

**DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD ÓPTIMA DE PLANTAS
DE LOS CULTIVARES DE MAÍZ P-9490, CB-HS-8GM2 Y
X-1358K. AZUERO, PANAMÁ, 1998.**

Román Gordón M.¹; Andrés González²; Jorge Franco²

RESUMEN

Se establecieron tres ensayos ubicados en tres áreas productoras de maíz de la Región de Azuero. El objetivo de este ensayo fue el de evaluar la respuesta de tres cultivares comerciales de maíz a la densidad de plantas. Los cultivares evaluados fueron el nuevo híbrido nacional P-9490 (IDIAP) y los híbridos importados CB-HS-8GM2 (Cristiani Burkard) y X-1358K (Pioneer). El diseño experimental utilizado fue el de bloques completos al azar con tres repeticiones en un arreglo de parcelas divididas. Las densidades evaluadas fueron de 2.96, 6.06 y 8.88 plantas/m². La alta densidad redujo principalmente el tamaño de las mazorcas en los tres cultivares. Otro factor que se vio afectado con el aumento en población fue la cantidad de mazorcas por planta. Al aumentar la población de plantas se observó un mayor número de plantas sin mazorca. Al calcular la población de plantas que optimizó el rendimiento de grano para cada cultivar, se encontró que la misma varió en las tres localidades. Los valores más altos se encontraron en Santo Domingo, mientras que, los más bajos se ubicaron en Paraíso de Las Tablas. Se encontró que para el P-9490 la población que optimizó los rendimientos oscila entre 5.47 a 9.54 plantas/m², mientras que para el CB-HS-8GM2 estos valores oscilaron entre 6.84 a 8.84 plantas/m². El híbrido X-1358K varió entre 8.28 a 9.22 plantas/m². El análisis combinado de las tres localidades indicó que la población óptima de los tres híbridos fue de 7.95, 6.46 y 8.72 plantas/m² para los híbridos CB-HS-8GM2, P-9490 y X-1358K, respectivamente ($R^2 = 0.88, 0.78$ y 0.87 , para cada regresión).

PALABRAS CLAVES: *Zea mays*; espaciamiento; variedades; fitomejoramiento; Panamá.

¹ Ing. Agrónomo, M.Sc., ² Agrónomo, IDIAP, Centro de Investigación Agropecuaria de Azuero "Ing. Germán De León", Los Santos, Panamá.

DETERMINATION OF THE OPTIMUM PLANT DENSITY OF CORN CULTIVATIONS, P-9490, CB-HS-8GM2 AND X-1358K. AZUERO, PANAMA, 1998.

There were established three corn trails located in three corn producing areas of the Azuero region. The objective of the study was to evaluate the response of three commercial corn cultivations to the plant densities. Corn cultivations were: new national hybrid P-9490 (IDIAP) and two imported hybrids CB-HS-8GM2 (Cristiani Burkard) and X-1358K (Pioneer). The experimental design used was completely randomized block design with three replications in a split-plot arrangement. Plant densities evaluated were 2.96, 6.06 and 8.88 plants/m². High density reduced mainly the ear sizes of the three cultivations. Another factor that was affected by high densities was the number of plants without ears. Calculated plant densities related to corn grain yield varied in the three locations. The highest yields were found in Santo Domingo, while the lowest yields were found in Paraiso of Las Tablas. The highest yields of P-9490 were found between 5.47 and 9.54 plants/m², while for CB-HS-8GM2 was between 6.84 and 8.84 plants/m². The highest yields for hybrid X-1358K was found between 8.28 and 9.22 plants/m². Combined analysis of the three locations indicated that optimum population of the three hybrids was 7.95, 6.46 and 8.72 plants/m² for CB-HS-8GM2, P-9490 and X-1358K hybrids, respectively ($R^2 = 0.88, 0.78$ and 0.87 for each regression).

INTRODUCCIÓN

La generación de nuevos cultivares con mayor potencial de rendimiento ha sido uno de los objetivos planteados por el IDIAP. Estos nuevos cultivares poseen características diferentes a los cultivares generados con anterioridad por el Programa de Mejoramiento. Situación similar sucede con la permanente introducción de nuevos materiales por las casas comerciales de semilla. Esta constante liberación de nuevos cultivares requiere de una continua adecuación de las prácticas agronómicas que garanticen la producción potencial de estos nuevos híbridos.

Pandey y Gardner (1992); y Fischer y Palmer (1984) sostienen que la tolerancia a la densidad ha sido una de las causas del aumento de los cultivares modernos. 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 (Rend/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).

Gordón y col. (1997) encontraron que la densidad óptima de población de plantas dependió directamente de la dosis de N aplicada, siendo la población óptima más alta a medida que aumentó la dosis de nitrógeno. 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).

El objetivo de este ensayo fue el de estimar la respuesta de tres cultivares comerciales de maíz a la densidad de plantas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se establecieron tres ensayos de maíz ubicados en tres zonas productoras de maíz de la Región de Azuero. Los experimentos fueron sembrados en: Paraíso (7° 40.9' N, 80° 09.7' O), San José (7° 40.5' N, 80° 14.1' O) y Santo Domingo (7° 44.7' N, 80° 12.8' O), todos en la provincia de Los Santos.

El diseño experimental utilizado fue el de Bloques Completos al Azar con tres repeticiones en un arreglo de Parcelas Divididas. Las parcelas principales lo constituyeron los tres cultivares evaluados (P-9490, CB-HS-8GM2 y X-1358K). En las subparcelas se sembraron las tres densidades de plantas (2.96, 6.06 y 8.88 plantas/m²). Para

lograr estas densidades se sembró el maíz a 75 cm entre hileras y la distancia entre plantas fue de 45, 22 y 15 cm, respectivamente.

Las unidades experimentales estuvieron constituidas de cuatro surcos de 5.0 m de largo. En cada golpe de siembra se sembró dos semillas, para luego ralea a una sola planta por golpe. El control de malezas se realizó con la aplicación de la mezcla de atrazina y pendimetalina a razón de 3.0 + 3.0 lt/ha. La fertilización fosfatada (SFT) consistió de la aplicación de 60 kg de P₂O₅/ha al momento de la siembra. La fertilización nitrogenada (urea) se realizó aplicando 10% de la dosis al momento de la siembra y dos aplicaciones posteriores de 40% cada una a los 20 y 40 días después de la siembra (dds). La cantidad de nitrógeno total aplicada fue de 130 kg/ha.

Para la toma de datos se utilizaron las plantas de los dos surcos centrales sin tomar en cuenta las dos hileras de plantas de los extremos (parcela efectiva). Para estimar el contenido de clorofila en la hoja de la mazorca se utilizó un clorofilómetro modelo SPAD-502, Minolta. Esta medida fue tomada en 10 plantas de la parcela efectiva al momento de la floración. Para el análisis físicoquímico del suelo, se tomó una muestra compuesta de 0-20 cm de profundidad en cada uno de los bloques. Las muestras fueron enviadas al Laboratorio

de Suelos del IDIAP para su análisis (Cuadro 1).

Al momento de la cosecha se tomaron los datos de rendimiento de grano y de biomasa y el número de mazorcas y plantas cosechadas, así como el porcentaje de plantas acamadas. 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 y de regresión para cada cultivar en las tres localidades y el combinado. Para el análisis de la variable porcentaje de acame, se utilizó la transformación de raíz cuadrada más un medio.

CUADRO 1. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS DE LOS SUELOS DE LOS ENSAYOS. AZUERO, PANAMÁ, 1998.

	Paraiso	San José	Santo Dgo.
pH	4.9	4.9	5.6
P	tr	tr	tr
K	86	78	78
Ca	1.22	2.18	1.78
Mg	0.53	1.76	1.5
Al	0.3	0.4	0.2
Mn	27	15	13
Fe	20	15	14
Zn	2	3	1
Cu	6	6	6
Text	44-22-34	34-18-48	33-17-50

P, K, Mn, Fe, Zn, y Cu = ug/ml
Ca, Mg y Al = meq/100ml

tr = Trazas

Text. = %

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 2 se observa el análisis de varianza del combinado, para las variables rendimiento de grano (RendG), plantas y mazorcas por metro cuadrado (Pm^2 y Mzm^2), peso de mazorcas (Pmz), mazorcas por planta (MxP), altura de planta (Altpt), porcentaje de plantas acamadas (Acame) y rendimiento de rastrojo (RendR).

Los promedios a través de cultivares del rendimiento de grano y demás componentes del rendimiento se observan en el Cuadro 3. El mayor rendimiento de grano se obtuvo con el cultivar CB-HS-8GM2 (6.36 t/ha) seguido por el X-1358 K (5.92 t/ha) y P-9490 (5.89 t/ha), aunque estas diferencias no fueron significativas. Este resultado está relacionado con el número de plantas y mazorcas por metro cuadrado, el cual fue superior en los dos primeros.

En relación con el porcentaje de plantas acamadas, se observó que el P-9490 fue el cultivar con mayor porcentaje de acame (14.9%), mientras que en el híbrido CB-HS-8GM2 este valor fue de 1.7%. Esta variable está muy relacionada con el tamaño de planta. Los resultados muestran que el híbrido X-1358K es el más pequeño de los tres, lo que puede reflejarse en su alta tolerancia al acame.

CUADRO 2. CUADRADOS MEDIOS DE LAS VARIABLES RENDIMIENTO DE GRANO, Y ALGUNOS DE SUS COMPONENTES DEL ENSAYO DE RESPUESTA DE DOS CULTIVARES DE MAÍZ A LA DENSIDAD DE PLANTAS. AZUERO, PANAMÁ, 1998.

F. de Variación	g.l.	Cuadros Medios									
		Rend G	Ptm ²	Mzm ²	Pmz	MxP	Altpl	Acame	RendR		
Loc.	2	2.583 ^{n.s.}	0.604 ^{n.s.}	0.092 ^{n.s.}	297.9 ^{n.s.}	0.162 ^{n.s.}	596.2 ^{n.s.}	0.033 [®]	6.028 ^{n.s.}		
Rep(Loc)	6	2.213	0.399	0.691	106.7	0.063	289.2	0.009	2.363		
Var	2	1.502 ^{n.s.}	0.868 ^{n.s.}	0.782 ^{n.s.}	1358.8 ^{**}	0.085 ^{n.s.}	6039.4 ^{**}	0.031 ^{n.s.}	25.68 ^{**}		
Loc x Var	4	1.434 ^{n.s.}	0.526 ^{n.s.}	0.763 ^{n.s.}	100.8 ^{n.s.}	0.005 ^{n.s.}	58.2 ^{n.s.}	0.012 ^{n.s.}	5.018 ^{**}		
Rep x Var (Loc)	11	0.759	0.232	0.607	71.69	0.049	42.5	0.013	0.741		
Den	2	29.956 ^{**}	217.4 ^{**}	124.72 ^{**}	22490 ^{**}	0.528 ^{**}	166.9 [*]	0.031 ^{**}	8.991 ^{**}		
Den x Var	4	0.589 ^{n.s.}	0.047 ^{**}	2.158 ^{**}	370.9 ^{n.s.}	0.120 ^{n.s.}	57.1 ^{n.s.}	0.009 ^{**}	1.276 ^{**}		
Loc x Var x Den	12	0.948 [®]	0.216 ^{n.s.}	0.517 ^{n.s.}	381.3 [®]	0.016 ^{n.s.}	83.4 ^{n.s.}	0.008 ^{**}	0.172 ^{n.s.}		
Error	112	0.557	0.451	0.408	211.9	0.059	55.9	0.001	0.352		
C.V. (%)		12.32	11.6	11.32	12.5	23.52	3.2	4.3	15.3		

®, **, * se refieren a diferencias estadísticas al 10, 5 y 1%, respectivamente.

CUADRO 3. PRINCIPALES COMPONENTES DEL RENDIMIENTO DE GRANO SEGÚN CULTIVARES. AZUERO, PANAMÁ, 1998.

Cultivares	HS-8GM2	P-9490	X-1358K
Pt/m ²	5.81	5.63	5.89
Mz/m ²	5.63	5.51	5.79
RendG	6.36	5.89	5.92
Altpt	237.4	239.1	212.4
% Acame	8.3	14.9	1.7
MxP	0.99	1.10	1.01
Pmz	123.5	111.8	111.3
Rendpt	124.1	123.8	113.7
RendR	2.74	4.36	4.53

De todas las variables evaluadas, en ninguna se observó diferencias estadísticas entre localidades. Se realizó una prueba de homogeneidad, resultando significativa, es decir, las varianzas en las tres localidades fueron homogéneas. En relación con el rendimiento de grano, se obtuvo que en Santo Domingo el rendimiento fue de 6.38 t/ha, seguido por el obtenido en San José (5.98 t/ha) y Paraíso (5.80 t/ha).

El número de plantas a la cosecha en el cultivar P-9490 fue de 2.59, 5.53 y 8.44 plantas/m² con rendimientos asociados de 4.69, 6.34 y 6.44 t/ha. En el híbrido X-1358K la disminución de plantas con respecto a la densidad de plantas sembradas al inicio fue menor

con promedios al momento de la cosecha de 2.83, 5.98 y 8.84 plantas/m² y rendimientos asociados de 4.38, 6.53 y 6.84 t/ha. Los valores de plantas encontrados al momento de la cosecha en el CB-HS-8GM2 fueron de 2.90, 5.65 y 8.57 plantas/m² con rendimientos promedios de 5.03, 6.65 y 7.22 t/ha, respectivamente (Cuadro 4).

En los tres cultivares evaluados, la alta densidad redujo principalmente el tamaño de las mazorcas. En el CB-HS-8GM2 se observó una mayor reducción, de 163.2 a 90.7 g. Este cultivar fue el que tuvo el mayor peso promedio de mazorca (163.2 g). Esta reducción del peso de la mazorca, es la base de la relación exponencial del modelo de Duncan.

CUADRO 4. PROMEDIO DE LAS PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS ENCONTRADAS SEGÚN DENSIDAD Y CULTIVARES. AZUERO, PANAMÁ, 1998.

Cultivares	CB-HS-8GM2			P-9490			X-1358K		
	15	22	45	15	22	45	15	22	45
Dist/plantas (cm)	8.57	5.65	2.90	8.44	5.53	2.59	8.84	5.98	2.83
Ptm ² a la cosecha	7.96	5.56	3.10	7.01	5.88	3.49	8.25	6.06	3.05
Mz/m ²	90.7	121.1	163.2	91.2	111.2	135.7	82.8	107.6	143.6
Pmz (g)	0.93	0.99	1.07	0.83	1.13	1.35	0.93	1.01	1.08
Mxp	241.1	233.5	238.1	241.7	236.0	240.0	214.4	213.3	209.4
Alt. de planta (cm)	12.9	8.4	3.1	24.5	14.7	4.5	3.2	0.9	0.9
Acame (%)	84.5	119.4	174.6	76.9	118.8	182.7	77.4	109.0	154.8
Rendpt (g)	7.22	6.65	5.03	6.44	6.34	4.69	6.84	6.53	4.38
RendG (t/ha)	3.09	2.68	2.42	4.46	4.90	3.56	5.20	4.94	3.44

Otro factor que es afectado con el aumento en población fue la cantidad de mazorcas por planta. Al aumentar la población de plantas, se observó un mayor número de plantas sin mazorca. Este factor se redujo a menos de una mazorca por planta en las densidades más altas, en cada uno de los tres cultivares evaluados.

El P-9490 fue el híbrido con mayor número de mazorcas abortadas, sugiriendo que es más afectado por las altas densidades. Esta situación puede ser considerada normal, tomando en cuenta que la mayoría de los cultivares tropicales no toleran altas poblaciones de plantas, ya que, son seleccionados a bajas densidades, por lo que, al ser sometidos a una densidad alta tienden a abortar la mazorca. Los híbridos X-1358K y CB-HS-8GM2 fueron los cultivares con menor respuesta a esta característica, ya que, en las tres poblaciones evaluadas (15, 22 y 45 cm) mantuvieron el número de mazorcas por planta similares (cerca de una mazorca por planta).

Con relación al porcentaje de plantas acamadas, se observó una alta relación y alta significancia estadística, entre la densidad y el porcentaje de acame. Se encontró que a medida que aumentó la pobla-

ción de plantas, mayor fue el porcentaje de plantas acamadas en los cultivares P-9490 y CB-HS-8GM2. El P-9490 presentó los porcentajes más altos, lo que sugiere mayor susceptibilidad al acame, debido a su mayor altura de planta, mientras que el X-1358K fue el de menor tamaño y menor porcentaje de plantas acamadas (Cuadro 4).

También se observó que la producción de forraje fue mayor en los híbridos X-1358K y P-9490. Al igual que en la producción de grano se observó que a medida que aumentó la densidad de población se produjo más biomasa por unidad de área.

El Cuadro 5 muestra los principales parámetros de regresión obtenidos

CUADRO 5. PARÁMETROS DE REGRESIÓN ENTRE EL LOGARITMO DEL RENDIMIENTO DE GRANO Y FORRAJE POR PLANTA Y LA DENSIDAD DE TRES CULTIVARES DE MAÍZ, AZUERO, 1998.

Cultivar	Rendimiento de grano				
	Intercepto	Pend	R ²	Opt/m ²	
HS-8GM2	5.502**	-0.1257**	0.88	7.95	
P-9490	5.605**	-0.1547**	0.78	6.46	
X-1358K	5.364**	-0.1147**	0.87	8.72	
Cultivar	Rendimiento de Forraje				
	HS-8GM2	4.747**	-0.1433**	0.63	6.97
	P-9490	5.374**	-0.1682**	0.75	5.94
	X-1358K	5.068**	-0.1129**	0.59	8.85

** se refiere a diferencias estadísticas al 1% de probabilidad.

tanto para la producción de grano como de forraje. También se presenta la población de plantas que optimiza el rendimiento para cada cultivar, por localidad y el promedio de las tres localidades. Estos resultados indican que el modelo de Duncan funcionó para predecir la respuesta de los tres cultivares a la densidad de plantas. Al calcular la población de plantas que optimizó el rendimiento de grano para cada cultivar se encontró que la misma varió en las tres localidades. Los valores más altos se encontraron en Santo Domingo, mientras que, los más bajos se ubicaron en Paraiso, en esta localidad se presentó el mayor porcentaje de acame de 14 porciento.

Se encontró que para el CB-HS-8GM2 la población que optimizó los rendimientos es de 7.95 plantas/m², mientras que para el P-9490 el óptimo fue 6.46 plantas/m². El híbrido X-1358K presentó una densidad óptima de 8.72 plantas/m², siendo ésta la más alta entre los tres cultivares evaluados. Este resultado se explica por ser la arquitectura de la planta de este híbrido más adaptada para las poblaciones altas (altura más pequeña).

Los coeficientes de regresión para la producción de forraje son muy buenos en general, a excepción de los encontrados para el X-1358K. Se puede observar que para este cultivar la densidad de plantas que optimiza el rendi-

miento de forraje al momento de la cosecha fue mayor que el encontrado para grano, mientras que para los otros dos híbridos la población disminuyó.

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 es en peso por mazorca.
- La densidad óptima de plantas de cada cultivar varió; la misma fue mayor para el híbrido X-1358K y menor para el híbrido nacional.
- El porcentaje de plantas acamadas fue mayor a medida que se aumentó la densidad de plantas.

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 Ex-

- perimentales del PRM. 1990. Vol. 2. pp. 9-27.
- BOLAÑOS, J.; PÉREZ, J.; ZEA, J.; QUEMÉ, J.; 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 corns (*Zea mays* L.) to population pressure. *Crop Science* 11:220-224.
- FISHER, 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. 1997a. Respuesta de dos cultivares de maíz a la densidad de plantas, bajo dos niveles contrastantes de nitrógeno en Panamá, 1993-95. *En Síntesis de Resultados Experimentales del PRM 1993-1995. Vol. 5* pp. 101-105.
- GORDÓN, R. 1993. Respuesta del maíz a la aplicación de diferentes dosis de nitrógeno en rotación con *Canavalia* y *Mucuna* bajo dos tipos de labranza, Río Hato, Panamá, 1992 - 93. pp. 106-110. *En* J. Bolaños y col. (Eds). *Síntesis de Resultados Experimentales del PRM. 1992. Vol. 4.* CIMMYT, Guatemala.
- PANDEY, S.; GARDNER, C. 1992. Recurrent selection for population, variety and hybrid improvement in tropical maize populations. *Crop Science* 48:1-87.