2.63	38.67	25.67
P3XP5	11.52	21.00	65.92	2.37	35.87	23.00
P3XP6	11.50	23.00	72.32	2.77	38.23	23.00
P3XP7	11.75	22.33	67.00	2.60	35.82	23.00
P4XP5	12.22	21.00	65.01	2.63	40.45	26.33
P4XP6	12.97	22.00	69.12	2.37	34.20	23.33
P4XP7	11.93	22.33	58.87	2.20	37.37	26.67
P5XP6	13.47	23.33	71.83	2.73	38.02	27.67
P5XP7	12.82	24.33	71.75	2.97	48.29	29.33
P6XP7	12.22	22.00	65.00	2.93	43.04	22.67
Mean	12.59	22.12	66.86	2.68	40.76	25.01

SL: spike length; SPS: spikelets per spike; KNS: kernel number per spike; KWS: kernel weight per spike; TKW: thousand kernel weight; GY: grain yield.

**Table 3. Analysis of variance showing mean squares for combining ability for different traits in common wheat.****Cuadro 3. Análisis de varianza que muestra los cuadrados medios de la aptitud combinatoria para diversos caracteres en trigo común.**

Plant traits	GCA	SCA	GCA/SCA
Spike length (cm)	3.14 *	0.68	4.618
Spikelets per spike	2.26	3.44 **	0.657
Kernel number per spike	100.77 *	57.18 **	1.762
Kernel weight per spike(g)	0.32	0.17	1.882
Thousand kernel weight(g)	83.49 *	31.37 **	2.662
Grain yield (g)	33.90 *	49.66 **	0.683

\*\*p≤0.01; \*p≤0.05.

action was also important for kernel number per spike while Jedynski (1988) suggested the existence of non-allelic interaction. Although any significant values for either GCA or SCA for kernel weight per spike were found in the present study, Li *et al.* (1991)

aditiva, mientras que Khamandosh *et al.* (1991) reportaron acción génica no aditiva. Además, Bebyakin y Starichkova (1992) reportaron que la acción génica epistásica fue también importante para el número de granos por espiga, mientras que Jedynski (1988)



found higher additive genetic variance while Lonc and Zalewski (1991) observed over-dominance.

Thousand kernel weight was determined by both additive and dominant gene actions. For thousand kernel weight, additive and dominant gene action were significant, similar to previous studies (Javaid *et al.*, 2001; Joshi *et al.*, 2004). However, Li *et al.* (1991) reported only additive gene action for this trait. Other studies concluded that thousand kernel weight was determined by additive, dominant and epistatic (Bebyakin and Starichkova, 1992), as well as non-allelic interactions (Jedynski, 1988). Javaid *et al.* (2001) also reported that the effect of additive gene action was higher than that of the dominant one for thousand kernel weight since the GCA/SCA ratio is bigger than one.

In the present study parents and hybrids for grain yield per plant were analyzed and there was significant additive and non-additive gene action, and non additive gene action seemed to be more effective. Similar results were reported for other cultivars, where additive (Sharma *et al.*, 1988) and dominant genetic variances were significant (Javaid *et al.*, 2001; Joshi *et al.*, 2004). Khamandosh *et al.* (1991) reported, however, that non-additive genes play role in determining the grain yield per plant.

After half diallel analysis, the effects of GCA and SCA on agronomic traits of seven common wheat genotypes and their combinations are shown in Table 4. A genotype could be considered as a suitable parent for improving a trait if it has the highest phenotypic value and GCA effect. For this reason, P2 for spike length and kernel weight per spike, all of the others parents except for P1 and P4 for spikelets per spike, P2 and P5 for kernel number per spike, P2 and P7 for thousand kernel weight, P2, P4 and P5 for grain yield per plant could be suggested as suitable parents.

The lowest GCA effects for spike length, kernel weight per spike, thousand kernel weight were obtained in P3 and spikelets per spike, kernel number per spike, grain yield per plant in P1 (Table 4). These parents also generally had the lowest phenotypic values (Table 2).

The highest SCA values were observed for spike length in P5XP6, for spikelets per spike, kernel number per spike, thousand kernel weight in P5XP7, for kernel weight per spike in P1XP4 and P5XP7 (Table 4). The highest SCA value was

sugirió la existencia de interacción no alélica. Aunque no se encontraron valores significativos para ACG o ACE para el peso de granos por espiga en el presente estudio, Li *et al.* (1991) hallaron una varianza génica aditiva más alta mientras que Lonc y Zalewski (1991) observaron dominancia excesiva.

El peso de mil granos se determinó tanto por acción génica aditiva como dominante. Para el peso de mil granos, la acción génica aditiva y la dominante fueron significativas, de manera similar a estudios previos (Javaid *et al.*, 2001; Joshi *et al.*, 2004). Sin embargo, Li *et al.* (1991) reportaron sólo acción génica aditiva para esta característica. Otros estudios concluyeron que el peso de mil granos era determinado por interacciones aditiva, dominante y epistática (Bebyakin y Starichkova, 1992), así como interacciones no alélicas (Jedynski, 1988). Javaid *et al.* (2001) también reportaron que el efecto de la acción génica aditiva fue mayor que la de la dominante para el peso de mil granos, ya que la tasa ACG/ACE fue mayor a uno.

En el presente estudio se analizaron progenitores e híbridos para el rendimiento de granos por planta y hubo acción génica significativa aditiva y no aditiva, aunque la acción génica no aditiva pareció ser más efectiva. Resultados similares se reportaron para otras variedades, donde las variancias génicas aditiva (Sharma *et al.*, 1988) y dominante fueron significativas (Javaid *et al.*, 2001; Joshi *et al.*, 2004). Khamandosh *et al.* (2001) reportaron, sin embargo, que los genes no aditivos tienen una función en la determinación del rendimiento de granos por planta.

Después del análisis de medio diallelo, los efectos de ACG y ACE en los caracteres agronómicos de siete genotipos comunes de trigo y sus combinaciones se muestran en el Cuadro 4. Un genotipo podría considerarse un progenitor adecuado para mejorar una característica si tiene el valor fenotípico y el efecto de ACG más altos. Por ello, se podría recomendar como progenitores adecuados a P2 para longitud de la espiga y peso de granos por espiga, todos los otros progenitores excepto P1 y P4 para espiguillas por espiga, P2 y P5 para el número de granos por espiga, P2 y P7 para el peso de mil granos, y P2, P4 y P5 para rendimiento de granos por planta.

Los efectos de ACG más bajos para longitud de espiga, peso de granos por espiga y peso de mil granos se obtuvieron en P3, y para espiguillas por espiga, número de granos por espiga y rendimiento de granos por planta, en P1 (Cuadro 4). Estos progenitores

also observed for grain yield per plant in P1XP2 (Table 4). However, P1XP3, P1XP6, P2XP4 and P5XP7 for spike length, P1XP3, P2XP5, P3XP6 and P5XP6 for spikelets per spike, P1XP2, P1XP4, P2XP7, P3XP6 and P5XP6 for kernel number per spike, P1XP7, P2XP4, P3XP4 and P3XP6 for kernel weight per spike, P1XP7 and P3XP4 for thousand kernel weight, P1XP3, P2XP7, P5XP6 and P5XP7 hybrids for grain yield per plant, also had high SCA values (Table 4). The mean phenotypic values found were also high for these hybrid combinations (Table 2). Based on mid parent value (data not shown) and higher SCA effects, P1XP3, P1XP6, P2XP4, P5XP6 and P5XP7 for spike length,

también tuvieron los menores valores fenotípicos en general (Cuadro 2).

Los valores de ACE más altos se observaron para longitud de espiga en P5XP6, para espiguillas por espiga, número de granos por espiga y peso de mil granos en P5XP7, y para peso de granos por espiga en P1XP4 y P5XP7 (Cuadro 4). El valor más alto de ACE también se observó para rendimiento de granos por planta en P1XP2 (Cuadro 4). Sin embargo, los híbridos P1XP3, P1XP6, P2XP4 y P5XP7 para longitud de la espiga, P1XP3, P2XP5, P3XP6 y P5XP6 para espiguillas por espiga, P1XP2, P1XP4, P2XP7, P3XP6 y P5XP6 para número de granos por espiga, P1XP7, P2XP4, P3XP4 y P3XP6 para peso

**Table 4. Estimates of general and specific combining ability effects for important traits in common wheat.**

**Cuadro 4. Estimaciones de los efectos de la aptitud combinatoria general y la específica para caracteres importantes en el trigo común.**

Parents and hybrids	SL	SPS	KNS	KWS	TKW	GY
GCA effects						
P1	12.38	21.67	65.78	2.43	36.97	19.33
P1	0.46	-0.42	-4.77	-0.12	1.27	-2.19
P2	0.58	0.01	3.06	0.26	2.38	1.73
P3	-0.73	0.05	-0.81	-0.17	-3.47	-0.55
P4	-0.07	-0.35	-0.45	-0.08	-1.80	1.21
P5	-0.07	0.21	0.65	-0.04	-0.35	1.53
P6	0.18	0.45	2.61	0.08	-1.11	-1.15
P7	-0.35	0.05	-0.29	0.06	3.08	-0.58
SCA effects						
P1XP2	-0.30	-0.11	2.63	-0.02	-2.92	6.20
P1XP3	0.60	1.19	-8.35	-0.35	0.08	5.69
P1XP4	0.04	-0.58	4.74	0.30	1.64	1.43
P1XP5	-0.49	-0.14	-1.71	-0.18	-3.24	-4.33
P1XP6	0.35	0.62	1.80	0.10	0.37	-0.58
P1XP7	-0.19	-0.98	0.88	0.16	4.07	-8.41
P2XP3	0.22	-0.08	0.52	0.00	0.26	-3.97
P2XP4	0.58	0.49	0.68	0.15	1.62	-2.83
P2XP5	-0.03	0.76	-3.02	-0.10	-1.12	-0.18
P2XP6	-0.42	-0.98	-4.33	-0.01	2.15	-1.87
P2XP7	-0.04	-0.08	3.52	-0.02	0.00	2.63
P3XP4	-0.09	0.46	2.78	0.22	3.19	0.52
P3XP5	-0.33	-1.78	-0.47	-0.10	-1.05	-2.20
P3XP6	-0.59	0.49	3.97	0.19	2.06	0.25
P3XP7	0.19	-0.28	1.55	0.04	-4.54	-0.29
P4XP5	-0.45	-0.71	-1.68	0.08	1.86	-0.33
P4XP6	0.22	-0.11	0.41	-0.30	-3.64	-0.65
P4XP7	-0.29	0.46	-6.94	-0.44	-4.67	1.85
P5XP6	0.71	0.49	2.03	0.02	-1.26	2.83
P5XP7	0.59	1.39	4.85	0.28	4.81	4.20
P6XP7	-0.26	-0.51	-3.87	0.00	0.32	0.01

SL: spike length; SPS: spikelets per spike; KNS: kernel number per spike; KWS: kernel weight per spike; TKW: thousand kernel weight; GY: grain yield.

P2XP5, P5XP6 and P5XP7 for spikelets per spike, P2XP7, P3XP6, P5XP6 and P5XP7 for kernel number per spike, P1XP4, P1XP7, P2XP4, P3XP6 and P5XP7 for kernel weight per spike, P1XP7 and P5XP7 for thousand kernel weight, P1XP2, P1XP3 and P5XP7 hybrids for grain yield per plant could be assigned for promising crosses. The lowest SCA values were obtained for spike length in P3XP6, for spikelets per spike in P3XP5, for kernel number per spike in P1XP3, for kernel weight per spike and thousand kernel weight in P4XP7, for grain yield per plant in P1XP7 hybrids (Table 4), which also had the lowest mean phenotypic values (Table 2). A hybrid combination could be considered if it has the highest phenotypic value and SCA effect.

Correlation and path analysis data showed that all of the yield components revealed a positive association with grain yield (Table 5). However, the positive interaction was significant for spikelets per spike.

Among the yield components, spikelets per spike showed the greatest positive direct effect on grain yield followed by kernel number per spike and thousand kernel weight (Table 5). Among these traits, kernel number per spike and spikelets per spike are more accurate as an indirect selection criterion for determining the high yielding genotypes in common wheat due to its strong positive correlation with grain yield, large positive direct effect on yield, and small negative indirect effect on yield through spike weight. Kernel number per spike has been also reported as a promising trait in increasing grain yield in wheat, especially under drought stress conditions by Denčić *et al.* (2000) and García del Moral *et al.* (2003).

de granos por espiga, P1XP7 y P3XP4 para peso de mil granos, P1XP3, P2XP7, P5XP6 y P5XP7 para rendimiento de granos por planta también mostraron valores altos de ACE (Cuadro 4). Los valores fenotípicos promedio encontrados también fueron altos para estas combinaciones de híbridos (Cuadro 2). Con base en el valor del progenitor medio (datos no mostrados) y efectos de ACE mayores, se podría asignar los siguientes híbridos para cruza prometedoras: P1XP3, P1XP6, P2XP4, P5XP6 y P5XP7 para longitud de espiga, P2XP5, P5XP6 y P5XP7 para espiguillas por espiga, P2XP7, P3XP6, P5XP6 y P5XP7 para número de granos por espiga, P1XP4, P1XP7, P2XP4, P3XP6 y P5XP7 para peso de granos por espiga, P1XP7 y P5XP7 para peso de mil granos, y P1XP2, P1XP3 y P5XP7 para rendimiento de granos por planta. Los valores más bajos de ACE se obtuvieron en los híbridos P3XP6 para longitud de espiga, P3XP5 para espiguillas por espiga, P1XP3 para número de granos por espiga, P4XP7 para peso de granos por espiga y peso de mil granos, y P1XP7 para rendimiento de granos por planta (Cuadro 4), los cuales también tuvieron los valores fenotípicos promedio más bajos (Cuadro 2). Una combinación de híbridos podría tomarse en cuenta si tiene el valor fenotípico y el efecto de ACE más altos.

Los datos de correlación y análisis de trayectoria mostraron que todos los componentes del rendimiento mostraron una asociación positiva con el rendimiento de granos (Cuadro 5). Sin embargo, la interacción positiva fue significativa para espiguillas por espiga.

Entre los componentes del rendimiento, espiguillas por espiga mostró el efecto directo positivo más grande en el rendimiento de granos, seguido del

**Table 5. Correlations (R) and direct and indirect path coefficients between grain yield and yield components. Indirect effect of yield components on grain yield.**

**Cuadro 5. Correlaciones (R) y coeficientes de trayectoria directa e indirecta entre rendimiento de granos y componentes del rendimiento. Efecto indirecto de componentes del rendimiento en el rendimiento de granos.**

Trait	Correlation with GY (R)	Direct effects on GY	SL	SPS	KNS	KWS	TKW
SL	0.216 ns	0.1625		0.0030	0.0857	-0.1385	0.1031
SPS	0.449 *	0.3550	0.0014		0.1395	-0.0724	0.0257
KNS	0.355 ns	0.4323	0.0322	0.1145		-0.2642	0.0406
KWS	0.259 ns	-0.3635	0.0619	0.0707	0.3142		0.1755
TKW	0.178 ns	0.2575	0.0650	0.0354	0.0682	-0.2477	

\* Correlation coefficient (R) is significant ( $p \leq 0.05$ ). ns: correlation coefficient (R) not significant.

SL: spike length; SPS: spikelets per spike; KNS: kernel number per spike; KWS: kernel weight per spike; TKW: thousand kernel weight; GY: grain yield.



## CONCLUSIONS

General and specific combining ability effects differed significantly for most of the traits, indicating that both additive and non-additive genetic effects played a role in the heritability of these traits. It was determined that P2 was the best combiner for spike length and kernel weight per spike; all of the others parents except for P1 and P4 were the best combiner for spikelets per spike; P2 and P5 were the best combiner for kernel number per spike; P2 and P7 were the best combiner for thousand kernel weight; and P2, P4 and P5 were the best combiner for grain yield per plant. The promising crosses were: P1XP3, P1XP6, P2XP4 P5XP6 and P5XP7 for spike length; P2XP5, P5XP6 and P5XP7 for spikelets per spike; P2XP7, P3XP6, P5XP6 and P5XP7 for kernel number per spike; P1XP4, P1XP7, P2XP4, P3XP6 and P5XP7 for kernel weight per spike; P1XP7 and P5XP7 for thousand kernel weight; P1XP2, P1XP3; and P5XP7 for grain yield per plant. These hybrids may be used in breeding program to get better hybrid combination for wheat lines and to develop high yielding wheat cultivars for the Mediterranean region. Correlation and path analyses data indicated that spikelets per spike was the most promising plant characteristic which may contribute to seed yield increase in common wheat in a typical eastern Mediterranean climate.

## LITERATURE CITED

- Acevedo, E. H., P. C. Silva, H. R. Silva, and B. R. Solar. 1999. Wheat production in Mediterranean environments. In: Satorre E. H., and Slafer G. A. (eds). *Wheat: Ecology and Physiology of Yield Determination*. Food Products Press, New York. pp: 295-323.
- Bebyakin, V. M., and N. I. Starichkova. 1992. Genetic control of characters determining yield in spring durum wheat. *Tsitologiya i Genet.* 26(2): 60-64.
- Burow, M. D., and J. G. Coors. 1994. Diallel: a microcomputer program for the simulation and analysis of diallel crosses. *Agron. J.* 86(1): 154-159.
- Chowdhary, M. A., M. Sajad, and M. I. Ashraf. 2007. Analysis on combining ability of metric traits in bread wheat, *Triticum aestivum*. *J. Agric. Res.* 45: 11-18.
- Denčić, S., R. Kastori, B. Kobiljski, and B. Duggan. 2000. Evaluation of grain yield and its components in wheat cultivars and landraces under near optimal and drought conditions. *Euphytica* 113: 43-52.
- FAO/UNESCO. 1974. Soil map of the world, Scale: 1: 5.000.000, Volume 1 legend, World Soil Resources Report. Rome, Italy. 59 p.

número de granos por espiga y el peso de mil granos (Cuadro 5). Entre estos caracteres, el número de granos por espiga y de espiguillas por espiga son más precisos como un criterio de selección indirecto para determinar los genotipos de alto rendimiento en trigo común debido a su fuerte correlación positiva con el rendimiento de granos, su gran efecto directo positivo en el rendimiento, y bajo efecto negativo indirecto en el rendimiento a través del peso de la espiga. El número de granos por espiga también se ha reportado como un carácter prometedor para incrementar el rendimiento de granos en trigo, especialmente en condiciones de estrés por sequía, según Denčić *et al.* (2000) y García del Moral *et al.* (2003).

## CONCLUSIONES

Los efectos de la aptitud combinatoria general y la específica difirieron significativamente para la mayoría de los caracteres, indicando que tanto los efectos génicos aditivos como los no aditivos tuvieron una función en la heredabilidad de estos caracteres. Se determinó que P2 fue el mejor combinador para longitud de espiga y peso de granos por espiga; todos los demás progenitores excepto P1 y P4 fueron los mejores combinadores para espiguillas por espiga; P2 y P5 fueron los mejores combinadores para número de granos por espiga; P2 y P7 fueron los mejores combinadores para peso de mil granos; y P2, P4 y P5 lo fueron para rendimiento de granos por planta. Las cruzas prometedoras fueron P1XP3, P1XP6, P2XP4, P5XP6 y P5XP7 para longitud de espiga; P2XP5, P5XP6 y P5XP7 para espiguillas por espiga; P2XP7, P3XP6, P5XP6 y P5XP7 para número de granos por espiga; P1XP4, P1XP7, P2XP4, P3XP6 y P5XP7 para peso de granos por espiga; P1XP7 y P5XP7 para peso de mil granos; y P1XP2, P1XP3 y P5XP7 para rendimiento de granos por planta. Estos híbridos se pueden usar en un programa de mejoramiento para obtener una mejor combinación de híbridos para líneas de trigo, para desarrollar variedades de trigo con alto rendimiento en la región mediterránea. Los datos de correlación y análisis de trayectoria indicaron que espiguillas por espiga fue la característica de la planta más prometedora que podría contribuir al aumento en rendimiento de granos en el trigo común en un clima típico del este del Mediterráneo.

—Fin de la versión en Español—

- García del Moral, L. F., Y. Rharrabti, D. Villegas, and C. Royo. 2003. Evaluation of grain yield and its components in durum wheat under Mediterranean conditions. *Agron. J.* 95: 266-274.
- Griffing, B. I. 1956. A generalized treatment of the use of diallel crosses in quantitative inheritance. *Heredity*. 10: 31-50.
- Hasnain, Z., G. Abbas, A. Saeed, A. Shakeel, and A. Muhammad. 2006. Combining ability for plant height and yield related traits in wheat, *Triticum aestivum* L. *J. Agric. Res.* 44: 167-174.
- Hakim, M. A., M. G. Rasul, M. S. Uddin, S. A. Bagum, and N. C. D. Barma. 2007. Studies on combining ability (*Triticum aestivum* L.) in spring wheat. *Int. J. Sustainable Agric. Technol.* 3(5): 87-92.
- Hakizimana, F., A. M. H. Ibrahim, M. A. C. Langham, S. D. Haley, and J. C. Rudd. 2004. Diallel analysis of wheat streak mosaic virus resistance in winter wheat. *Crop Sci.* 44: 89-92.
- Iqbal, M., K. Alam, and M. A. Chowdhry. 1991. Genetic analysis of plant height and the traits above flag leaf node in common wheat. *Sarhad J. Agron.* 7(1): 131-134.
- Javaid, A., S. Masood, and N. M. Minhas. 2001. Analysis of combining ability in wheat (*Triticum aestivum* L.) using F2 generation. *Pakistan J. Biol. Sci.* 4(11): 1303-1305.
- Jedynski, S. 1988. Heritability and diallel analysis of several agronomic characters in winter wheat hybrids. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej We Wroclawiu* 47: 27-43.
- Joshi, S. K., S. N. Sharma, D. L. Singhanian, and R. S. Sain. 2004. Combining ability in the F1 and F2 generations of diallel cross in hexaploid wheat (*Triticum aestivum* L. Em. Thell). *Hereditas* 141(2): 115-121.
- Kang, M. S. 1992. Letter to the editor. *Agron. J.* 84: 917-918.
- Kashif, M., and I. Khaliq. 2003. Determination of general and specific combining ability effects in a diallel cross of spring wheat. *Pakistan J. Biol. Sci.* 6(18): 1616-1620.
- Khamandosh, D., A.V. Ali-Zade and A.P. Sauchanka. 1991. Combining ability of winter common wheat varieties. *Vesti Akademii Navuk BSSR, Seriya Biyalagichnykh Navuk*, 2: 36-40.
- Li, L.Z., D.B. Lu, and D.Q. Cui. 1991. Study on the combining ability for yield and quality characters in winter wheat. *Acta Agric. Univ. Henanensis* 25(4): 372-378.
- Lonc, W., and D. Zalewski. 1991. Diallel analysis of quantitative in F1 hybrids of winter wheat. *Hodowla Roslin, Aklimatyzacja I Nasiennictwo* 35(3-4): 101-113.
- Rasal, P. N., H. S. Patil, V. W. Chavan, and B. S. Manake. 1991. Combining ability studies for certain quantitative traits in wheat. *J. Maharashtra Aunv.* 16(2): 206-208.
- Sharma, S.C., G. R. Harma, I. Singh, and R. A. S. Lamba. 1988. Genetics of harvest index vis-a-vis grain and biological yield in wheat (*Triticum aestivum*). *Int. J. Trop. Agr.* 6(3-4): 260-266.
- Ul Hag, I., and T. Laila. 1991. Diallel analysis of grain yield and other agronomic traits in durum wheat. *Rachis* 10(1): 8-12.
- USDA. 1998. Keys to Soil Taxonomy, Natural Resources Conservation Service, 8th edn, Washington D. C. 326 p.
- Whitehouse, N. H., J. B. Thompson, and M. A. M. Valleribeiro. 1958. Studies on the breeding of self-pollinating cereals. 2. The use of diallel crosses analysis in yield prediction. *Euphytica*. 7: 147-169.