



Agricultura Técnica en México

ISSN: 0568-2517

contacto@agriculturarecnica.net.mx

Instituto Nacional de Investigaciones

Forestales, Agrícolas y Pecuarias

México

Tinoco Alfaro, Carlos Alberto; Ramírez Fonseca, Alfonso; Villarreal Farías, Everardo; Ruiz Corral, Ariel

Arreglo espacial de híbridos de maíz, índice de área foliar y rendimiento

Agricultura Técnica en México, vol. 34, núm. 3, julio-septiembre, 2008, pp. 271-278

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Texcoco, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=60811116001>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

ARREGLO ESPACIAL DE HÍBRIDOS DE MAÍZ, ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR Y RENDIMIENTO*

STAND ARRANGEMENT OF MAIZE HYBRIDS, LEAF AREA INDEX AND SEED YIELD

Carlos Alberto Tinoco Alfaro^{1§}, Alfonso Ramírez Fonseca², Everardo Villarreal Fariñas³ y Ariel Ruiz Corral⁴

¹Campo Experimental Papaloapan, INIFAP. Ciudad Isla Veracruz, México. ²Campo Experimental de Ocozocuautla, ³INIFAP. Coordinador del PROMAF-SAGARPA-Guanajuato, México. ⁴Campo Experimental Centro Altos Jalisco, INIFAP. [§]Autor para correspondencia: tinoco.carlos@inifap.gob.mx

RESUMEN

En el sur de Veracruz se cultivan 250 000 hectáreas de maíz con un rendimiento potencial de 9 t ha⁻¹; sin embargo, el promedio regional no supera las 2 t ha⁻¹. La densidad de población y el arreglo espacial de plantas son factores que si no se utilizan en forma óptima limitan la producción del cultivo. Con el objetivo de generar información que contrarreste los bajos rendimientos por estos factores, se realizó un estudio para evaluar el rendimiento y la respuesta del índice de área foliar (IAF), en función del arreglo espacial y densidades de población en dos híbridos de maíz. Con los datos de rendimiento y de IAF, se planteó la generación de un modelo para predecir el rendimiento. La investigación se realizó de 1999-2001 en Acatlán, Veracruz, bajo un diseño de bloques completos al azar con arreglo de parcelas subdivididas, manejándose en parcelas grandes a dos híbridos, en parcelas medianas y chicas a tres distancias entre surcos y plantas, respectivamente. Se observó significancia estadística para las distancias entre surcos y plantas, así como la interacción híbrido por separación entre plantas. Para rendimiento la distancia entre surcos de 70 cm resultó superior; mientras que para la distancia entre plantas las sobresalientes fueron 20 y 40 cm. El análisis del índice de área foliar sobre el rendimiento generó un modelo de regresión lineal similar durante los tres años, con valores de la pendiente de 0.61, 0.64 y 0.72, con coeficientes de correlación y determinación intermedios.

Palabras clave: densidades de población, distancia entre surcos, distancia de plantas, unidades calor.

ABSTRACT

In the south of Veracruz 250 000 hectares of maize with a potential yield of 9 t ha⁻¹ are cultivated; nevertheless, the regional average it does not surpass 2 t ha⁻¹. Population density and the spatial arrangement of plants are factors that limit the production of maize, both of them generate losses of yield of 3.5 t ha⁻¹. With the objective of generating information that minimize the yield loss due to these factors, study was carried out to evaluate yield and the leaf area index (LAI), based on spacial arrangement of plantas and densities of population in two maize hybrids. With LAI and yield data, a model was generated to predict yield. The study was carried out in Acatlán, Veracruz, from 1999-2001, under a complete randomized blocks design arranged into split plots, planting two hybrids in large plots, three distances among rows in medium plots and three distances among plants into small plots. Statistical significance was observed for distances among rows and plants, as well as for the interaction between hybrids and separation among plants. The best distance among rows was of 70 cm; whereas for the distance among plants the optimal ones were 20

* Recibido: Diciembre de 2005
Aceptado: Marzo de 2007

and 40 cm. The analysis of LAI on the yield generated a linear regression for each of the three years, with regression coefficients of 0.61, 0.64 and 0.72, with acceptable correlation and determination coefficients.

Key words: densities of population, distance among furrows, distances among plants, hot units.

INTRODUCCIÓN

En los Distritos de Desarrollo Rural de San Andrés Tuxtla, Jáltipan y Las Choapas ubicados en el sur del estado de Veracruz, se cultivan aproximadamente 250 000 hectáreas de maíz que benefician a 80 mil productores y sus familias; 60% de dicha superficie es sembrada en temporal en el ciclo de primavera-verano y el resto con humedad residual en el otoño-invierno (SIAP, 2007). Un análisis de carácter económico, realizado en la región, indica una severa disminución en la rentabilidad del cultivo de maíz, llegando incluso a presentar pérdidas, al combinar altos costos de los insumos con la baja productividad en los sistemas y el bajo precio de la materia prima lograda (Tinoco *et al.*, 2002).

Al aplicar un modelo de simulación dinámica para rendimiento de maíz, con datos climáticos de las regiones centro y sur del estado y la información sobre eficiencias fisiológicas del cultivo de maíz definidas en esos mismos lugares, Tinoco (2005) determinó que el rendimiento potencial por luz y agua es de nueve y siete toneladas para siembras de temporal y humedad residual, respectivamente; sin embargo, el rendimiento promedio actual es de 2 t ha⁻¹. Este autor al realizar un diagnóstico de los sistemas de producción con maíz a fin de identificar o establecer una hipótesis sobre las posibles variables técnicas que más influyen en el bajo aprovechamiento del potencial disponible, encontró que la densidad de población y el arreglo espacial de plantas actuando individualmente o interactuando con dosis y épocas de fertilización fueron las de mayor impacto al ser responsables del área foliar acumulada por unidad de superficie (IAF) y en consecuencia de la mayor o menor cantidad de materia seca acumulada en el grano o rendimiento; que en el caso del sur de Veracruz se transforma en fugas que alcanzan las 3.5 t ha⁻¹.

Para entender lo anterior es necesario explicar como se genera el crecimiento vegetal, el cual depende principalmente de la tasa de fotosíntesis o de asimilación de CO₂, la que a su vez está determinada por la temperatura, por la eficiencia en el uso

inicial de la radiación, tasa de respiración en la oscuridad, y tasa máxima de asimilación neta de CO₂ por cada hoja, dando como resultado que la asimilación conjunta va de 30 a 90 kg ha⁻¹ h⁻¹ para plantas C₄ y de 15 a 50 kg ha⁻¹ h⁻¹ en plantas C₃ (Baker *et al.*, 1980).

Considerando que las hojas son las responsables de interceptar la radiación, se ha encontrado una relación entre la intensidad relativa de luz e índice de área foliar acumulado, teniéndose que la luz se extingue exponencialmente en función del incremento del área foliar. Para calcular la fracción de luz interceptada por el cultivo (fh), se utiliza la siguiente ecuación (Van Heemst, 1988).

$$fh = (1 - e^{-(kc) \times (IAF)})$$

donde:

fh= fracción de luz interceptada por el cultivo

kc= coeficiente de extinción de luz para la luz visible, con valores de 0.5 a 0.8, en función de la geometría del cultivo

IAF= índice de área foliar.

Sibma y Sivakumar, citados por Van Heemest (1988), determinaron para el cultivo de maíz un valor del coeficiente de extinción de kc= 0.6. Flenet *et al.* (1996), refieren que en diferentes modelos de simulación de cultivos (Spitters y Aerts calculan, 1983; Jones y Kiniry, 1986; Williams *et al.*, 1989 y Chapman *et al.*, 1993), para calcular la intercepción de luz utilizaron la ecuación anterior, sin ajustar el coeficiente de extinción por la variación de espaciamientos entre surcos, lo cual pudiera tener limitantes, como lo demostraron Rosenthal *et al.* (1989), quienes al utilizar una ecuación empírica en el modelo SORKAM, predijeron una mayor intercepción de luz a medida que el distanciamiento entre surcos disminuía.

En las gramíneas pueden distinguirse tres períodos en la tasa de crecimiento (Van Heesmst y Van Keulen, 1986): a) plantas pequeñas que no se sombrean entre sí donde la tasa de crecimiento y la acumulación de materia seca se incrementan exponencialmente, b) el cultivo cubre completamente el suelo, maximizándose la intercepción de luz con una tasa de crecimiento constante, en donde el peso seco se incrementa en forma lineal, y c) la senescencia de las hojas ocasiona un fuerte decremento en la tasa de crecimiento. Sólo la radiación que se encuentra dentro del espectro visible en el rango de los 400 a 700 nm de longitud de onda, es susceptible de ser usada

por el cultivo en el proceso de fotosíntesis e impactar sobre su crecimiento y desarrollo, misma que representa cerca el 0.5 de la radiación global total (Monteith, 1977).

La generación de conocimientos que ayuden a explicar la manera en que la densidad de población, el arreglo espacial de plantas y los propios genotipos afectan el crecimiento y desarrollo del cultivo y en consecuencia, la producción de grano de maíz, implica incursionar en estudios con enfoque de sistemas y una de las herramientas utilizadas para analizar a los sistemas y su evolución en el tiempo, son los modelos dinámicos. Estos son una representación abstracta de la realidad en un lenguaje matemático, éstos han probado que pueden reproducir el comportamiento de los sistemas como un todo, con un grado aceptable de precisión, al predecir lo que pasaría bajo condiciones diversas, de manera que pueden ser utilizados para tomar la mejor decisión a la hora de introducir cambios en los sistemas de producción (Quijano *et al.*, 1995).

La densidad de población y el arreglo espacial de plantas tienen un efecto directo sobre el crecimiento mismo de las plantas y es de esperar que al variar las distancias entre surcos y entre plantas haya una manifestación diferencial en los valores de índice de área foliar y de la capacidad productiva de cada uno de los híbridos bajo prueba, lo anterior se sustenta en los análisis cuantitativos del crecimiento, en donde se requiere medir el material vegetal presente y la capacidad de autoconversión de esa estructura vegetal. La forma de conocer a detalle dichos conceptos se logra a través de la cuantificación del peso de materia seca total por unidad de área y la determinación del índice de área foliar (Báez *et al.*, 2002).

El objetivo fue determinar el efecto de diferentes arreglos espaciales de plantas de maíz sobre la capacidad productiva de grano en dos híbridos y definir el parámetro que se relaciona con el índice de área foliar, para usarse con fines predictivos; mediante la hipótesis de que el arreglo espacial de las plantas en el terreno, es precursor del volumen del área foliar a desarrollar, que influye de forma directa y correlaciona con el rendimiento de grano del cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos se establecieron en el municipio de Acatlán, localizado en las áreas productoras de maíz con potencial productivo del sur del estado de Veracruz (INIFAP,

1993). El sitio se ubicó en las coordenadas 17° 20' de latitud norte y 94° 38' de longitud oeste. El clima de acuerdo con la clasificación de Köppen, modificada por García (1964), es un Aw₂, el más húmedo de los cálidos subhúmedos, con 10% de lluvia invernal durante los meses más secos, una precipitación media anual de 1 800 mm y una temperatura de 28 °C. El tipo de suelo predominante es Luvisol, con relieve plano, textura migajón arcillo arenosa, un nivel de materia orgánica de 4%, pH de 5.5 y un contenido natural de N-P-K aceptable.

El diseño de tratamientos fue un factorial 2 x 3 x 3 con arreglo de parcelas subdivididas y el diseño experimental utilizado fue de bloques completos al azar con arreglo de parcelas subdivididas; ubicándose en parcelas grandes a los híbridos H-512 de crusa doble y H-513 de crusa simple, ambos genotipos de los más utilizados en la región; en parcelas medianas, distancia entre surcos con 70, 80 y 90 cm y en parcelas chicas, distancia entre plantas con 20, 40 y 60 cm, con una planta por mata en el caso de 20 cm y dos plantas por mata para 40 y 60 cm, con un total de 18 tratamientos, en los que la parcela útil estuvo conformada por dos surcos centrales de 5 m de largo y la parcela total o unidad experimental de cuatro surcos de 6 m de largo.

Los experimentos se sembraron 28 y 30 de junio, en 1999-2001 y 11 de julio en 2000. El manejo agronómico del cultivo se hizo de acuerdo con las recomendaciones que para la región ha generado el INIFAP (Tinoco *et al.*, 2002). Las mediciones del IAF se realizaron en función de lo señalado por Tanaka y Yamaguchi (1984), quienes mencionan que el área foliar del maíz llega a sus valores máximos en la etapa de floración; esta variable se midió en dos matas (2 a 4 plantas) para cada tratamiento por el método destructivo (largo x ancho x 0.75), para cada uno de los tratamientos (Wilhelm *et al.*, 2000). Además, se llevó el registro de la precipitación pluvial y temperaturas máximas y mínimas durante el desarrollo del cultivo. En cada una de las etapas fenológicas en las que se realizaron los muestreos, se estimaron las unidades calor por el método residual, UC= (temperatura máxima - temperatura mínima)/2 - 10; (Perry *et al.*, 1990). La estimación de rendimiento se hizo en dos surcos centrales de 5 m de largo.

Con el auxilio de un paquete estadístico se llevaron a cabo los análisis de varianza para la variable rendimiento y con la hoja de cálculo de Excel los análisis de regresión que permitan definir el parámetro sobre el índice de área foliar que mejor explique la relación entre éste y rendimiento.

Para identificar los tratamientos superiores, se utilizó la prueba de comparación de medias de Tukey, con un nivel de significancia del 0.05.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de regresión realizado con los índices de área foliar de los 18 tratamientos en la etapa de floración y los rendimientos correspondientes en los tres años considerados para cada uno dio como resultado el modelo lineal que se presenta en la Figura 1, donde la ecuación de regresión fue: $y = 4.095 + 0.5673$ (IAF), que significa que por cada unidad de aumento del índice de área foliar se obtiene un incremento de 567 kg de maíz por hectárea, dentro del rango explorado. Asimismo, se puede señalar que el análisis de varianza efectuado para la regresión, registró un coeficiente de correlación múltiple de 0.69 y un coeficiente de determinación de 0.4777, valores aceptables para el modelo generalizado (Baez *et al.*, 2002).

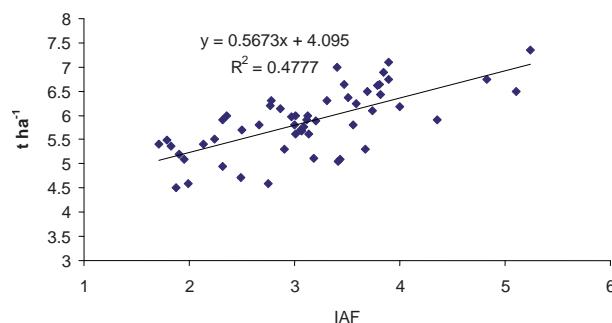


Figura 1. Relación del índice de área foliar sobre el rendimiento de tratamientos con diferentes arreglos de plantas, densidades y dos genotipos de maíz 1999-2001.

Modelos del índice de área foliar sobre rendimiento en cada uno de los tres años de estudio.

En el Cuadro 1, se presentan los modelos lineales generados que explican el rendimiento en función del índice de área foliar obtenida en la etapa de floración con los 18 tratamientos evaluados durante los tres años de estudio, observándose una alta similitud entre modelos ya que su pendiente se mantuvo con valores similares de 0.61 a 0.72 y su intercepto de 3.443 a 4.117, con valores de correlación 80% y coeficientes de determinación de 63-68%. Estos resultados permiten aceptar que el modelo puede ser utilizado como una herramienta confiable para estimar o predecir el rendimiento en parcelas

comerciales en desarrollo, con un nivel de confiabilidad aceptable, como lo señalan Báez *et al.* (2002).

Cuadro 1. Modelos de regresión con los valores de índice de área foliar en floración sobre el rendimiento de maíz bajo condiciones de temporal en el Trópico Húmedo de México.

Año	Módelo	r^2
1999	$Y = 4.1779 + 0.6107X$	0.68
2000	$Y = 3.443 + 0.644X$	0.64
2001	$Y = 0.379 + 0.726X$	0.63

Respuesta del rendimiento durante los tres años de estudio

En el Cuadro 2, se presentan los niveles significancia de los cuadrados medios para la variable rendimiento para los tres años de estudio, observándose que para las fuentes de variación de distancia entre surcos, distancia entre matas e interacción híbridos por distancia entre surcos mostraron diferencia estadística (con diferente nivel de significancia) en los tres años. Con respecto a las interacciones híbridos por distancia entre plantas, distancia entre surcos por distancia entre plantas, e híbridos por distancia entre plantas, sólo mostraron diferencia estadística en 1999, 2000 y 2001, respectivamente. El resto de componentes del modelo no fueron significativos.

Híbridos. Al realizar el análisis de varianza para la variable rendimiento de grano durante los tres años, no se observó diferencia significativa entre genotipos, a pesar de que son materiales diferentes fenotípica y genéticamente; los resultados obtenidos indican que ambos demuestran estabilidad en los diferentes ambientes, tal y como lo señalaron Sierra *et al.* (1994), quienes al describir el híbrido H-513, reportaron que en diferentes regiones de prueba de Veracruz, Campeche y Yucatán en las que se comparó con H-512, se obtuvieron rendimientos similares. Asimismo, Guillén-Portal *et al.* (2003), en la evaluación de híbridos de crusa simple y doble, estimó rendimientos similares en muchos de ellos y cuando hubo diferencias, éstas no sobrepasaron 11% de rendimiento a favor de los materiales de crusa simple.

Distancia de surcos. Se observaron diferencias altamente significativas para este factor, sobresaliendo la distancia de 70 cm con el mayor rendimiento 6.27, 6.44 y 6.29 t ha⁻¹ 1999,

Cuadro 2. Cuadrados medios y nivel de significancia para la variable rendimiento, en la evaluación de híbridos, distancias entre surcos y de plantas en Acatlán, Veracruz. 1999-2001.

Factores de variación	GL	CM	1999	CM	2000	CM	2001
Híbridos	1	0.126	ns	2.1932	ns	0.181	ns
Distancia entre surcos	2	3.101	**	6.836	**	1.444	**
Híbridos x distancia entre surcos	2	1.573	**	2.143	**	1.259	*
Distancia entre plantas	2	7.946	**	2.031	*	3.926	**
Híbridos x distancia entre plantas	2	0.001	ns	2.923	**	0.133	ns
D. surcos x distancia entre plantas	4	0.431	ns	0.431	ns	0.316	*
Híbridos x d. surcos x d. plantas	4	2.213	**	0.671	ns	0.048	ns

ns= no significancia; *= significancia al 5% de probabilidad; **= alta significancia al 1 y 5% de probabilidad.

2000 y 2001 respectivamente. Las distancias de 80 y 90 cm en la prueba de comparación de medias mostraron igualdad estadística y que en comparación con el mejor tratamiento tuvieron un menor rendimiento de 7, 19 y 6% para 1999, 2000 y 2001 respectivamente. Los más altos rendimientos se explican por la mayor cantidad de plantas (71428), que en su conjunto interceptan una mayor cantidad de luz y llegaron a realizar un uso más eficiente del agua y nutrientes como lo reportan Bullock *et al.* (1988), Nafziger (1996), Krall *et al.* (1997), Hedges y Evans (1990).

Distancia de plantas. El análisis de varianza mostró diferencias estadísticas, para los tres años de evaluación, encontrándose de acuerdo a la comparación de medias que las distancias de 20 y 40 cm fueron superiores e iguales entre ellas con valores promedio de rendimiento 6.2, 5.7 y 6.3 t ha⁻¹. La distancia de 60 cm entre plantas obtuvo menor rendimiento en 13, 5 y 3% para 1999, 2000 y 2001, respectivamente. Estos resultados se explican considerando que bajo todos los arreglos espaciales, las distancias de 20 y 40 cm tuvieron la misma densidad de plantas ha⁻¹, mientras que la distancia de 60, registró 33% menos plantas que los mejores tratamientos. La respuesta observada del rendimiento coincide en parte con el estudio realizado por Liu *et al.* (2004), quienes midieron el efecto de las distancias entre plantas, encontrando que no hubo una tendencia hacia el incremento o decremento del número de hojas para bajos y altos espaciamientos de plantas, lo cual les permitió concluir que en el rango estudiado, las variaciones de espaciamientos de plantas no causan una competencia severa en términos de desarrollo fenológico dentro del dosel de la planta de maíz.

Interacción entre híbridos y distancia de surcos. Al analizar la respuesta de los híbridos, a través de las distancias

entre surcos, se observaron tendencias diferentes; en el caso del H-512, en 1999 no hubo diferencia estadística para la distancia de surcos con un rendimiento promedio de 5.9 t ha⁻¹. Para 2000 y 2001, la distancia entre surcos de 70 cm fue superior con rendimiento de 6.1 y 6.1 t ha⁻¹, respectivamente. En relación con el H-513, este híbrido también tuvo la mayor producción con la menor distancia entre surcos (70 cm) durante 1999 y 2000; sin embargo, en 2001, no se registraron diferencias estadísticas, con un promedio de 6.4 t ha⁻¹. Como tendencia general se puede señalar que ambos híbridos presentan un mayor potencial productivo con la distancia de 70 cm y que al aumentar la distancia entre surcos el rendimiento disminuye de forma lineal. En los tres años de evaluación, el genotipo H-513 con la distancia de 70 cm entre surcos superó significativamente en rendimiento al H-512 (Figuras 2, 3 y 4).

Interacción híbridos, distancia entre surcos y distancia entre plantas. Esta interacción, sólo fue significativa durante 1999. Al analizar los datos se observó que los mayores rendimientos se obtuvieron con la combinación

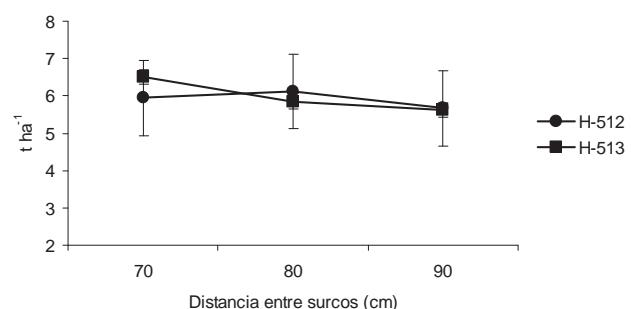


Figura 2. Rendimiento de dos híbridos de maíz, en la interacción entre híbridos y distancia entre surcos durante 1999, en Acatlán, Veracruz.

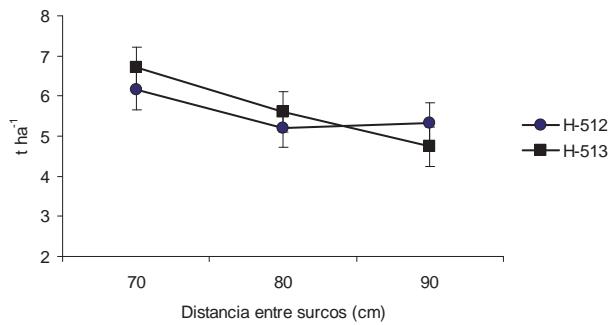


Figura 3. Rendimiento de dos híbridos de maíz, en la interacción entre híbridos y distancia entre surcos durante 2000, en Acatlán, Veracruz.

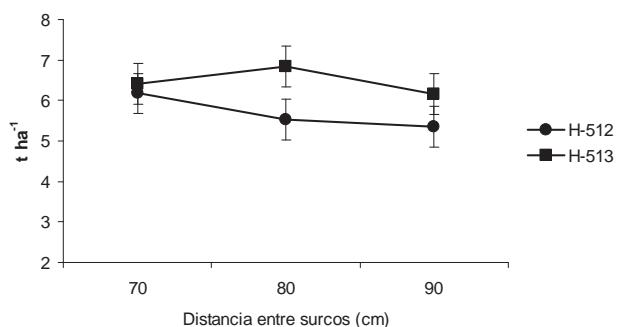


Figura 4. Rendimiento de dos híbridos de maíz, en la interacción entre híbridos y distancia entre surcos durante 2001, en Acatlán, Veracruz.

de los dos híbridos en cualquiera de las tres distancias de surcos, con las distancias de 20 y 40 cm entre plantas. Para la distancia entre plantas de 20 cm, la mejor combinación fue con H-512 y 70 u 80 cm entre surcos; mientras que para H-513, las mejores distancias fueron de 70 y 90 cm. En relación con las distancias de plantas de 40 y 60 cm, para H-512 se pueden utilizar cualquiera de las tres distancias de surcos, en tanto que para H-513 la mejor distancia fue la de 70 cm (Figura 5).

Interacción híbrido y distancia entre plantas (2000). El análisis de varianza también mostró un efecto significativo de esta interacción y de acuerdo con la comparación de medias la combinación superior se obtuvo con el híbrido H-512 y una distancia de plantas de 20 cm, mientras que para H-513 no se tuvieron diferencias estadísticas (Figura 6).

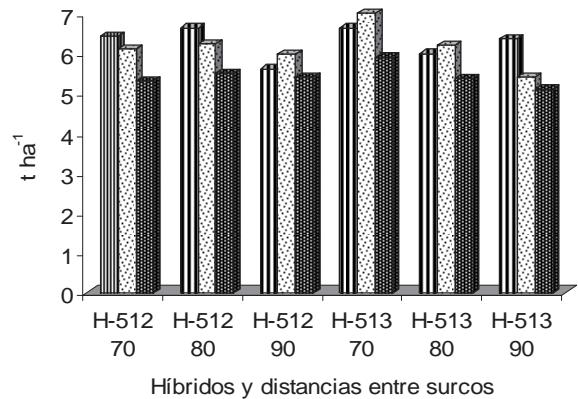


Figura 5. Rendimiento de dos híbridos de maíz, en la interacción híbridos, distancia entre surcos y entre plantas durante 1999, en Acatlán, Veracruz.

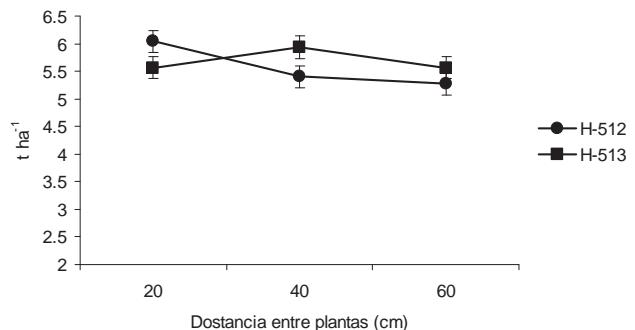


Figura 6. Rendimiento de dos híbridos de maíz, en la interacción entre híbridos y distancia entre plantas durante 2000, en Acatlán, Veracruz.

Interacción distancia entre surcos y distancia entre plantas (2001). Para distancias entre surcos de 70, 80 y 90 cm, la mejor combinación con distancia entre plantas fue la de 20 y 40 cm; los valores anteriores indican que a medida que disminuye la densidad de población, se obtiene un menor rendimiento por hectárea. Considerando la distancia entre plantas, cuando éstas se siembran a 20 cm, se presentó una igualdad de rendimientos entre las tres distancias de surcos; sin embargo, para 40 y 60 cm entre plantas, el mayor rendimiento se obtuvo con surcos a 70 y 80 cm (Figura 7).

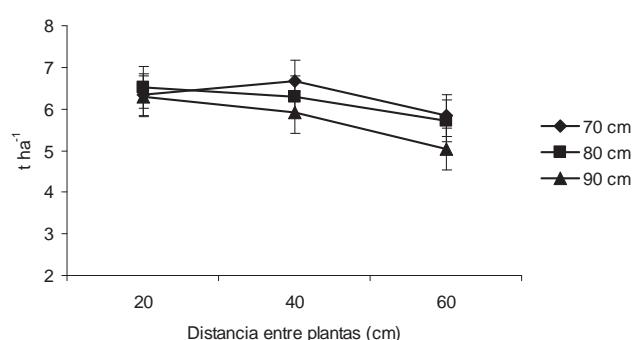


Figura 7. Rendimiento de dos híbridos de maíz, en la interacción entre distancia entre surcos y plantas durante 2001, en Acatlán, Veracruz.

CONCLUSIONES

El mayor rendimiento se obtuvo con las distancias de 70 cm entre surcos y con las distancias entre plantas de 20 y 40 cm, debido a que con dichos valores se generaron las mayores densidades de población.

Para el híbrido H-513, las menores distancias de surcos dieron mayor rendimiento, en tanto que con el H-512, no se encontraron diferencias en su producción para dicho factor.

Para cada año de estudio y con la integración de los valores de los tres años, se generaron modelos matemáticos que determinaron una relación estadística intermedia del índice de área foliar sobre el rendimiento.

LITERATURA CITADA

- Báez, G. A. D.; Chen, P.; Tiscareño-López, M. and Srinivasan, R. 2002. Using satellite and field data with crop growth modeling to monitor and estimate corn yield in Mexico. *Crop Sci.* 42(6):1943-1949.
- Baker, C. K.; Gallagher, J. N. and Monteith, J. L. 1980. Daylength change and leaf appearance in winter wheat. *Plant, Cell Environ.* 3:285-287.
- Bullock, D. G.; Nielsen, R. L. and Nyquist, W. E. 1988. A growth analysis comparison of corn grown in conventional and equidistant plant spacing. *Crop Sci.* 28:254-258.
- Flenet, F.; Kiniry, J. R.; Board, J. E.; Weasgate, M. E. and Reicosky, D. C. 1996. Row spacing effects on light extinction coefficients of corn, sorghum, soybean and sunflower. *Agron. J.* 88:185-190.
- García, E. 1964. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Instituto de Geografía. UNAM. México.
- Guillén-Portal, F. R.; Russel, W. K.; Baltensperger, D. D.; Eskridge, K. M.; D'Croz-Mason, N. E. and Nelson, L. A. 2003. Best types of maize hybrids for the western high plains of the USA. *Crop Sci.* 43:2065-2070.
- Hodges, T., and Evans, D. W. 1990. Light interception model for estimating the effects of row spacing, on plant competition in maize. *J. Prod. Agric.* 3:190-195.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). 1993. Determinación del potencial productivo de especies vegetales para el estado de Veracruz. Síntesis ejecutiva. Veracruz, México. 32 p.
- Krall, J. M.; Esechie, R. J.; Raney, S. C.; Ten Eyck, G.; Lundquist, M.; Humburg, N. E.; Axthelm, L. S.; Dayton, A. D. and Vanderlip, R. L. 1997. Influence of within-row variability in plant spacing on corn grain yield. *Agron. J.* 89:797-799.
- Liu, W.; Tollenaar M.; Steward, G. and Deen, W. 2004. Within-row plant spacing variability does not affect corn yield. *Agron. J.* 96:275-280.
- Monteith, J. L. 1977. Climate and the efficiency of crop production in Britain. *Phil Trans. Res. Soc. London Ser. B.* 281:277-329.
- Nafziger, E. D. 1994. Corn planting date and plant density. *J. Prod. Agric.* 7:59-62.
- Perry, K. B.; Wehner, T. C. and Johnson, G. L. 1986. Comparison of 14 methods to determine heat unit requirements for cucumber harvest. *HortScience* 21:411-423.
- Quijano, C.; Aguirre, G. J. A. and Villarreal, F. E. 1995. Using crop simulation models to support agricultural research planning in Mexico. In: applying crop models and decision support systems. University of Florida. International Fertilizer Development Center. 15 p.
- Rosenthal, W. D.; Vanderlip, R. L.; Jackson, B. S.; and Arkin, G. F. 1989. SORKAM: a grain sorghum crop growth model. *Texas Agric. Exp. Stn. Misc. Publ.* MP-1669.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2007. Informe de avances de siembras. <http://www.siap.sagarpa.gob.mx>.

- Sierra, M. M.; Rodríguez, M. F. A.; Castillo, G. R.; Ortiz, C. J.; Barrón, F. S.; Romero, M. J.; Tosky, V. O.; Romero, M. J.; Tinoco, A. C. A y Sandoval, R. J. A. 1994. H-513 híbrido de maíz de crusa simple para el trópico mexicano. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Veracruz, México. 18 p. (Folleto Técnico Núm. 9).
- Tanaka, A. Yamaguchi, J. 1984. Producción de materia seca, componentes del rendimiento y rendimiento del grano de maíz. Centro de Botánica. Colegio de Postgraduados. Chapingo México. 120 p.
- Tinoco, A. C. A.; Rodríguez, M. F. A.; Sandoval, R. J. A.; Barrón, F. S.; Palafox, C. A.; Esquema, E. V. A.; Sierra, M. M. y Romero, M. J. 2002. Manual de producción de maíz y para los estados de Veracruz y Tabasco. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Papaloapan. Veracruz, México. 113 p. (Libro Técnico Núm. 9).
- Tinoco, A. C. A. y Rodríguez, M. J. A. 2005. Diagnóstico de los factores de manejo suelo y clima que limitan la producción de maíz en el sur de Veracruz. XVIII Reunión Científica Tecnológica Forestal y Agropecuaria. Veracruz, México. p. 83-91.
- Van Heemst, H. D. J. and Van Keulen, H. 1986. Potencial crop production *In:* Van Keulen, H. and Wolf, J. (eds.), modelling of agricultural production: weather, soils and crops. Pudoc, Wageningen; The Netherlands.
- Van Heemst, H. D. J. 1988. Plant data values required for simple crop growth processes. Kluwer Academic Publishers. Netherlands 119 p.
- Wilhelm, W. W.; Ruwe, F. and Schlemer, M. R. 2000. Comparison of three leaf area index meters in corn canopy. *Crop Sci.* 40:1179-1183.