

TECNOLOGÍA PARA LA PRODUCCIÓN DE SEMILLA DE LÍNEAS QUE FORMAN HÍBRIDOS TROPICALES DE MAÍZ

Rómmel de la Garza Garza¹

Regino Morones Reza²

Guillermo Castañón Nájera³

Oscar Hugo Tosquy Valle⁴

¹ Profesor investigador del Depto. de Suelos de la UAAAN.

² Profesor investigador del Depto. de Estadística de la UAAAN.

³ Investigador del Programa de Maíz del CECOT, CIRGOC, INIFAP.

⁴ Estudiante de la maestría de Suelos de la UAAAN

RESUMEN

Con la finalidad de conocer la respuesta de seis líneas de maíz al efecto de D-N-P-K (D = densidad de población), se estableció un experimento durante el ciclo primavera-verano de 1995, en terrenos del CECOT, bajo condiciones de temporal. Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar, en parcelas divididas con dos repeticiones. El arreglo de los tratamientos fue un factorial completo 2^4 . Las líneas LE-36, LE-37, LRB-14, D-539, POB 21 y POB 43 constituyeron las parcelas grandes y las parcelas chicas fueron los tratamientos derivados de los factores D (densidad de población) a 50 y 62.5 mil plantas por ha, N, P y K a 161-184, 46-69 y 0-60 kg ha⁻¹, respectivamente. Los análisis de varianza para líneas mostraron significancia en 14 características agronómicas, incluido el rendimiento de grano. La densidad alta aportó el mayor rendimiento de grano con 4083.3 kg ha⁻¹. Con respecto a la interacción líneas x tratamientos, se encontró que todas las líneas incrementaron su rendimiento de grano cuando se utilizó un mayor número de plantas por unidad de área, sin embargo, no hubo respuesta de éstas para la misma variable con la dosis alta de NP, y sí una diferente exigencia nutricional de las líneas a la aplicación individual y conjunta de ambos macronutrientes en sus dos niveles respecto a las características del grano. Con la fertilización potásica se benefició el peso volumétrico de LE-36, LE-37 y POB 43.

Palabras clave: densidad de población, fertilización, N, P, K.

ABSTRACT

An experiment was established with the aim of knowing the response to the D-N-P-K effect (D = population density) in six maize lines during the spring-summer cycle 1995, in CECOT's lands under temporal conditions. A randomized blocks experimental design in divided plots with two replications was applied; the treatments' arrangement was a complete factorial 2^4 . The big plots were the lines LE-36, LE-37, LRB-14, D-539, POB 21 y POB 43 and the small ones were the treatments derived from the factors D (Population density) 50 and 62.5 thousand pl ha⁻¹, N, P, (and K with 161-184, 46-69 and 0-60 kg ha⁻¹, respectively. The lines' variance analysis showed significance in 14 agronomic characteristics, including grain yield. The high density contributed with the major grain yield with 4083.3 kg ha⁻¹, this surpassed with more than a half ton the lower level of the same. In relation to the lines X treatments interaction, it was found that all the lines increased their grain yield when a haigher plant number per area unit was used, however, there was not a response for the same variable with the highest N-P doses and there was a different nutritional exigency of the lines to the individual and mixed application of both macronutriments in their two levels, with respect to grain traits the potassic fertilization benefitted the LE-36, LE-37 and POB 43 lines' volumetric weight.

Key words: Population density, fertilization, nitrogen, phosphorus, potassium.

INTRODUCCIÓN

La necesidad de producir más alimento, tanto para la población nacional como para la estatal que están en constante crecimiento, hace necesario que en los cultivos, y específicamente en el de maíz, se exploren diferentes factores controlables de la producción, que conduzcan a un incremento en el rendimiento por unidad de superficie y reflejen un mayor aprovechamiento de la tecnológica. Aguilar (1990), señala que actualmente en el estado de Veracruz se tienen clasificadas las tierras con base a la profundidad del suelo y a la disponibilidad de humedad para el cultivo, y que sólo 396,000 ha pertenecen al trópico y son susceptibles de utilizarse con híbridos y variedades mejoradas, pues el 80 % de esta superficie se utiliza con generaciones avanzadas de material mejorado y criollo. La semilla es uno de los insumos estratégicos más importantes en el proceso de producción, (Espinosa, 1993). Sin embargo, existen otros factores de los que depende el éxito de la producción de un cultivo. La fertilización y la densidad de siembra son consideradas, desde hace tiempo, como los factores controlables más importantes para obtener mejores rendimientos en los cultivos, y en el maíz ejercen alta influencia sobre rendimiento y características agronómicas. Sierra *et al.* (1986) realizaron estudios de densidad de población y fertilización en líneas básicas del programa de maíz del CECOT durante 1984-1985, y encontraron que éstas responden bien con una densidad de 60 mil pl ha⁻¹ y una dosis de N de 60 kg ha⁻¹, en tanto que sus cruza simples lo hacen a 120 kg ha⁻¹ del mismo elemento. Por otro lado, Espinosa y Tadeo (1990) evaluaron las dos cruza simples progenitoras del híbrido doble de maíz H-137 con tres dosis de fertilización (160-70-30, 0-150-0 y

300-0-0) y cuatro densidades de población (45, 60, 75 y 80 mil plantas por hectárea (pl ha^{-1}), para estudiar su efecto en la productividad y en la coincidencia a floración, y encontraron que ni la densidad de población, ni la fertilización nitrogenada y fosfórica modificaron la floración, y que la densidad óptima que combina alto rendimiento y calidad de semilla para ambos progenitores es de 60 mil pl ha^{-1} . Por los resultados que se obtuvieron, es evidente que existe una dosis óptima de fertilización y densidad de siembra para cada genotipo bajo ciertas condiciones de suelo y clima, con la cual sus rendimientos son mayores. Dada la importancia del planteamiento anterior, se decidió realizar el presente estudio metodológico, cuyos objetivos son: determinar bajo qué densidad y dosis de fertilización se obtienen los más altos rendimientos de las líneas, sin afectar la calidad de la semilla, y evaluar sus efectos sobre la sincronía de la floración.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se realizó durante el ciclo primavera - verano de 1995, en terrenos del Campo Experimental Cotaxtla (CECOT), perteneciente al INIFAP, el cual se encuentra ubicado en el municipio de Medellín de Bravo, Ver., que se localiza a $18^{\circ}50'$ de latitud Norte y $96^{\circ}10'$ de longitud Oeste, con respecto al meridiano de Greenwich, con una altura de 15 m (INIA, 1977). Presenta un clima cálido subhúmedo A_w " (w) (g). La temperatura media anual es de 25°C , con una precipitación anual de 1400 mm, y un período de lluvias que se ubica entre los meses de junio a octubre. El tipo de suelo es de origen aluvial, profundo, con pendientes menores del uno por ciento y un drenaje superficial

e interno bueno; sus características físico - químicas más comunes se presentan en el Cuadro 1, en el cual se puede apreciar el contenido de materia orgánica y de N total en el horizonte superficial y en los inferiores, el de P disponible y K intercambiable, el de pH y su capacidad de intercambio catiónico.

Cuadro 1. Características físico-químicas más comunes del suelo donde se estableció el experimento en el Campo Experimental Cotaxtla. 1995.

Profundidad (cm)	Materia orgánica (%)	N total (%) kg ha ⁻¹	P aprovech. kg ha ⁻¹	K Intercamb g/cc	pH	CIC Meq 100 g ⁻¹	Densidad aparente	Textura
0 - 18	2.15	0.113	50	300	6.6	15.24	1.47	Franco
18 - 40	1.70	0.089	35	180	6.5	17.70	1.39	Mig. arcilloso
40 - 130	0.45	0.024	40	180	6.3	15.84	1.48	Mig. arcilloso
130 -200	0.21	0.011	35	180	6.8	14.36	1.37	Mig. arcilloso

El diseño experimental empleado fue de bloques al azar en parcelas divididas, con dos repeticiones; donde el factor A, que constituye las parcelas grandes (PG), correspondió a las seis líneas tropicales de maíz que se presentan en el Cuadro 2; y el factor B, que constituye las parcelas chicas (P CH), lo conforman los 16 tratamientos que se obtienen al combinar los dos niveles de cada uno de los factores densidad de población, N, P y K, alojados en cada una de las parcelas grandes (líneas tropicales).

Cuadro 2. Factores en estudio y niveles de exploración.

Factor	Nivel		Unidades
	Bajo = 0	Alto = 1	
Líneas (L)	LE-36, LE-37, LRB-14,		
D-539, POB 21, POB 43	Cualitativa		
Densidad de Pob. (D)	50	62.5	miles pl/ha
Nitrógeno (N)	161	184	kg ha ⁻¹
Fósforo (P)	46	69	kg ha ⁻¹
Potasio (K)	0	60	kg ha ⁻¹

Se usaron parcelas de tres surcos de seis metros de longitud, espaciados a 0.80 m; la parcela útil fue el surco central completo.

Descripción del germoplasma

LE-36-1-4. Su genealogía completa es La Posta HC 206-1-1-1-4. Es una línea S_4 derivada de la familia 206 de hermanos completos de la población 43 del CIMMYT, conocida como La Posta.

LE-37-17. Su genealogía es La Posta HC-2-4-1-17. Es una línea S_3 , derivada de la familia dos de hermanos completos de la población 43 del CIMMYT.

LRB-14-413-7-15-1. Línea S_3 proveniente de Río Bravo, Tamps. Se avanzó hasta S_5 en el CECOT y se identificó por su buen rendimiento per se, y por su aptitud combinatoria general y específica.

D-539-1-1-1. Es una línea S_4 proveniente del programa de mejoramiento de Iguala, Gro. y fue derivada a partir de la F_2 de híbridos comerciales B-670 de Dekalb.

POB 21 C5 HC-163-1-1-2-1-1. Es una línea S_5 cuyo germoplasma base es la población 21 del CIMMYT.

POB 43 C6 HC-232-2#-1-2. Es una línea S_3 , cuyo germoplasma base es la población 43 del CIMMYT.

Fuentes nutrimentales

Nitrógeno. Urea (46 % de N)

Fósforo: Superfosfato triple de calcio (46 % de P_2O_5)

Potasio: Cloruro de K (60 % de K_2O)

El manejo se efectuó de acuerdo a las recomendaciones para maíz que hace el Campo Experimental Cotaxtla. La siembra se realizó el 14 de julio, donde se depositaron dos semillas por golpe, cada 25 cm, para la densidad baja, y a una distancia de 20 cm para la densidad alta; posteriormente se aclaró a una planta por mata, después de los 12 días de la emergencia. La fertilización se llevó a cabo en dos aplicaciones: la primera a los 13 días después de la siembra, utilizando la mitad del N, todo el P y K para cada tratamiento; la segunda se hizo el 29 de agosto, poco antes de la labor de atierre y se aplicó el N restante. La cosecha se realizó en forma manual a los 124 días después de la siembra. Los parámetros medidos fueron en planta, mazorca y grano, en la parcela útil de cada tratamiento y se realizaron con base al instructivo para la toma de datos y cosecha de los ensayos de rendimiento de maíz (INIA, 1977), y al manual de metodología para obtener semillas de calidad (CIAT, 1983); se tomaron como variables de respuesta: rendimiento de grano

(RG), días a floración masculina y femenina (DFM y DFF), altura de planta y mazorca (AP y AM), calificación visual de planta y mazorca (CVP y CVM), sanidad de planta y mazorca (SP y SM), días a madurez fisiológica (DMF), peso volumétrico (PV), peso en gramos del grano que no pasó la criba 20R (PC20R), peso en kilogramos de 200 granos (P200G), porcentaje de germinación (PG), sincronía de floración (SF), número de plantas acamadas (PA), mazorcas con mala cobertura y podridas (MC y MP). Para las cuatro últimas variables fue necesario transformar sus valores como lo recomienda Reyes (1978), mediante la fórmula: $\sqrt{X + 1}$ donde: X = valor de la variable. Posteriormente se realizó la prueba de Tukey a las diferentes variables que causaron significancia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el factor A (líneas) existe significancia en 14 variables, lo cual indica el diferente comportamiento que tuvieron las líneas en esos parámetros, debido principalmente a su constitución genética. En el factor B (tratamientos) se observa diferencia altamente significativa en rendimiento de grano, peso volumétrico, peso del grano que no pasó la criba 20R, peso de 200 granos y porcentaje de germinación, y significativa en altura de planta y mazorca, lo que indica que cada tratamiento se manifestó de diferente forma en esas variables. En la interacción A x B (líneas x tratamientos) se destaca la alta significancia de cuatro caracteres importantes en la producción de semilla; se infiere que las líneas tuvieron diferente respuesta en esas características provocada por los tratamientos, o que las líneas

difirieron en su comportamiento al pasar de un tratamiento a otro. La prueba de Tukey al 5 % corroboró las diferencias que existen para las líneas en las diversas variables, donde LE-36 ocupó el primer sitio en rendimiento de grano, con $5278.2 \text{ kg ha}^{-1}$; en altura de planta, con 212.7 cm ; en altura de mazorca, con 117.4 cm , y en la característica indeseable de número de mazorcas con mala cobertura, con 4.089 ; tuvo, además, el más bajo peso volumétrico y porcentaje de germinación. Por otro lado, LE-37, también con buen rendimiento, obtuvo los valores más altos en peso del grano que no pasó la criba 20R y en peso de 200 granos, y presentó junto con LRB-14 tendencia al cuateo. En general, los materiales se comportaron como de ciclo precoz a intermedio, con buena sincronía en sus floraciones, y pese a que algunas líneas presentaron una altura de planta alrededor de dos metros, el acame fue mínimo. La calificación visual de planta y mazorca denotó que existen líneas con excelente apariencia para ambas características.

En el Cuadro 3 se presenta la prueba de Tukey al 5 %, realizada a las diferentes variables en cada uno de los niveles de los factores D, N, P y K. La primera implicación de la significancia encontrada, fue que las densidades afectan la expresión fenotípica de los caracteres expuestos. Se aprecia que el rendimiento de grano y la altura de planta se favorecen con el incremento de la densidad de población, lo cual se debe a que, en forma general, existe en las líneas mayor potencial para incrementar su rendimiento con un manejo más intenso de ese factor, además de una respuesta natural de los individuos a incrementar su altura debido al efecto de la competencia, ya que las plantas más altas tienen mayor capacidad de recibir la luz requerida para su desarrollo. Respecto al porcentaje de germinación, este fue mejor en la densidad baja. Para N, se observa que las variables peso de 200 granos y

por ciento de germinación respondieron de manera diferente a la aplicación de ambos niveles, sin embargo, las diferencias fueron mínimas.

Cuadro 3. Prueba de Tukey al 5%, realizada a las diferentes variables en cada uno de los niveles de los factores D, N, P, K. CECOT. 1995.

Factor	RG (kg ha ⁻¹)	AP (cm)	AM (cm)	PV (kg hl ⁻¹)	PC20 (g)	P200G (kg)	PG (%)
D ₀	3550.9 b	177 b					93.7 a
D ₁	4084.3 a	179 a					92.1 b
N ₀						53.4 b	93.4 a
N ₁						54.0 a	92.2 b
P ₀				81.3 b	292.1 a		92.2 b
P ₁				82.0 a	284.8 b		93.5 a
K ₀	3895.5 a	176 b	90 a				
K ₁	3739.8 b	180 a	87 b				

Datos provenientes de 96 observaciones

En el factor P, Tukey mostró que estadísticamente es mejor aplicar 69 kg de P₂O₅ ha⁻¹ para peso volumétrico y por ciento de germinación, pero no para el peso del grano que no pasó la criba 20R (tamaño de grano). Diversos trabajos de investigación han constatado que la planta de maíz tiene respuesta vegetativa a las aplicaciones de P en las primeras etapas de crecimiento, la cual se ve reflejada posteriormente en el grano, aún en suelos altos en P nativo. Respecto al efecto principal del K, se aprecia que no hubo respuesta a la aplicación de este macronutriente para rendimiento de grano, debido a que el suelo donde se llevó a cabo el experimento es rico en K intercambiable, además de que la función

de este elemento no es propiamente la de rendimiento, sino la de mejorar la calidad del cultivo, promover la turgencia, fortalecer los tallos, hacer un uso eficiente del agua, entre otros (PPI, 1998); sin embargo, experimentos realizados en México reportan bajos porcentajes de respuesta a este nutrimento, lo que indica que los suelos de nuestro país en su mayoría son abundantes en K. Con relación a la altura de planta y mazorca, las diferencias no son apreciables, además de que dichas características son influenciadas por el medio ambiente.

Referente a la interacción líneas x densidad se encontró que, al pasar de una densidad a otra, las líneas difieren en su comportamiento en las variables peso volumétrico, peso del grano que no pasó la criba 20R y porcentaje de germinación. Se destaca que la

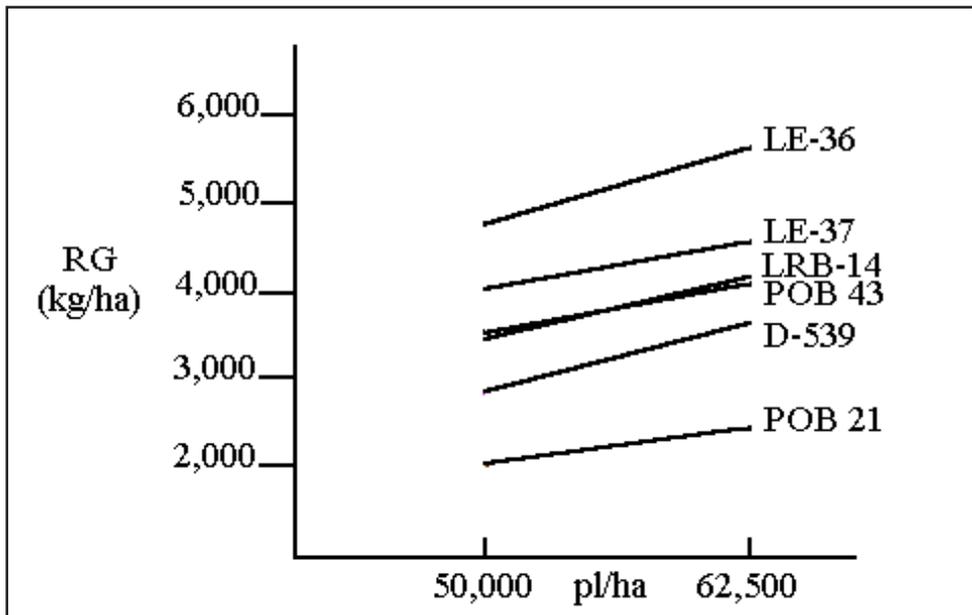


Figura1. Efecto aditivo de la interacción LxD sobre el rendimiento de grano.

POB 43 obtuvo los mayores valores y que no se vio afectada por la densidad, como pasó con LE-36, que disminuyó su peso volumétrico y severamente su porcentaje de germinación al incrementarse ésta; sin embargo, lo más relevante fue que todas las líneas aumentaron su rendimiento de grano con el incremento de la densidad de población (Figura 1), lo cual concuerda con lo encontrado por Rutger (1971), que al comparar líneas de maíz y sus cruza simples bajo tres densidades de población, el rendimiento individual más alto para las líneas se logró con 62 mil pl/ha.

No hubo efecto depresivo de la densidad de población en la sanidad de planta y mazorca, debido a que la arquitectura de planta y el arreglo topológico permitieron que no hubiera efecto de sombreo que favoreciera el desarrollo de enfermedades. El efecto del N en la madurez fisiológica de las líneas fue de un día, excepto para LE-36 que se mantuvo en 98 días, y en el peso del grano que no pasó la criba 20R; sólo LE-37 y LRB-14 respondieron a la dosis alta. La influencia del P en el peso del grano que no pasó la criba 20R, peso de 200 granos y porcentaje de germinación fue muy marcada, donde para las primeras dos variables fue mejor aplicar 46 kg de P_2O_5 ha⁻¹, no así para la POB 21 y POB 43, que lograron responder a una mayor fertilización fosfatada; esta última línea sólo lo hizo para el peso de 200 granos. Por otro lado, LE-36 y LE-37, aumentaron su porcentaje de germinación con el incremento de P, mientras que con la aplicación de K se favoreció el peso volumétrico de LE-36, LE-37 y POB 43.

CONCLUSIÓN

Las líneas únicamente presentan similitud estadística en sanidad de planta y de mazorca, número de mazorca podrida que fueron buenas y madurez fisiológica, que las cataloga como de ciclo intermedio.

LE-36 obtuvo el mayor rendimiento de grano, sin embargo, presentó la mayor altura de planta y número de mazorcas con mala cobertura, características indeseables para la zona tropical húmeda y región costera del golfo, así como el más bajo porcentaje de germinación, por lo que la pone en un segundo término con respecto a LE-37 y LRB-14, que también presentaron buenos rendimientos y mejores características agronómicas.

No hubo respuesta para rendimiento de grano a las dosis altas de N-P-K, sin embargo, la combinación de cada macronutriente en su nivel alto con 62,500 pl ha⁻¹ mejoró la calidad física y fisiológica del grano que se refleja en un mayor peso, tamaño y porcentaje de germinación, por lo que, en general, el tratamiento con el que se obtuvo un alto rendimiento y calidad de grano, fue el 16 (62, 500-184-69-60).

Las floraciones y su sincronía no se vieron alteradas, desde el punto de vista de la producción de semilla, por efecto de las densidades y las dosis de fertilización aplicadas.

Todas las líneas incrementaron su rendimiento de grano al aumentar la densidad de población, aunque la POB 21 lo hizo en menor escala.

El incrementar el número de plantas por unidad de área provocó un decremento en la calidad física y fisiológica del grano, principalmente en LE-36, ya que LRB-14, POB 21 y POB 43, poco se vieron afectadas; sin embargo, dicho abatimiento se contrarrestó

con un balance nutricional de cada línea.

LITERATURA CITADA

- Aguilar, A.J.L. 1990. Pronamat Científico: objetivos, operación y resultados en memoria del curso teórico-práctico de capacitación sobre el cultivo de maíz. Mayo 1990. México, D.F. pp. 3 y 4. MEXICO.
- CIAT. 1983. Metodología para obtener semillas de calidad: arroz, maíz, frijol y sorgo. Unidad de semillas del CIAT: Cooperación Comité Técnico Regional de Semillas de América Central y el Caribe. Serie CIAT 07 SSE (1) 83. pp. 3, 4, 6 y 9. Cali, COLOMBIA.
- Espinosa, C.A. y M. Tadeo R. 1990. Tecnología de producción de semillas del híbrido de cruza doble de maíz H-137 de Valles Altos. Resúmenes del XIII Congreso Nacional de Fitogenética. Escuela Superior de Agricultura «Hermanos Escobar», Cd. Juárez, Chih. p. 370. MEXICO.
- Espinosa, C.A. 1993. Tecnología de producción de semillas de maíz en México. En memoria de primer Simposium internacional de maíz en la década de los noventa. Zapopan, Jal. Marzo de 1993. p. 27. MEXICO.
- INIA. 1977. Instructivo para la toma de datos y cosecha de los ensayos de rendimiento de maíz. CAECOT. CIAGOC. INIA. SARH. pp. 5-12. MEXICO.
- PPI. 1988. Manual de fertilidad de suelos. Primera reimpresión en español. Norcross, Georgia. pp. 44 - 46. USA.

Reyes, C.P 1978. Diseño de experimentos aplicados. Trillas. México, D.F. pp. 299, 300. México.

Rutger, J.N. 1971. Effect of plant density on yield of inbred lines and single crosses of maize (*Zea mays L.*) Crop Sci. 11: 475-476. USA.

Sierra, M.M., J.J. Alcázar A., R.E. Preciado O., F.A. Rodríguez M., J.J. Martínez C. y S. Melo M. 1986. Análisis integrado de subproyectos de investigación del programa de maíz del CIAGOC. CAECOT-CIAGOC-INIFAP. SARH. Veracruz, Ver. México.