

## RESPUESTA EN RENDIMIENTO DE HÍBRIDOS DE MAÍZ A DIFERENTES DISTANCIAS ENTRE SURCOS Y DENSIDADES DE PLANTAS\*

### YIELD RESPONSE OF MAIZE HYBRIDS TO DIFFERENT DISTANCES BETWEEN FURROWS AND DENSITY PLANTS

Leonardo Soltero-Díaz<sup>1§</sup>, Carlos Garay-López<sup>2</sup> y José Ariel Ruiz-Corral<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Campo Experimental Centro-Altos de Jalisco. INIFAP. Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México. A. P. 56. C. P. 47600. Tel. y Fax. 01 378 7820355. (ruiz.ariel@inifap.gob.mx). <sup>2</sup>Monsanto Comercial, S. A. de C. V. Estación Experimental Tlajomulco. Carretera a San Miguel Cuyutlán, km 7. Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco, México. C. P. 45660. <sup>§</sup>Autor para correspondencia: soltero.leonardo@inifap.gob.mx.

#### RESUMEN

La producción de maíz en surcos angostos, es una técnica nueva que se está evaluando en México. Durante el ciclo primavera-verano de 2007, se llevó a cabo este trabajo de investigación en el cultivo de maíz en tres localidades ubicadas en la región Ciénega de Chapala, en el estado de Jalisco. El experimento tuvo como objetivo evaluar el distanciamiento entre surcos (76 y 50 cm), tres densidades de plantas (75 000, 90 000 y 105 000 plantas ha<sup>-1</sup>) y cinco híbridos; para conocer con cual tratamiento se obtiene el rendimiento más alto. Con las combinaciones de los tres factores estudiados se obtuvo un factorial completo de 30 tratamientos; se utilizó el diseño experimental bloques completos al azar con tres repeticiones y un arreglo en parcelas divididas, siendo la parcela grande la distancia entre surcos y como subparcelas a los factores híbridos y densidades de plantas, respectivamente. Se realizó el análisis de varianza en conjunto y comparación de medias para la variable rendimiento de grano utilizando el programa SAS. Los resultados indican que el rendimiento de grano más alto se obtuvo con el surcado angosto a 50 cm y una densidad de al menos 90 000 plantas ha<sup>-1</sup>; el rendimiento de grano aumentó 9.06% al reducir la distancia entre surcos de 76 a 50 cm; por lo tanto, se sugiere utilizar esta recomendación para aumentar la producción comercial de maíz en la región antes mencionada.

#### ABSTRACT

Maize farming in narrow furrows is a new technique that is being evaluated in Mexico. This investigation was carried out during the 2007 spring-summer cycle, on maize farming in three locations in the area of Ciénega de Chapala, in the state of Jalisco. The aim of the experiment was to evaluate the distance between furrows (76 and 50 cm), three plant densities (75 000, 90 000 and 105 000 plants ha<sup>-1</sup>) and five hybrids, in order to know which treatment provides the highest yield. With the combination of all three studied factors, a complete factorial was obtained, with 30 treatments. The experimental layout was a randomized complete block design in a split-plot treatment arrangement with three replications and an arrangement in divided parcels, with the large parcel being the distance between furrows and as subplots, the hybrid factors and plant densities, respectively. A variance analysis was carried out as a whole, and an average analysis for the grain yield variable using the program SAS. Results indicate that the highest grain yield was obtained with the narrow furrow at 50 cm and a density of at least 90 000 plants ha<sup>-1</sup>; the grain yield increased 9.06% when reducing the distance between furrows from 76 to 50 cm, therefore it is suggested to use this recommendation to increase commercial production of maize in the area in question.

\* Recibido: septiembre de 2009  
Aceptado: abril de 2010

**Palabras clave:** *Zea mays* L., interacciones, localidades, región Ciénega de Chapala.

**Key words:** *Zea mays* L., Ciénega de Chapala area, interactions, locations.

## INTRODUCCIÓN

La región Ciénega de Chapala ubicada en el centro de Jalisco, con clima subtropical subhúmedo semicálido, está considerada como de mayor potencial agrícola del estado. El potencial productivo es alto debido que la mayoría de los suelos son planos, profundos, con buena retención de humedad y precipitación pluvial aproximada a 750 mm anuales (Soltero *et al.*, 2004). En esta región la gran mayoría de los productores utiliza sembradoras de precisión, que están ajustadas para sembrar a una distancia entre surcos de 75 a 80 cm, y densidades de siembra de 70 000 a 90 000 semillas ha<sup>-1</sup> en temporal y de 90 000 a 110 000 semillas ha<sup>-1</sup> en punta de riego. Según estadísticas de la SAGARPA (2006), en el ciclo primavera-verano de 2006 la superficie cosechada de maíz blanco en esta región fue de 134 793 ha, de las cuales 95.7% correspondieron a temporal y el resto a siembras en punta de riego, con un promedio de rendimiento de 7.2 y 9.1 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

En diferentes regiones productoras de maíz en el mundo, como en los Estados Unidos de América y Argentina, la competencia entre las plantas cuando están cada vez más juntas en un surco convencional (0.7 a 0.8 m), se ha tratado de reducir mediante el uso de un surcado más angosto, permitiendo con esto que una mayor densidad de plantas por hectárea y que esté distribuida en forma más dispersa a través del surco, logrando así una menor competencia entre plantas, la cual permite un mejor aprovechamiento de la luz y distribución de las raíces. Según Farnham (2001) la producción de maíz en surcos estrechos se ha intentado desde las últimas décadas con cierto grado de éxito.

En México, algunos ejemplos del uso de surcado angosto a nivel comercial se han dado en varias regiones maiceras, tales como el pacífico norte, la Ciénega de Chapala y El Bajío, pero en estas dos últimas regiones esta técnica de sembrar el maíz ha generado mucha inquietud de información, aunado a cuál densidad de plantas sería la adecuada y cómo responden los nuevos híbridos de maíz a esta nueva tecnología, dado que prácticamente no se ha generado información al respecto.

El crecimiento de maíz a una densidad de plantas constante, intercepta una proporción mayor de radiación total en surcos angostos (Teasdale, 1995), debido a un incremento en el

## INTRODUCTION

The Ciénega de Chapala area, located in the center of the state of Jalisco has a subtropical subhumid semiwarm climate, and is considered to have the highest agricultural potential in the state. This potential is high because most of the land is flat and deep, good at retaining humidity and the area has an approximate annual rainfall of 750 mm (Soltero *et al.*, 2004). In this area, most farmers use precision grain drills, adjusted to plant a distance of 75 to 80 cm between furrows, and sowing densities of 70 000 to 90 000 seeds ha<sup>-1</sup> in season and 90 000 to 110 000 seeds ha<sup>-1</sup> under irrigation. According to statistics by SAGARPA (2006), in the 2006 spring-summer cycle, the harvest area of white maize in this region was 134 793 ha, of which 95.7% were seasonal and the rest under irrigation, with an average yield of 7.2 and 9.1 t ha<sup>-1</sup>, respectively.

In different maize producing areas in the world, such as in the USA and Argentina, there have been attempts to reduce competition between plants when the latter are closer and closer together in a conventional furrow (0.7 to 0.8 m), allowing a greater density of plants per hectare and a more scattered distribution throughout the furrow, obtaining lower competition between plants, and therefore a better use of light and root distribution. According to Farnham (2001) maize production in narrower furrows has been attempted in the last decades with a certain degree of success.

In Mexico, there have been examples of the use of narrow furrows at a commercial level in several maize growing areas, such as the north Pacific coast, the Ciénega de Chapala and the Bajío, though in the latter two, this maize-growing technique has caused much interest in information, such as what plant density is the most adequate and how the new maize hybrids respond to this technology, since there has practically been no information regarding this.

Maize planting at a constant plant density intercepts a greater proportion of sunlight in narrow furrows (Teasdale, 1995), due to an increase in the foliar area and in the efficiency in light interception per surface unit (Bullock *et al.*, 1998). According to Andrade *et al.* (2002), most of the response to maize yield to the reduction of the distance between furrows was directly related to the increase in the catch of sunlight during the critical period of grain formation.

índice de área foliar y en la eficiencia en la intercepción de luz por unidad de superficie (Bullock *et al.*, 1998). Según Andrade *et al.* (2002), la mayor parte de la respuesta a rendimiento de maíz a la reducción de distancia entre surcos, estuvo estrechamente relacionada con el incremento en la intercepción de la radiación solar durante el periodo crítico de formación de grano.

De acuerdo con Barbieri *et al.* (2000) los surcos angostos (0.35 vs 0.7 m) incrementaron significativamente el número de granos por unidad de superficie y el rendimiento de grano en maíz. Los porcentajes de incremento en respuesta a surcos angostos fueron 14.5 y 20.5% para el número de granos y rendimiento de grano, respectivamente. Según Widdicombe y Thelen (2002), el rendimiento de grano en maíz se incrementó de manera significativa de 2 a 4% al reducir la distancia entre surcos de 0.76 a 0.56 y 0.38 m, respectivamente. La densidad de 90 000 plantas ha<sup>-1</sup> tuvo el rendimiento más alto dentro del rango de 56 000 a 90 000 plantas ha<sup>-1</sup>. Indicaron que no se observó interacción entre híbridos\*distancia entre surcos, lo cual indicó que los híbridos que rinden bien en distancias entre surcos convencionales de 76 cm, también rendirán bien en sistemas de surcos angostos.

Shapiro y Wortmann (2006), encontraron que la reducción del espaciamiento entre surcos de 0.76 a 0.51 m resultó en 4% de incremento de rendimiento de grano en maíz, el cual no fue afectado por el incremento en la densidad de plantas superiores a 61 800 plantas ha<sup>-1</sup>, pero que el rendimiento fue mayor con el espaciamiento en surcos angostos. Por otra parte, el surcado angosto (0.52 y 0.35 vs 0.7 m) incrementó la eficiencia de maíz en el uso del nitrógeno 12 y 15%, expresada como materia seca y rendimiento de grano por unidad de nitrógeno disponible, respectivamente (Barbieri *et al.*, 2008a). La mayor eficiencia en el uso del nitrógeno en surcado angosto es una práctica que podría contribuir a mejorar la sostenibilidad del sistema de producción en maíz (Barbieri *et al.*, 2008b).

En su trabajo de investigación sobre maíz de Maddonni *et al.* (2006), encontraron que bajo condiciones de ambientes templados, sin limitaciones de nutrientes, el rendimiento de grano en cinco híbridos de maíz no respondió a la reducción del espaciamiento entre surcos (0.35, 0.5, 0.7 y 1 m) con 3, 4.5, 9 y 12 plantas m<sup>-2</sup>, respectivamente.

Se ha encontrado, entre otros aspectos, que la óptima densidad de plantas que maximiza el rendimiento de grano, depende del híbrido (Collins *et al.*, 1965) y usualmente es

According to Barbieri *et al.* (2000) narrow furrows (0.35 vs 0.70 m) significantly increased the number of grains per surface unit and maize grain yield. The percentages of increase in response to narrow furrows were 14.5 and 20.5% for the grain number and grain yield, respectively. According to Widdicombe and Thelen (2002), grain yield in maize increased significantly 2 to 4% when reducing the distance between furrows from 0.76 to 0.56 and 0.38 m, respectively. Density the 90 000 plants ha<sup>-1</sup> had the highest yield within the range of 56 000 to 90 000 plants ha<sup>-1</sup>. That stated that there was no interaction between hybrids\*distance between furrows, indicating that hybrids perform well in conventional furrow separations of 76 cm, and will also perform well in narrow furrow systems.

Shapiro and Wortmann (2006), found that reducing furrow separation from 0.76 to 0.51 m resulted in a 4% increase in grain yield for maize, which was not affected by the increase in plant density over 61 800 plants ha<sup>-1</sup>, although yield was higher with separations in narrow furrows. On the other hand, narrow furrows (0.52 and 0.35 vs 0.70 m) increased maize efficiency in nitrogen use by 12 and 15%, expressed as dry matter and grain yield per unit of nitrogen available, respectively (Barbieri *et al.*, 2008a). Higher efficiency in nitrogen use in narrow furrows is a practice that could contribute to improving the sustainability of maize farming systems (Barbieri *et al.*, 2008b).

In their research on maize Maddonni *et al.* (2006), found that under warm ambient conditions, with no nutrient limitations, the grain yield in five maize hybrids did not respond to the reduction in space between furrows (0.35, 0.5, 0.7 and 1m) with 3, 4.5, 9 y 12 plants m<sup>-2</sup>, respectively.

It has been found, among other things, that the optimum plant density that maximizes the grain yield, depends on the hybrid (Collins *et al.*, 1965) and is usually higher in short cycle hybrids, due to their foliar area per plant and lower plasticity of the foliar area (Dwyer *et al.*, 1994; Epinat-Le *et al.*, 2001) as well as lower duration of growth.

Farnham (2001) stated that the optimum plant density in narrow furrows (0.38 m), is similar to that required to reach the highest yields in the conventional distance (0.76 m), but the strong hybrid\*distance between furrows interaction amongst tested hybrids suggest that certain hybrids may behave better in some of the spaces tested.

más alta en híbridos de ciclo corto, debido a su menor área foliar por planta y menor plasticidad del área foliar (Dwyer *et al.*, 1994; Epinat-Le *et al.*, 2001) y a su menor duración de crecimiento.

Farnham (2001) indicó que la óptima densidad de plantas en surcos estrechos (0.38 m), es similar a la requerida para alcanzar los rendimientos más altos en la distancia convencional (0.76 m), pero que la fuerte interacción híbrido\*distancia entre surco, entre los híbridos probados sugiere que ciertos híbridos podrían comportarse mejor en alguno de los espaciamientos probados.

Según Sarlangue *et al.* (2007), los incrementos en el rendimiento de grano al aumentar la densidad de plantas, estuvieron más asociados con incrementos en la producción de biomasa que con incrementos en el índice de cosecha, con una densidad óptima que varió de 10.3 a 10.7 plantas m<sup>-2</sup>.

Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el distanciamiento entre surcos, la densidad de plantas y la siembra de cinco híbridos comerciales, para obtener la combinación adecuada, con la cual se obtiene el rendimiento más alto.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Durante el ciclo primavera-verano 2007, se estableció un experimento de maíz en tres localidades de la región Ciénega de Chapala, Jalisco, con las siguientes ubicaciones, modalidades y fechas de siembra: 1) Santa Lucía, municipio de La Barca, geográficamente a 20° 23.001' latitud norte y 102° 22.188' longitud oeste y altitud de 1 541 m; con riego de germinación el 26 de mayo y un riego de auxilio; 2) El Fuerte, municipio de Ocotlán, localizada a 20° 18.736' latitud norte y 102° 45.287' longitud oeste y altitud de 1 532 m, en temporal con lluvia de germinación el 13 de junio; y 3) La Providencia, municipio de Atotonilco el Alto, localizada a 20° 32.282' latitud norte y 102° 36.125' longitud oeste y altitud de 1 560 m, en temporal con lluvia de germinación el 22 de junio.

Se evaluaron las distancias entre surcos a 76 cm (convencional) y 50 cm (angosto), con las densidades de plantas a 75 000, 90 000 y 105 000 plantas ha<sup>-1</sup>, y cinco híbridos comerciales de la empresa Monsanto: COBRA, OSO, DK-2007, DK-2025 y DK-2031, con cuyas combinaciones se obtuvo un factorial completo de 30 tratamientos. Se utilizó el diseño

According to Sarlangue *et al.* (2007), increases in grain yield when raising plant density, were more related to raises in biomass production than with raises in the harvest index, with an optimum density that varied from 10.3 to 10.7 plants m<sup>-2</sup>.

Therefore, the aim of this work was to evaluate the distance between furrows, plant density and the harvest of five commercial hybrids, in order to obtain the adequate combination for the highest yield.

## MATERIALS AND METHODS

An experiment on maize was carried out during the 2007 spring-summer cycle in the area of Ciénega de Chapala, Jalisco, in the following locations, forms and sowing dates: 1) Santa Lucía, municipality of the Barca, geographically at 20° 23.001' latitude north and 102° 22.188' longitude west and an altitude of 1 541 m; with germination irrigation on the 26 May and auxiliary irrigation; 2) the Fuerte, municipality of Ocotlán, located at 20° 18.736' latitude north and 102° 45.287' longitude west and an altitude of 1 532 m, with seasonal germination rainfall on 13 June; and 3) the Providencia, municipality of Atotonilco el Alto, located at 20° 32.282' latitude north and 102° 36.125' longitude west and 1 560 m, with seasonal germination rainfall on 22 June.

Distances between furrows at 76 cm (conventional) and 50 cm (narrow) were evaluated, with plant densities at 75 000, 90 000 and 105 000 plants ha<sup>-1</sup>, and five commercial hybrids of the company Monsanto: COBRA, OSO, DK-2007, DK-2025 and DK-2031, the combinations of which gave a complete factorial of 30 treatments. The experimental design of complete randomized blocks was used, with three repetitions and an arrangement in divided parcels, the largest parcel being distance between furrows and y hybrid factors and plant density, respectively, as subplots.

A single dosage of fertilizer of 300-92-00 was applied, considered as non-limiting in the production. An experimental unit was taken as four five-meter-long furrows, considering both central furrows to obtain grain yield. Sowing was carried out manually, using strings marked for different plant densities and distance between furrows. Two seeds were placed in each mark, and once germinated; one was cut at ground level to leave plant density established. Grain yield was worked out using the following formula:

experimental bloques completos al azar con tres repeticiones y un arreglo en parcelas divididas, siendo la parcela grande la distancia entre surcos y como subparcelas a los factores híbridos y densidades de plantas, respectivamente.

Se aplicó la dosis de fertilización única 300-92-00 considerada como no limitante en la producción. La unidad experimental fue de cuatro surcos de cinco metros de largo, considerándose a los dos surcos centrales para obtener el rendimiento de grano. La siembra se hizo manual, utilizando hilos marcados para diferentes densidades de plantas y distancia entre surcos. En cada marca se depositaron dos semillas y una vez germinadas se cortó a ras de suelo una de ellas, para dejar así la densidad de plantas establecida. Para el cálculo de rendimiento de grano se hizo utilizando la siguiente ecuación:

$$R_{(14\%)} = \frac{PC * (\%MS)}{86 * FD * FC}$$

Donde:  $R_{(14\%)}$  = rendimiento de grano a 14% de humedad (kg ha<sup>-1</sup>); PC = peso de campo por parcela (kg parcela<sup>-1</sup>); %MS = por ciento de materia seca (100 - % de humedad del grano a cosecha de cinco mazorcas); FD = factor desgrane (% de grano, obtenido de muestra de cinco mazorcas); FC = factor de conversión (convertir kg parcela<sup>-1</sup> a kg ha<sup>-1</sup>).

Se efectuó el análisis de varianza factorial considerando los efectos simples y las interacciones de los factores estudiados, y comparación de medias con la prueba de t con  $p = 0.05$ , a través del programa SAS.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del análisis de varianza conjunto para la variable rendimiento de grano indicaron que el modelo fue altamente significativo, con un coeficiente de determinación de 0.89 el cual es aceptable, un coeficiente de variación 6.27% y una media de rendimiento 15.075 t ha<sup>-1</sup>. Hubo diferencias significativas para los factores: ambientes (AMB), distancias entre surcos (DS), híbridos (HIB), densidades de plantas (DP) y las interacciones AMB\*DS, AMB\*HIB, DS\*DP y AMB\*DP.

El ambiente con rendimiento más alto fue 16 828 kg ha<sup>-1</sup> en Santa Lucía (Cuadro 1), el cual se considera favorecido por la fecha de siembra temprana (principios de mayo), permitiendo a los híbridos expresar mejor su potencial

$$R_{(14\%)} = \frac{PC * (\%MS)}{86 * FD * FC}$$

Where:  $R_{(14\%)}$  = grain yield at 14% humidity (kg ha<sup>-1</sup>); PC = field weight per plot (kg plot<sup>-1</sup>); %MS = dry mass percentage (100 - % grain humidity on harvest of five cobs); FD = grain loss factor (% of grain obtained from a sample of five cobs); y FC = conversion factor (converting kg plot<sup>-1</sup> to kg ha<sup>-1</sup>).

A factorial variance analysis was carried out, considering the simple effects and the interactions of studied factors and the average comparison with the test of t with  $p = 0.05$ , using the program SAS.

## RESULTS AND DISCUSSION

The results of the combined analysis of variance for the grain yield variable showed that the model was highly significant, with a determination coefficient of 0.89, which is acceptable, a variation coefficient of 6.27% and a yield average of 15.075 t ha<sup>-1</sup>. There were significant differences for the factors of environments (AMB), distances between furrows (DS), hybrids (HIB), plant densities (DP) and interactions AMB\*DS, AMB\*HIB, DS\*DP and AMB\*DP.

The environment with the highest yield was 16 828 kg ha<sup>-1</sup> in Santa Lucía (Table 1), which is considered to be favored by the early sowing date (early May), allowing hybrids to best express their yield potential; on the other hand, although rainfall recorded during cultivation was of 447.3 mm, germination irrigation of approximately 100 mm was also provided, along with auxiliary irrigation of 120 mm for a total of 667.3 mm. In the Fuerte, yield was of 14 698 kg ha<sup>-1</sup>, with a rainfall of 811.5 mm and no periods with a lack of rain.

**Cuadro 1. Rendimiento promedio en tres ambientes.**  
**Table 1. Average yield in three environments.**

Ambiente	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )
Santa Lucía	16 828 a
El Fuerte	14 698 b
La Providencia	13 703 c
DMS <sub>0.05</sub>	450.35

Letras iguales no son estadísticamente diferentes (t, 0.05).

The Providencia had a yield of 13.7 t ha<sup>-1</sup> with rainfall at 589.7 mm, yet there was a short period of scarce rain during male flowering and at the end of the cycle, soon before physiological

de rendimiento; por otra parte, aunque la precipitación registrada durante el desarrollo del cultivo fue 447.3 mm, también se proporcionó un riego de germinación de aproximadamente 100 mm y un riego de auxilio de 120 mm para sumar un total de 667.3 mm. En El Fuerte el rendimiento fue de 14 698 kg ha<sup>-1</sup>, se registró una precipitación de 811.5 mm y no hubo periodos con escasez de lluvia.

La Providencia tuvo un rendimiento de 13.7 t ha<sup>-1</sup> con una precipitación de 589.7 mm, pero se presentó un periodo corto de escasez de lluvia durante la floración masculina y al cierre del ciclo poco antes de la madurez fisiológica, además la fecha de siembra fue el 22 de junio, que da una diferencia de nueve días con respecto a El Fuerte y de 22 días con Santa Lucía, lo cual podría explicar en parte la diferencia estadística en el rendimiento, sin considerar las posibles diferencias en la fertilidad del suelo entre los tres ambientes.

En función de la distancia entre surcos, el rendimiento promedio a 50 cm fue 15 729 kg ha<sup>-1</sup> y estadísticamente superior a 76 cm que tuvo un promedio de 14 422 kg ha<sup>-1</sup>, lo cual da una diferencia de 1 307 kg ha<sup>-1</sup> que representó 9.06% (Cuadro 2). Estos resultados están acordes con los reportados por Barbieri *et al.* (2000); Widdicombe y Thelen (2002); Shapiro y Wortmann (2006), en lo concerniente a incrementos de rendimiento en maíz sembrado en surcos angostos.

### Cuadro 2. Rendimiento promedio con dos distancias entre surcos.

Table 2. Average yield with two distances between furrows.

Distancia/surcos (cm)	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )
50	15 729 a
76	14 422 b
DMS <sub>0.05</sub>	348.44

Letras iguales no son estadísticamente diferentes (t, 0.05).

El híbrido DK-2025 tuvo el rendimiento promedio más alto con 15 602 kg ha<sup>-1</sup>, pero fue estadísticamente igual a OSO y DK-2031, la diferencia en rendimiento entre los tres fue menor a 500 kg ha<sup>-1</sup>. DK-2025 y OSO fueron significativamente superiores a COBRA y DK-2027. El híbrido menos productivo obtuvo un rendimiento 11.03% menor, con respecto a D-K2025, pero las diferencias de este con los demás híbridos fueron menores al 5% (Cuadro 3).

maturity, apart from the sowing date being on 22 June, which gives a difference of nine days with the Fuerte and of 22 days with Santa Lucía, which could partially explain the statistical difference in yield, without considering the possible differences in soil fertility in all three environments.

In terms of distances between furrows, the average yield at 50 cm was 15 729 kg ha<sup>-1</sup> and statistically higher than 76 cm, which had an average of 14 422 kg ha<sup>-1</sup>, giving a difference of 1 307 kg ha<sup>-1</sup>, representing 9.06% (Table 2). These results agree with those reported by Barbieri *et al.* (2000); Widdicombe and Thelen (2002); Shapiro and Wortmann (2006), concerning yield increases in maize sowed in narrow furrows.

The hybrid DK-2025 had the highest average yield, with 15 602 kg ha<sup>-1</sup>, but it was statistically equal to OSO and DK-2031; the difference in yield between the three was lower than 500 kg ha<sup>-1</sup>. DK-2025 and OSO were significantly superior to COBRA and DK-2027. The least productive hybrid obtained a yield 11.03% lower than D-K2025, yet the differences of the latter with the other hybrids were lower than 5% (Table 3).

### Cuadro 3. Rendimiento promedio de cinco híbridos.

Híbrido	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )
DK-2025	15 602 a
OSO	15 480 a
DK-2031	15 253 ab
COBRA	14 991 b
DK-2007	14 052 c
DMS <sub>0.05</sub>	470.16

Letras iguales no son estadísticamente diferentes (t, 0.05).

The plant densities of 90 000 and 105 000 plants ha<sup>-1</sup>, were statistically equal, since they had a very similar yield average, yet higher to the density of 75 000 plants ha<sup>-1</sup>, with a difference in yield of 594 and 698 kg ha<sup>-1</sup>; respectively, 4.06 and 4.77% higher (Table 4). These results agree with Sarlangue *et al.* (2007), who obtained maximum yields for maize with plant densities of 10 to 10.7 plants m<sup>-2</sup>.

In the significant interaction environments\*distances between furrows (Figure 1), the distance of 50 cm between furrows was noticed to have a greater response than the conventional 76 cm furrow, but in the environment with the highest yield, the difference between 76 and 50 cm was of a greater magnitude, which could be due to the better environmental conditions undergone in Santa Lucía, so that in the spacing of

Las densidades de plantas de 90 000 y 105 000 plantas ha<sup>-1</sup>, fueron estadísticamente iguales ya que tuvieron un promedio de rendimiento muy similar, pero superior a la densidad de 75 000 plantas ha<sup>-1</sup>, con diferencia en rendimiento de 594 y 698 kg ha<sup>-1</sup> que representaron 4.06 y 4.77% mayor, respectivamente (Cuadro 4); resultados que concuerdan con Sarlangue *et al.* (2007), que obtuvieron los rendimientos máximos en maíz con densidades de plantas de 10 a 10.7 plantas m<sup>-2</sup>.

**Cuadro 4. Rendimiento promedio con tres densidades de plantas.**

**Table 4. Average yield with three plant densities.**

Densidad de plantas	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )
105 000	15 343 a
90 000	15 239 a
75 000	14 645 b
DMS <sub>0.05</sub>	278.94

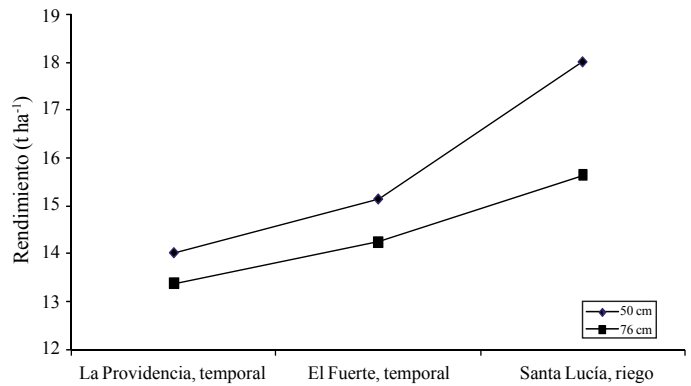
Letras iguales no son estadísticamente diferentes (t, 0.05).

En la interacción significativa ambientes\*distancias entre surcos (Figura 1), se observó que la distancia entre surcos a 50 cm, tuvo una mayor respuesta que el surcado convencional a 76 cm, pero en el ambiente con mayor rendimiento la diferencia entre 76 y 50 cm fue de mayor magnitud, lo cual podría deberse a que en Santa Lucía se tuvieron mejores condiciones ambientales, para que en el espaciamiento a 50 cm las plantas expresaran mejor su potencial de rendimiento, lo cual está acorde con lo señalado por Teasdale (1995); Bullock *et al.* (1998); Andrade *et al.* (2002).

La interacción significativa ambientes\*híbridos (Figura 2), se debió a que DK-2031 y COBRA tuvieron una respuesta diferente al cambiar de La Providencia a El fuerte, ya que su incremento en rendimiento fue notoriamente menor al obtenido con DK-2027, OSO y DK-2025. En el ambiente con el mayor rendimiento, DK-2025 tendió a sobresalir sobre los otros cuatro híbridos. DK-2027 fue el híbrido que mostró el potencial de rendimiento más bajo.

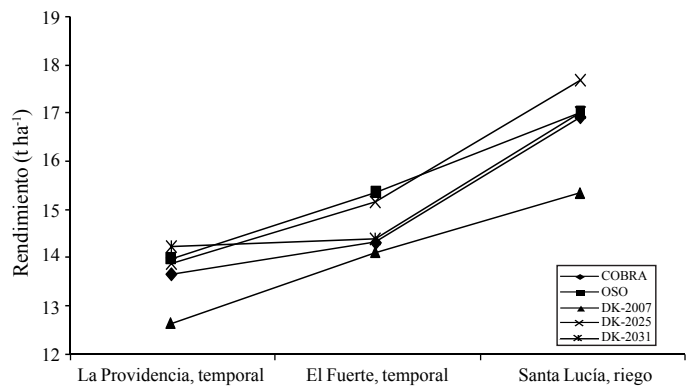
En la interacción ambientes\*densidades de plantas (Figura 3), la densidad de 105 000 plantas ha<sup>-1</sup> fue superada por 90 000 plantas ha<sup>-1</sup> en El Fuerte, lo cual explica la significancia de la interacción. Se encontró que conforme aumentó el rendimiento por localidad, la diferencia entre las tres densidades de plantas tendió a crecer, pero las densidades de

50 cm plants could better express their yield potential, which agrees with Teasdale (1995); Bullock *et al.* (1998); Andrade *et al.* (2002).



**Figura 1. Interacción ambientes\*distancias entre surcos.**  
**Figure 1. Interaction environments\*distances between furrows.**

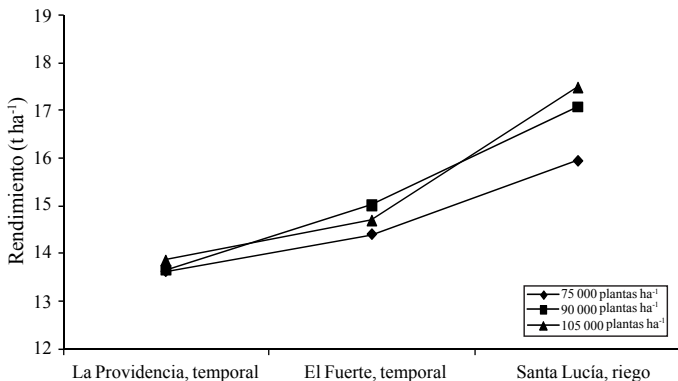
The significant interaction environments\*hybrids (Figure 2), was due to DK-2031 and COBRA having a different response when moving from the Providencia to the Fuerte, since its yield increase was notoriously lower to that obtained with DK-2027, OSO and DK-2025. In the highest-yielding environment, DK-2025 tended to stand out over the other four hybrids. DK-2027 was the hybrid that showed the lowest yield potential.



**Figura 2. Interacción ambientes\*híbridos.**  
**Figure 2. Interaction environments\*hybrids.**

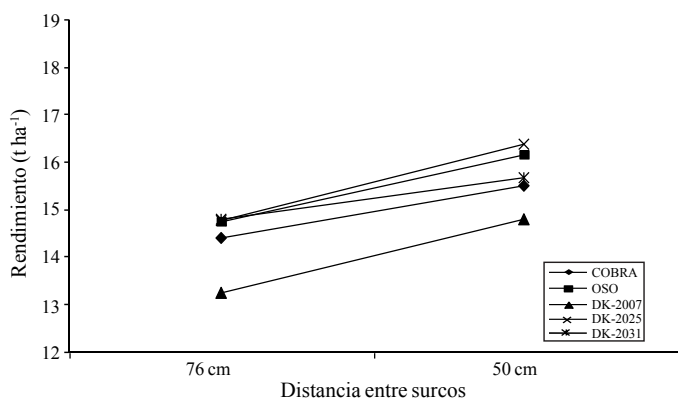
In the interaction environments\*plant densities (Figure 3), the density of 105 000 plants ha<sup>-1</sup> was surpassed by 90 000 plants ha<sup>-1</sup> in the Fuerte, explaining the significance of the interaction. As yield increased per location, the difference between the three plant densities tended to rise, but the densities of 90 000 and 105 000 plants ha<sup>-1</sup> remained very

90 000 y 105 000 plantas ha<sup>-1</sup> se mantuvieron muy similares y su rendimiento fue mayor que con 75 000 plantas ha<sup>-1</sup> en los tres ambientes, particularmente en Santa Lucía que fue donde se obtuvieron los rendimientos más altos.



**Figura 3. Interacción ambientes\*densidades de plantas.**  
**Figure 3. Interaction environments\*plant densities.**

La interacción no significativa en distancias entre surcos\*híbridos, se debió que todos los híbridos incrementaron su rendimiento en forma lineal al reducir el espaciamiento entre surcos de 76 a 50 cm. Aunque DK-2027 lo hizo en mayor magnitud, los mayores rendimientos de grano se obtuvieron con las combinaciones DK-2025 y OSO en surcos a 50 cm de separación (Figura 4).



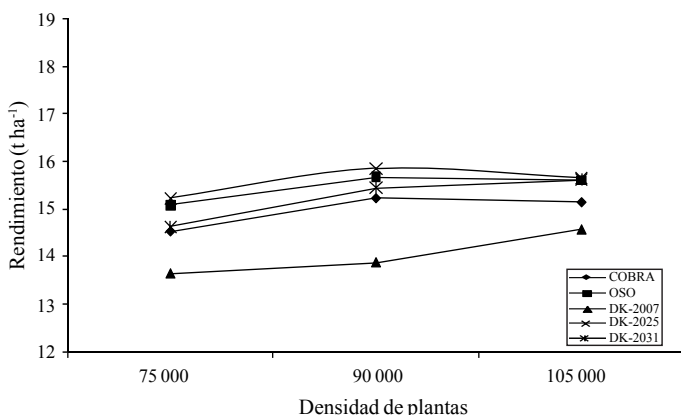
**Figura 4. Interacción distancias entre surcos\*híbridos.**  
**Figure 4. Interaction distances between furrows\*hybrids.**

De la misma manera en la Figura 5 se muestra la interacción no significativa entre híbridos\*densidades de plantas, debido que los cinco híbridos incrementaron el rendimiento al cambiar de 75 000 a 90 000 plantas ha<sup>-1</sup>, aunque se mantuvo muy semejante al cambiar de 90 000 a 105 000 plantas ha<sup>-1</sup>.

similar and their yield was higher than with 75 000 plants ha<sup>-1</sup> in the three environments, especially in Santa Lucía, in which we obtained the highest yields.

Non-significant interaction in distance between furrows\*hybrids was due to all hybrids increasing their yields in a linear fashion, as space between furrows was reduced from 76 to 50 cm. Although DK-2027 did it in a greater scale, the highest grain yields were obtained with the combinations of DK-2025 and OSO in furrows 50 cm apart (Figure 4).

Likewise, the non-significant interaction hybrids\*plant densities was due to the five hybrids increasing their yields when moving from 75 000 to 90 000 plants ha<sup>-1</sup>, although it was practically unchanged when changing from 90 000 to 105 000 plants ha<sup>-1</sup>. In this case, the difference between the four hybrids with the greatest yields remained at 75 000 and 90 000 plants ha<sup>-1</sup>, but at 105 000 plants ha<sup>-1</sup>, hybrids DK-2025, OSO and DK-2031 had practically the same yields (Figure 5).



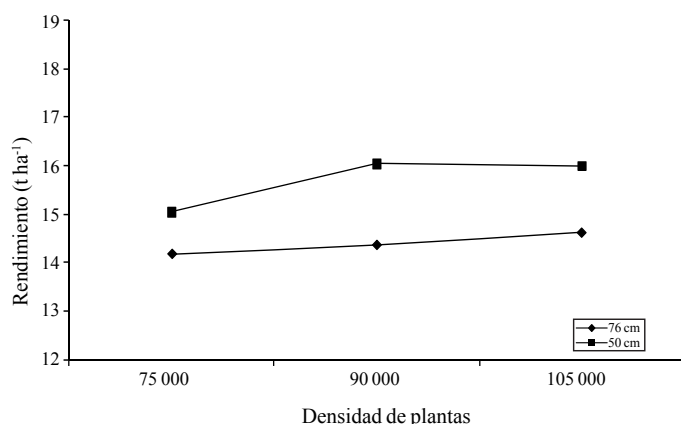
**Figura 5. Interacción híbridos\*densidades de plantas.**  
**Figure 5. Interaction hybrids\*plant densities.**

The high significance found in the interaction distances between furrows\*plant densities was due to the fact that with both distances, the grain yield increased at a different scale, moving from a lower density to a higher one. With narrow furrows, grain yield increased more than 1 t ha<sup>-1</sup> when moving from 75 000 to 90 000 plants ha<sup>-1</sup> and that difference remained at 105 000 plants ha<sup>-1</sup>, while using 76 cm furrows, increases were minimal when raising the density from 75 000 to 90 000 and 105 000 plants ha<sup>-1</sup>. The highest grain yield was obtained when sowed in 50 cm furrows, with a density of at least 90 000 plants ha<sup>-1</sup> (Figure 6).



En este caso, la diferencia en rendimiento entre los cuatro híbridos más rendidores se mantuvo a 75 000 y 90 000 plantas  $\text{ha}^{-1}$ , pero a 105 000 plantas  $\text{ha}^{-1}$ , los híbridos DK-2025, OSO y DK-2031 rindieron prácticamente igual.

La alta significancia detectada en la interacción distancias entre surcos\*densidades de plantas, se debió que con ambos distanciamientos se incrementó el rendimiento de grano en diferente magnitud, al pasar de una densidad menor a otra mayor. Con el surcado angosto se incrementó el rendimiento de grano en más de 1 t  $\text{ha}^{-1}$  al pasar de 75 000 a 90 000 plantas  $\text{ha}^{-1}$  y se mantuvo esa diferencia a 105 000 plantas  $\text{ha}^{-1}$ , mientras que con el surcado a 76 cm, los incrementos fueron mínimos al incrementar la densidad de 75 000 a 90 000 y 105 000 plantas  $\text{ha}^{-1}$ . El mayor rendimiento de grano se obtuvo cuando se sembró en surcos a 50 cm con una densidad de al menos 90 000 plantas  $\text{ha}^{-1}$  (Figura 6).



**Figura 6. Interacción distancias entre surcos\*densidades de plantas.**

**Figure 6. Interaction distances between furrows\*plant densities.**

## CONCLUSIONES

Los resultados mostraron que en los tres ambientes probados los mayores rendimientos de grano, con los híbridos evaluados, se obtuvieron en el surcado angosto a 50 centímetros, con una densidad de plantas de al menos 90 000 plantas  $\text{ha}^{-1}$ . El incremento en rendimiento de grano de 9.06% se manifiesta al reducir la distancia entre surcos de 76 a 50 cm, por tal razón, se sugiere esta combinación para aumentar la producción comercial de maíz en la región Ciénega de Chapala en el estado de Jalisco.

## CONCLUSIONS

The results showed that in the three environments tested with the hybrids evaluated, the greatest grain yields were obtained in narrow furrows (50 cm), with a plant density of at least 90 000 plants  $\text{ha}^{-1}$ . The 9.06% increase in grain yield is noticed when reducing the distance between furrows from 76 to 50 cm; this combination is therefore suggested to increase the commercial production of maize in the area of Ciénega de Chapala in the state of Jalisco.

*End of the English version*



## AGRADECIMIENTOS

Al Dr. José Luis Ramírez Díaz y al M. C. Margarito Chuela Bonaparte, por su apoyo en los análisis estadísticos; del mismo modo, a la empresa Monsanto Comercial S.A. de C.V. por el financiamiento del proyecto PRECI 3056727A.

## LITERATURA CITADA

- Andrade, F. H.; Calviño, P.; Cirilo, A. and Barbieri, P. 2002. Yield responses to narrow rows depend on increased radiation interception. *Agron. J.* 94:975-980.
- Barbieri, P. A.; Sainz-Rosas, H. R.; Andrade, F. H. and Echeverria, H. E. 2000. Row spacing effects at different levels of nitrogen availability in maize. *Agron. J.* 92:282-288.
- Barbieri, P. A.; Echeverria, H. E.; Sainz-Rosas, H. R. and Andrade, F. H. 2008a. Nitrogen use efficiency in maize as affected by nitrogen availability and row spacing. *Agron. J.* 100:1094-1100.
- Barbieri, P. A.; Echeverria, H. E. and Sainz-Rosas, H. R. 2008b. Presidedress soil nitrogen test for no-tillage maize at different row spacing. *Agron. J.* 100:1101-1105.
- Bullock, D. G.; Nielsen, R. L. and Nyquist, W. E. 1998. A growth analysis comparison of corn grown in conventional and equidistant plant spacing. *Crops Sci.* 28:254-258.
- Collins, W. K.; Russell, W. A. and Eberhart, S. A. 1965. Performance of two-year type of corn belt maize. *Crops Sci.* 5:113-116.

- Dwyer, L. M.; Ma, B. L.; Evenson, L. and Hamilton, R. I. 1994. Maize physiological traits related to grain yield and harvest moisture in mid to short-season environments. *Crops Sci.* 34:985-992.
- Epinat-Le, S. C.; Dousse, S.; Lorgeou, J.; Denis, J. B.; Bonhomme, R.; Carolo, P. and Charcosset, A. 2001. Interpretation of genotype environment interactions for early maize hybrids over 12 years. *Crops Sci.* 21:663-669.
- Farnham, D. E. 2001. Row spacing, plant density, and irbid effects on corn grain yield and moisture. *Agron. J.* 93:1049-1053.
- Maddonni, G. A.; Cirilo, A. G. and Otegui, M. E. 2006. Row width and maize grain yield. *Agron. J.* 98:1532-1543.
- Sarlangue, T.; Andrade, F. H.; Calviño, P. A. and Purcell, L. C. 2007. Why do maize hybrids respond differently to variations in plant density? *Agron. J.* 99:984-991.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2006. Estadísticas anuales de superficies de cultivos. Distrito de Desarrollo Rural 06. La Barca, Jalisco. Documento de circulación interna. 45 p.
- Shapiro, C. A. and Wortmann, C. S. 2006. Corn response to nitrogen rate, row spacing, and plant density in eastern Nebraska. *Agron. J.* 98:529-535.
- Soltero, D. L.; Pérez, D. J. F.; Medina, O. S. y Ramírez, D. J. L. 2004. Tecnología para producir maíz en la región Ciénega de Chapala. Campo Experimental Centro-Altos de Jalisco. INIFAP. Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México. Folleto técnico. Núm. 1. 27 p.
- Teasdale, J. R. 1995. Influence of narrow row/high population corn (*Zea mays*) on weed control and light transmittance. *Weed Technol.* 9:113-118.
- Widdicombe, W. D. and Thelen, K. D. 2002. Row width and plant density effects on corn grain production in the northern corn belt. *Agron. J.* 94:1020-1023.