

RESPUESTA DE DOS CULTIVARES DE MAÍZ A LA DENSIDAD DE PLANTAS, BAJO DOS NIVELES CONTRASTANTES DE NITRÓGENO. PANAMÁ, 1993 - 1994.

**Román Gordón M.¹; Ismael Camargo ²; Jorge Franco ³;
Andrés González ³**

RESUMEN

Se establecieron tres ensayos de maíz en dos años (1993-1994), localizados en Río Hato y El Ejido, República de Panamá. El diseño experimental utilizado fue el de Bloques Completos al Azar en un arreglo de parcelas sub-sub-divididas con tres repeticiones. La parcela principal lo constituyó los niveles de N (75 y 150 kg/ha). En las sub-parcelas se ubicaron las dos densidades (3.3 y 7.4 plantas/m²), mientras que en las sub-sub-parcelas se sembraron los cultivares evaluados (P-8916 y X-304C). El objetivo de este ensayo fue el de describir los parámetros fisiológicos y fenológicos estándares relevantes en el entendimiento de la elaboración del rendimiento en los cultivares de mayor uso en las siembras comerciales del país, así como obtener una respuesta a densidad bajo dos niveles contrastantes de nitrógeno. La alta densidad redujo principalmente el tamaño de las mazorcas (de 112.1 a 69.4 g). Se observó que la densidad óptima de plantas aumentó considerablemente, cuando el nivel de N subió de 75 a 150 kg/ha, en todos los cultivares. De acuerdo a los resultados del análisis estadístico de este experimento, se observó una interacción significativa entre la densidad con los cultivares y entre la densidad con la dosis de N aplicada para las variables peso de mazorca, llenado de granos, sincronía floral (ASI) y mazorcas por planta. La sincronía floral aumentó al incrementarse la población de plantas. Factores como el índice de cosecha y número final de hojas, número de hojas de la mazorca no fueron afectados por los cambios en las densidades.

¹ Ing. Agrónomo, M.Sc.; ² Ph.D.; ³ Agrónomo, Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá, Centro Regional Agropecuario de Azuero. Idiap_azu@cwpanama.net

PALABRAS CLAVES: Maíz; *Zea mays*; densidad; nitrógeno; sincronía foliar; aplicación de abonos; Panamá.

TWO CORN CULTIVARS RESPONSE TO DIFFERENT PLANTS DENSITIES UNDER TWO CONTRAST LEVELS OF NITROGEN, PANAMA, 1993-1994.

In two consecutive years (1993-1994) were planted three trials, localized in Rio Hato and El Ejido, Republic of Panama. The experimental design was Completely Randomized Block in a split-split plot with three replications. The main plots were the Nitrogen rates (75 and 150 kg N/ha). In the split plots were put the plants densities (3.3 and 7.4 plants/m²), while, the cultivars were planted in the split-split plots (P-8916 and X-304C). The trial's objective was to describe the physiological and phenological standards parameters involved in the yield's elaboration, of the two principal cultivars sowed in Panama. In second place, to determine the corn yield response under two contrast rates of nitrogen. The high densities decreased the ears size (from 112.1 to 69.4 g). The optimal number of plant in all cultivars increased when the nitrogen levels improved from 75 to 150 kg/ha. According to statistical analysis, the cultivar-density interaction and density-nitrogen rates interaction was significative by variables: ear weight, anthesis silking interval (ASI), filling kernels and ears/plants. The ASI increased when the plant population increased. Factor like harvest index, leaves final number and ear's leaf number didn't affect the densities plants changes.

KEY WORDS: Maíz; *Zea mays*; density; nitrogen; foliar sincrony; application of fertilizer; Panama.

INTRODUCCIÓN

Trabajos realizados recientemente por Bolaños (1993) indican que los parámetros fenológicos y fisiológicos que explican en parte las bases del

progreso de los cultivares que se han liberado en Centro América, incluyendo Panamá, se basan más en la duración de la fase del llenado de grano y no de la eficiencia o la capacidad que tiene cada cultivar para aumentar el

peso de grano por unidad de tiempo. En este estudio se encontró que cada día adicional de llenado, del promedio de todas los cultivares, incrementó los rendimientos en 100 kg/ha para las variedades de polinización libre (VPL) y 150 kg/ha para los híbridos. Estos últimos superaron a VPL en 1.5 a 2.0 t/ha. Esta diferencia se basó en que la tasa de crecimiento de la mazorca es mayor en los híbridos que en las variedades (2.64 vs 2.11 g/día). También se detectó una fuerte relación negativa entre la duración del llenado y la madurez. Estos datos sugirieron que prolongar la fase de llenado de grano es un método efectivo para incrementar el rendimiento.

Algunos autores sostienen que la tolerancia a la densidad ha sido una de las causas del aumento de los cultivares modernos (Pandey y Gardner, 1992; Fischer y Palmer, 1984). Se ha encontrado que la baja densidad es una de las razones primordiales de los bajos rendimientos de maíz encontrados en los trópicos (Bolaños y Barreto,

1991; Bolaños y col., 1993a). Una manera de evaluar la densidad óptima del cultivo de maíz ha sido el modelo de Duncan (1958), en donde se establece que el rendimiento por planta decrece de manera exponencial con la densidad (plantas/m²). Esta relación tiene una base teórica sólida y ha sido ampliamente validada y documentada en la literatura con muchos cultivares y en diversos ambientes (Fery y Janick, 1971; Duncan, 1984; Bolaños y col., 1993b).

Una de las conclusiones del método de Duncan (1958) posibilita evaluar la respuesta a densidad de cualquier cultivar de maíz con solamente dos niveles de densidad, ya que sólo se necesitan dos puntos para establecer una relación lineal. La solidez de la respuesta dependerá de la solidez de los dos puntos obtenidos. Para mejor interpolación, normalmente estas dos densidades se establecen para que estén a ambos lados del nivel óptimo, pero aún dentro de un rango apropiado agrónomicamente.

Por su parte, el uso del nitrógeno es considerado como esencial en la producción del maíz. A través de muchos estudios se ha podido documentar la importancia de este elemento, así como la respuesta positiva de este cultivo a la aplicación de diferentes fuentes que contienen este elemento. Gordón y col. (1991; 1992) encontraron que el nivel óptimo económico de la aplicación de este elemento varió de 125 a 197 kg/ha, en los lugares en donde se realizaron estos experimentos.

El objetivo general de este ensayo fue el de describir los parámetros fisiológicos y fenológicos estándares relevantes en el entendimiento de la elaboración del rendimiento en los cultivares más importantes o de mayor uso en las siembras comerciales del país; así como obtener una respuesta a densidad bajo dos niveles contrastantes de fertilidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se establecieron tres ensayos de maíz, dos a inicios del mes

de septiembre de 1993 y uno en 1994. Uno de los ensayos estuvo localizado en la Finca Experimental de Río Hato en Coclé y los otros dos, en la Finca Experimental de El Ejido en la Región de Azuero.

El diseño experimental utilizado fue el de Bloques Completos al Azar en un arreglo de parcelas sub-divididas con tres repeticiones. La parcela principal lo constituyó los niveles de N (75 y 150 kg/ha). En las sub-parcelas se ubicaron las dos densidades, mientras que en las sub-sub-parcelas se sembraron los dos cultivares evaluados. Las dos densidades evaluadas fueron de 3.3 y 7.4 plantas/m². Para lograr estas densidades se sembró el maíz a 0.75 m entre hileras y la distancia entre plantas varió de 0.18 m (7.4 pl/m²) a 0.40 m (3.3 pl/m²). Los cultivares evaluados fueron el híbrido nacional P-8916 y el híbrido importado X-304C.

Las unidades experimentales estuvieron conformadas por cinco surcos de 5.0 m de largo, de los cuales, los tres surcos centrales

constituyeron la parcela efectiva. En cada golpe de siembra se dejó una sola planta. El control de malezas se realizó con la mezcla de atrazina más pendimentalina a razón de 1.5 + 1.5 kg i.a./ha, con posteriores limpiezas manuales por escapes del control de algunas malezas. La fertilización consistió de la aplicación de 60 kg de P O / ha al momento de la siembra.² La fertilización nitrogenada (urea) se realizó aplicando la mitad de la dosis al momento de la siembra y la otra mitad a los 30 días después de la siembra (dds).

Para las mediciones solamente se usaron plantas en los tres surcos centrales sin tomar en cuenta las dos hileras de plantas de los extremos. A los 10 días después de la germinación se marcaron con pintura blanca 12 plantas por parcela, cuando aún la hoja número cinco era reconocible. Posteriormente, se volvió a pintar de blanco la hoja número 10. Después de la floración, se contó el número final de hojas por planta (NFH), contando desde la hoja número 10 (marcada), así como el número de

la posición de la hoja de la mazorca (NHMZ).

Antes de la floración y después que el 10% de las espigas eran visibles, se visitó la parcela cada 2 a 3 días y se determinó la fecha a 50% de floración masculina y femenina (DAFM y DAFF). El intervalo entre la antesis y la emisión de los estigmas (ASI) se calculó como la diferencia entre DAFF y DAFM. Con el mismo procedimiento de visitas continuas antes de la cosecha, se determinó los días al 50% de madurez fisiológica (DMF). La presencia de capa negra se tomó en plantas de los surcos bordes. La duración del llenado de grano se calculó como la diferencia entre DMF y DAFF.

Al momento de la cosecha se tomaron los datos de rendimiento de grano y de biomasa y el número de mazorcas y plantas cosechadas. El índice de cosecha (IC) se calculó como la proporción de grano de la biomasa total. El rendimiento de grano se uniformizó al 15% de humedad y se calcularon los componentes de

rendimiento estándares (Bolaños y Barreto, 1991). Se efectuó un análisis de varianza por localidad y uno combinado a través de las dos localidades.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la prueba de homogeneidad de las varianzas entre las tres localidades, se encontró que las varianzas para las variables estudiadas eran homogéneas. Debido a esta homogeneidad, los datos se analizaron de manera combinada y no individual para cada localidad. En el Cuadro 1 se observa el análisis combinado de todas las variables analizadas.

Efecto de Cultivares

El análisis de varianza indicó que hubo diferencias altamente significativas entre los cultivares, en relación con los componentes del rendimiento y a los parámetros fisiológicos y morfológicos evaluados.

El mayor rendimiento se obtuvo con el X-304C (4.81 t/ha),

seguido por el P-8916 (4.30 t/ha). Los valores del índice de cosecha mostraron diferencias altamente significativas y alcanzó su máximo valor en el híbrido X-304C con 44.8%. La duración entre la floración masculina y la femenina (ASI) fue similar para los dos híbridos (1.6 días).

La duración del llenado de grano difirió significativamente entre todos los cultivares, siendo el X-304C el cultivar con mayor duración de llenado (44.5 días), mientras que el P-8916 fue de 42.4 días. Con relación a la tasa de crecimiento de la mazorca, es decir, la eficiencia del llenado (este número sólo incluye el crecimiento del grano, excluyendo la tuza y las hojas de la mazorca), se encontró que fue de 2.0 y 2.11 g/día para los híbridos P-8916 y X-304C, respectivamente (Cuadro 2).

Analizando estos parámetros en su conjunto, se puede inferir que el mayor rendimiento del híbrido X-304C se debió a su mayor período de llenado del grano y a su mayor tasa de cre-

CUADRO 1. CUADROS MEDIOS DE LAS PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS EVALUADAS EN EL ENSAYO DE RESPUESTA DE CUATRO CULTIVARES DE MAÍZ A LA DENSIDAD DE PLANTAS BAJO DOS NIVELES CONTRASTANTES DE NITRÓGENO. PANAMÁ.

F. de Variación	g.l	Cuadros Medios									
		RendG	PMz	MxP	Ind	LLg	ASI	RendR			
Loc	2	7.78**	2625.1**	0.0059**	15.66*	3.01	1.76*	21.41***			
Rep(Loc)	4	0.51	158.0	0.0012	3.02	5.76	0.07	0.03			
Loc x Nit	1	0.72	110.4	0.00001	22.45	1.26	1.76*	1.57			
Nit	2	0.57	183.6	0.0002	0.14	8.76*	0.26	0.62 ^a			
Rep (Nit)	2	0.19	72.8	0.0012	4.43	0.38	0.13	0.20			
Den	1	4.46*	33800.0***	0.1169***	82.31*	27.09*	5.51*	40.71**			
Den x Nit	2	0.85	70.7	0.0031	3.85	10.01	3.01	0.45			
Loc x Den	2	0.96	315.9**	0.1445**	20.68*			7.51**			
Loc x Den x Nit	2	0.06	12.4	0.0004	0.94			0.16			
Rep (Den)	1	0.46	65.0	0.0014	3.34	1.78	0.38	0.36			
Var	1	4.34***	3872.8***	0.0247**	226.79***	52.62***	2.14***	7.09***			
Var x Nit	1	0.04	15.1	0.0148	0.89	7.68***	0.54*	0.05			
Var x Den	1	0.19	1369.8***	0.510***	5.71	3.56**	0.62*	0.37			
Var x Den x Nit	1	0.003	20.9	0.0028	14.55**	2.31*	3.12**	0.26			
LocxVar x Den x Nit	8	0.37*	93.2***	0.0166***	11.72***			0.41			
Error		0.15	57.6	0.0038		0.90	0.23	0.64			

* ** *** se refieren a diferencias estadísticas al 5, 1 y 0.1%, respectivamente.

CUADRO 2. PROMEDIO DE LAS PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LOS CULTIVARES EVALUADOS EN EL ENSAYO DE DENSIDAD POR NITRÓGENO, PANAMÁ.

Cult.	P-8916	X-304C
RendG (t/ha)	4.30	4.81
RendR (t/ha)	5.39	4.80
Pmz (g)	84.00	98.30
Maz/pta	1.04	1.00
LL G (días)	42.40	44.50
ASI (días)	1.67	1.62
Ind	41.30	44.80
Ef LL G	2.00	2.10
NHMz	13.80	13.80
NFH	19.80	19.00

RendG= Rend. de grano Maz/pta= Mazorcas por planta
 RendR= Rend rastrojo ASI= Intervalo antesis floración
 Pmz= Peso de mazorca EfLLG= Eficiencia de llenado de grano
 LLG= Llenado de grano NFH= Número final de hojas
 Ind= Índice de cosecha NHMz= Número de hoja de la mazorca

t/ha, con algunas variaciones entre cultivares. La alta densidad redujo principalmente el tamaño de las mazorcas (de 112.1 a 69.4 g). Esta reducción del peso de la mazorca es la base de la relación exponencial del modelo de Duncan. De acuerdo a los resultados obtenidos y a los coeficientes de regresión

logrados, el modelo de Duncan funciona correctamente y con alta precisión.

cimiento de la mazorca. Con relación al P-8916 se encontró que ambos valores son menores, lo que se traduce en un menor tamaño de la mazorca.

Efecto de la Densidad

El Cuadro 3 muestra los principales parámetros de regresión obtenidos, así como la población de plantas que optimiza el rendimiento para cada variedad, según el nivel de N aplicado. Se observó que la densidad óptima de plantas se incrementó considerablemente, cuando el nivel de N aumentó de

Las densidades promedios finales obtenidas en este ensayo para los dos cultivares fue de 3.62 y 7.39 plantas/m², con rendimientos asociados de 4.30 y 4.82

75 a 150 kg/ha, en ambos cultivares. Este resultado indica, que a densidades altas es necesario aumentar la dosis de N aplicada para lograr buenos rendimientos. En ambos niveles de N se encontró que la población óptima de plantas es mayor en el X-304C. Esto se puede explicar por el tipo de arquitectura que presenta este híbrido, el cual es de hojas más angostas, lo que se traduce en un menor rendimiento de rastrojo al final de la cosecha, permitiendo un mayor número de plantas por hectárea.

De acuerdo a los resultados del análisis estadístico de este experimento, se observó una interacción significativa entre la densidad con los cultivares y entre la densidad con la dosis de N aplicada para las variables peso de mazorca, llenado de granos, ASI y mazorcas por planta (Cuadro 1). Con respecto al peso de las mazorcas, se observó que el X-304C es el cultivar en donde la reducción del peso fue más pronunciada al aumentar la densidad (diferencia de 51.8 g/mazorca), mientras que para el

CUADRO 3. PARÁMETROS DE REGRESIÓN ENTRE EL LOGARITMO DEL RENDIMIENTO POR PLANTA Y LA DENSIDAD DE CUATRO CULTIVARES DE MAÍZ, SEGÚN DOS NIVELES DE NITRÓGENO, PANAMÁ.

75 kg N/ha				
Cultivar	Intercepto	Pend	R ²	Opt/m ²
P-8916	5.388	-0.181	0.85	5.52
X-304C	5.437	-0.172	0.77	5.81
150 kg N/ha				
Cultivar	Intercepto	Pend	R ²	Opt/m ²
P-8916	5.274	-0.153	0.83	6.53
X-304C	5.379	-0.149	0.84	6.71

P-8916, se presenta una reducción, pero, la misma es de menor magnitud (diferencias menores de 34.1 g/mazorca). En la duración del llenado de granos, se observó que todos los cultivares redujeron este período al aumentar la densidad (Cuadro 4).

Otro factor que se vio afectado por la densidad de plantas fue la sincronía floral (ASI), la cual aumentó al incrementarse la población de plantas. El material más susceptible al cambio de densidad fue el X-304C, el cual aumentó de 1.2 a 2.1 días, por el aumento de la densidad. Para el cultivar nacional, a pesar de aumentar el período entre las dos floraciones (masculina y femenina) por el efecto de la densidad, este aumento fue menor a un promedio de 0.4 días. Cuando se analizó esta variable (ASI) sin estrés de N; es decir, que la dosis aplicada de N fue alta (150 kg N/ha), el aumentar la densidad de población, ocasionó un aumento de la duración del ASI. Por el contrario, este valor no se afectó al evaluarlo con dosis baja de N. (Cuadro 5).

Este experimento mostró que ambos cultivares, al aumentar la dosis de N aplicada, el valor del ASI tiende a ser igual o ligeramente mayor. Por su parte, a densidades altas, la sincronía foliar no es afectada al aumentar la dosis de N, es decir, el período entre las dos floraciones no se incrementa al aumentar la dosis de N.

Según los datos obtenidos en este ensayo, se observó que cuando se evaluó en presencia de un estrés de N (75 kg de N/ha), el aumentar la densidad disminuyó el número de mazorcas por planta, es decir, que se observó un mayor número de plantas sin mazorcas al momento de la cosecha, mientras que, cuando este elemento no es una limitante (150 kg N/ha), el aumento de la densidad no afectó este parámetro (Cuadro 5). Factores como el índice de cosecha y número final de hojas, número de hojas de la mazorca no se vieron afectados por los cambios en las densidades.

CUADRO 4. PROMEDIO' DE LAS PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS ENCONTRADAS SEGÚN CULTIVAR X DENSIDAD, PANAMÁ.

Cultivares	Densidades	
	Baja	Alta
	Peso de Mazorcas (g)	
P-8916	100.6	66.5
X-304C	124.2	72.4
Llenado de Grano (días)		
P-8916	42.4	42.3
X-304C	45.5	43.6
ASI (días)		
P-8916	1.5	1.8
X-304C	1.2	2.1
Mazorcas/planta		
P-8916	1.10	0.98
X-304C	1.02	0.99

CUADRO 5. PROMEDIO DE LAS PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS ENCONTRADAS SEGÚN CULTIVAR X DOSIS DE NITRÓGENO. PANAMÁ.

Cultivares	kg de Nitrógeno	
	75	150
	Peso de Mazorcas (g)	
P-8916	81.2	87.0
X-304C	90.1	96.4
Llenado de Grano (días)		
P-8916	42.5	42.3
X-304C	45.5	43.6
ASI (días)		
P-8916	1.6	1.8
X-304C	1.6	1.7
Mazorcas/planta		
P-8916	1.04	1.01
X-304C	1.00	1.03

CONCLUSIONES

- ◆ El modelo de Duncan (1958), basado en el decrecimiento exponencial del rendimiento por planta con el aumento de la densidad, funcionó de manera adecuada en este experimento.
- ◆ El factor que más se afectó por el aumento de la densidad fue el tamaño de la mazorca, esta reducción en peso por mazorca fue de 112.1 a 69.4 g.
- ◆ La densidad óptima de población de plantas depende directamente de la dosis de N aplicada. La población óptima para los híbridos P-8916 y X304C fue de 5.52 y 5.81 pt/m², cuando la dosis de N fue de 75 kg/ha. Cuando se aplicó 150 kg N/ha, la densidad óptima aumentó a 6.53 y 6.71 pt/m², para ambos híbridos, respectivamente.
- ◆ La reducción de la densidad de plantas en el híbrido X-304C indujo a una disminución entre la floración masculina y la floración femenina de 2.1 a 1.2 días; es decir, que al reducir la densidad se redujo los días entre las dos floraciones o se mejoró la sincronía floral.
- ◆ Cuando el cultivo está sometido a un estrés de Nitrógeno (N=75 kg/ha), se redujo 0.1 maz/planta con el aumento de la densidad (de 1.07 a 0.97 maz/planta). De no presentarse la deficiencia de este elemento (N=150 kg/ha), el número de mazorcas por planta se afectó 0.03, con el aumento de la densidad (de 1.02 a 0.99 maz/planta).

BIBLIOGRAFÍA

- BOLAÑOS, J.; BARRETO, H. 1991. Análisis de los componentes de rendimiento de los ensayos regionales de

- maíz de 1990. *En* Análisis de los Resultados Experimentales del PRM, 1990, Vol. 2. pp. 9-27.
- BOLAÑOS, J.; PÉREZ, J.; ZEA, J.; QUEMÉ, J.L.; FUENTES, M.; MENDOZA, C.; LÓPEZ, G. 1993a. Dinámica y variabilidad de los componentes de rendimiento en 28 parcelas de maíz en Centro América. *En* Síntesis de los Resultados Experimentales del PRM 1992, Vol. 4. pp. 187-197.
- BOLAÑOS, J. 1993. Bases fisiológicas del progreso genético en cultivares del PRM. *En* Síntesis de los Resultados Experimentales del PRM 1992, Vol. 4. pp. 11-19.
- BOLAÑOS, J.; OBANDO, M.; URBINA, R.; MENDOZA, M. 1993b. Respuesta a densidad en cultivares del PRM. *En* Síntesis de los Resultados Experimentales del PRM. 1992, Vol. 4. pp. 20-26.
- DUNCAN, W.G. 1958. Corn response to density. *Agronomy Journal* 43: 23-32.
- DUNCAN, W.G. 1984. A theory to explain the relationship between corn population and yield. *Crop Science* 24: 1141-1145.
- FERY, R.L.; JANICK, J.; 1971. Response of corn (*Zea mays* L.) to population pressure. *Crop Science* 11: 220-224.
- FISCHER, K.; PALMER, A. 1984. Tropical maize. *In* P.R. Goldsworthy and N.M. Fischer (eds). *The Physiology of Tropical Crops*. John Wiley and Sons, New York. pp. 231-248.
- GORDÓN, R. y col. 1992. Evaluación de la respuesta física y económica al nitrógeno fósforo y potasio en el cultivo de maíz en la Región de Azuero, Panamá, 1991. *En* Síntesis de los Resultados Experimentales del Programa de Maíz de Panamá. 1991-1992. pp. 135-141.

GORDÓN, R. y col. 1991. Evaluación de la respuesta física y económica al nitrógeno y fósforo en tres localidades de Azuero en el cultivo de maíz, Panamá, 1990. *En* Resultados de investigación. 10 p. (en edición).

PANDEY, S.; GARDNER, C.; 1992. Recurrent selection for population, variety and hybrid improvement in tropical maize populations. *Crop Science* 48: 1-87.