Influencia del Nitrógeno y de la Densidad de Plantas sobre la Producción de Maíz en el Oriente Argentino[1]

H. Vivas, R. Moresco*, S. Gambaudo**

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effect of applied nitrogen, plant population, and their interaction on corn yield. Eight field experiments were conducted during 1977/78 through 1981/82 on Argiudolls of the eastern region of Santa Fe province, Argentina. Four N rates, 0, 50, 100 and 150 kg/ha, and three plant populations, 47 000, 50 000 and 71 000 pl/ha were used in a factorial arrangement in a randomized complete block design, with three replications. No interaction between factors was observed. Six out of eight experiments showed a significant treatment effect, with applied N being the most important determinant. On the other hand, plant population was significant in only one experiment. Estimated average yield increments were 1 572 and 405 kg/ha for the quadratic and linear regression equations, respectively, with the addition of 50 kg N/ha. The highest estimated yield increments were observed when the fallow period was 83 days and the available N in the plow layer was 9 ppm NO_3^--N. No differences in yield enchancement were observed when the fallow period was 116 days or more and the fertility level was 24 ppm NO_3^--N or greater. Plant population was not a critical factor in determining corn yields under these experimental conditions.

COMPENDIO

Con el objeto de evaluar la influencia del agregado de nitrógeno, la densidad de plantas y su interacción sobre la producción de maíz, se realizaron ocho ensayos sobre Argiudoles del sector oriental de la Pampa Llana Santafesina, en la República Argentina, durante las campañas agrícolas 1977/78 a 1981/82. Los niveles de nitrógeno fueron 0, 50, 100 y 150 kg/ha y las densidades de plantas estudiadas 47 000, 57 000 y 71 000 pl/ha. Los 12 tratamientos resultantes se distribuyeron en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. En el 75% de las experiencias existieron diferencias para los efectos principales pero, en ningún caso, se observó interacción significativa. El nitrógeno fue determinante en todos los ensayos donde hubo respuesta, mientras que la densidad de plantas fue significativa sólo en uno de ellos. Los incrementos medios de maíz con el agregado de 50 kg de N/ha fueron de 1 572 y 405 kg/ha cuando las respuestas fueron cuadrática y lineal, respectivamente. En general, los mayores incrementos se observaron con longitudes medias de barbecho de 83 días y 9 ppm de N-NO_3^- en el suelo. No hubo diferencias entre tratamientos cuando el barbecho medio fue de 116 días y estuvo asociado a un contenido de fertilidad disponible de 24 ppm de N-NO_3^- en la capa arable. De la información obtenida surge que las densidades de plantas, en general, no fueron críticas para la producción de maíz bajo las condiciones estudiadas.

INTRODUCCION

El estudio de la influencia de distintos niveles de nitrógeno (N) con relación a diferentes densidades de plantas y el efecto de la interacción de los dos factores sobre la producción de maíz, constituye un aspecto importante para mejorar las recomendaciones a los productores y hacer más eficiente el uso del fertilizante.

En experiencias anteriores, Vivas *et al.* (19) encontraron respuesta al agregado de N en el 82% de los casos, con incrementos medios de rendimientos de 1 061, 1 286 y 1 493 hg/ha cuando se aplicaron 50, 100 y 150 kg de N/ha, respectivamente.

Los incrementos de producción no sólo pueden ser atribuidos al fertilizante sino también a las densidades de plantas y a otras prácticas de manejo (1). En un análisis de los factores que afectan la producción de maíz en el sudeste bonaerense, Berardo *et al.* (2), destacaron que la densidad de plantas a la cosecha fue el factor que incidió en mayor grado sobre los rendimientos, logrando explicar el 51% de la variación de los mismos.

Generalmente para un híbrido dado, el incremento de plantas por unidad de superficie provoca mayores rendimientos hasta que uno o más factores llegan a ser limitantes (17). Según estos autores, los principales factores resultaron ser la fertilidad del suelo y la humedad. Esto último fue observado, a su vez, por Prine (15) quien obtuvo los máximos rendimientos incrementando la densidad de plantas hasta 55 600 pl/ha cuando las condiciones de crecimiento fueron óptimas, mientras que, en condiciones de déficit hídrico, el máximo rendimiento se produjo con 33 300 pl/ha.

1 Recibido para publicación el 20 de marzo de 1987.
Los autores agradecen al Estadístico Oscar R. Quaino su participación en el análisis estadístico de los datos y al personal técnico de la Agencia Rural de Extensión de San Justo, su apoyo en la toma de datos de los experimentos.

* INTA, Estación Experimental Agropecuaria Rafaela. Casilla de Correos No. 22. (2300) Rafaela, provincia de Santa Fe, Argentina.

La limitante hídrica también fue observada por Lutz *et al.* (10) quienes estudiaron la variación de rendimientos con poblaciones que oscilaron entre 37 100 y 74 100 pl/ha. Para altas poblaciones de plantas, los rendimientos fueron directamente proporcionales a las precipitaciones recibidas.

Earley (5) demostró como la densidad de plantas y los niveles de N influyeron sobre las respuestas de maíz, incrementándose los valores a medida que aumentaban los niveles de ambos factores, alcanzando producciones de 11 500 kg/ha con 58 123 pl/ha. Duncan (4) observó similares efectos cuando los niveles de fertilidad fueron altos mientras que, en suelos de baja fertilidad, las respuestas fueron menos consistentes.

El uso de fertilizantes permite que la óptima densidad de plantas para obtener rendimientos máximos se incremente hasta llegar a un nivel por sobre el cual no se observarían nuevos incrementos en la producción. Así fue demostrado por Nuñez y Kamprath (13) quienes observaron importantes aumentos en los rendimientos de maíz entre 34 500 y 51 750 pl/ha, pero no entre este último nivel y 69 000 pl/ha. En esta experiencia, los autores lograron los máximos rendimientos utilizando 280 kg de N/ha.

También Novello *et al.* (12) observaron que las poblaciones óptimas, en función de los mejores rendimientos para las diferentes dosis de N agregadas, se fueron elevando de 55 000 a más de 70 000 pl/ha, conforme mejoraba el nivel de fertilidad del suelo por el agregado de fertilizantes. Además, con el uso de una dosis económica de N y una población de 50 000 – 55 000 pl/ha, obtuvieron un beneficio económico en el 75% de los casos.

Roads y Stanley (16), comparando densidades desde 30 000 a 90 000 pl/ha, observaron muy buen comportamiento del maíz con 60 000 pl/ha alcanzándose los máximos rendimientos con una dosis de 180 kg de N/ha.

La ausencia de datos, en el área de la Pampa Llana Santafesina Este, relacionados con este tema planteó la necesidad de realizar el presente trabajo, cuyo objetivo fue estudiar el efecto de los factores N aplicado y densidad de plantas sobre los rendimientos de maíz.

MATERIALES Y METODOS

Las experiencias fueron conducidas en los departamentos de San Justo y La Capital, de la provincia de Santa Fe, durante las campañas 1977/78 a 1981/82. En total, se realizaron ocho ensayos, los cuales se distribuyeron en el área de la Pamapa Llana Santafesina Este, caracterizada por suelos Argiudoles con buena aptitud agrícola, franco limosos en superficie y de mediano contenido de materia orgánica (2 - 3%).

Los tratamientos consistieron en la combinación de cuatro niveles de N, 0, 50, 100 y 150 kg/ha y tres densidades de plantas (D): 47 000, 57 000 y 71 000 pl/ha. Los 12 tratamientos resultantes se distribuyeron en un diseño en bloques completos al azar con tres repeticiones.

El tamaño de la unidad experimental fue de cuatro surcos de 10 m de largo distanciados a 0.70 m.

La siembra se realizó a mano para asegurar la densidad de plantas deseada. En todos los casos, se utilizó el híbrido Cargill R-120. Para el combate de malezas se aplicó atrazina como herbicida preemergente a razón de 2 400 g p.a./ha. El fertilizante en forma de urea (46% N) se aplicó en bandas a 5-7 cm de profundidad cuando las plantas alcanzaron 15-20 cm de altura y previo al escardillado.

En el momento de la siembra se realizó un muestreo del suelo (0-15 cm) con el objeto de determinar los niveles de nitrógeno total (Nt), nitrógeno de nitrato ($N\text{-}NO_3^-$), fósforo asimilable (P) y potasio asimilable (K) por las técnicas de Kjeldahl, Harper, Brag y Kurtz No. 1 y extracción con NO_3H 0.04 N, respectivamente. Además, para cada ensayo, se registró información referente a la duración del barbecho.

La cosecha se realizó manualmente en los dos surcos centrales por 8 m de longitud, expresándose posteriormente el rendimiento en kilogramos por hectárea (base 15% de humedad). A los resultados se les aplicó la técnica del análisis de la varianza para determinar el efecto de la interacción y de los factores principales sobre el rendimiento y las correspondientes funciones de regresión de los niveles de los factores sobre el mismo.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los datos analíticos del suelo y la longitud del barbecho se pueden observar en el Cuadro 1.

En el 63% de los ensayos realizados el contenido de Nt del suelo fue inferior al 0.13%. De acuerdo a lo observado por Vivas *et al.* (19), estos valores estarían asociados con respuesta significativa al agregado de N, lo cual fue confirmado en estas experiencias. Respecto al contenido de $N\text{-}NO_3^-$, la mayoría de los ensayos presentaron niveles inferiores a 20 ppm, valor por debajo del cual es factible esperar respuesta significativa al agregado de N (11, 12). Estos niveles de fertili-

Cuadro 1. Datos analíticos del suelo al momento de la siembra y longitud del barbecho.

Ensayo No. 1	Nt (%)	$N\text{-}NO_3^-$	P	K	Longitud del barbecho (días)
		(ppm)			
1	0.13	16	6	151	98
2	0.12	16	7	177	186
3	0.11	22	7	277	142
4	0.12	6	9	328	86
5	0.15	6	16	202	44
6	0.13	25	10	252	90
7	0.11	19	5	252	137
8	0.10	14	19	277	120

dad disponible equivalen a menos de 40 kg de N asimilable por ha en la capa estudiada, valores que, de acuerdo a lo observado por Gachon (6) y Olson y Kurtz (14), están muy por debajo de lo requerido por el cultivo de maíz.

Respecto al contenido de P asimilable, la mayoría de los ensayos se ubican en niveles ligeramente deficientes, entre 5-10 ppm de P (9). Los valores de K asimilable, los cuales oscilaron entre 151 y 328 ppm, pueden considerarse como muy altos para la producción de maíz (7).

En general la longitud del barbecho fue superior a los tres meses, a excepción del ensayo 5, con una duración de un mes y medio. Las variaciones que se observaron entre los valores de longitud del barbecho y el contenido de fertilidad disponible del suelo indicaron que, a pesar de contar con barbechos de hasta seis meses, no se lograron los niveles de fertilidad necesarios para alcanzar altos rendimientos. Ello podría deberse a diversos factores climáticos y de manejo entre los cuales debe destacarse el deficiente mantenimiento del barbecho.

Los resultados obtenidos se muestran en el Cuadro 2. En seis de las ocho experiencias realizadas (75%), hubo respuesta a los diferentes tratamientos, pero, en ningún caso se observó interacción significativa entre los factores N y D.

El N fue determinante en el 100% de los ensayos en los que se observó respuesta significativa, mientras que la densidad de plantas fue significativa sólo en uno de ellos (17%).

El N tuvo un efecto significativo cuadrático en tres ensayos y lineal en otros tres. Cuando el efecto fue cuadrático (Fig. 1a), el incremento medio calculado aplicando 50 kg de N6Ha fue de 1 572 kg/ha de grano. A tal incremento le correspondió un valor promedio de 83 días de barbecho, 9 ppm de $N\text{-}NO_3^-$ y 15 ppm de P. Cuando el efecto del N fue lineal (Fig. 1b), el incremento medio calculado fue de 405 kg/ha de grano, correspondiéndole en promedio 140 días de barbecho, 17 ppm de $N\text{-}NO_3^-$ y 6 ppm de P. En los ensayos donde las diferencias entre tratamientos no fueron significativas (3 y 6) la longitud del barbecho promedio fue de 116 días, el nitrógeno disponible de 24 ppm de $N\text{-}NO_3^-$ y el P de 8 ppm.

Los niveles potencialmente deficientes de P no fueron condicionantes de la respuesta del maíz al agregado de N. Esto fue corroborado anteriormente, en ensayos exploratorios realizados en la misma área

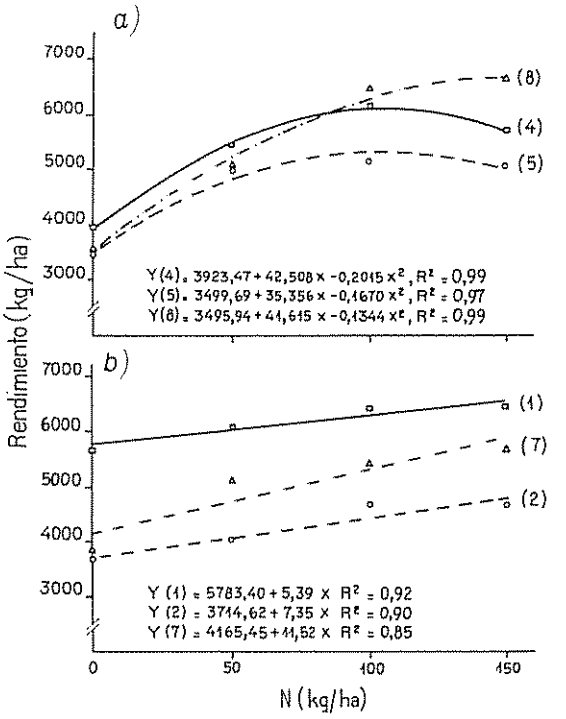

Fig. 1. Efecto del nitrógeno aplicado sobre los rendimientos de maíz. a) Funciones cuadráticas (ensayos 4, 5 y 8); b) funciones lineales (ensayos 1, 2 y 7).

Cuadro 2. Rendimientos promedio de maíz fertilizado con nitrógeno y con diferentes densidades de plantas, significancia del análisis de varianza y coeficientes de variación.

Ensayo No.	pl/ha x 1000	Dosis de nitrógeno				Factores			CV (%)
		0	50	100	150	N	D	NxD	
		(kg/ha)							
	47	5 482	5 744	6 042	5 964				
1	57	5 905	6 232	6 256	6 753	**	**	NS	6.96
	71	5 741	6 345	7 012	6 777				
	47	4 220	3 860	4 777	4 601				
2	57	3 408	4.419	4 330	4 616	**	NS	NS	12.98
	71	3 384	3 824	4 926	4 827				
	47	4 235	5 979	4 607	4 289				
3	57	5 426	5 607	5 191	5 235	NS	NS	NS	14.64
	71	4 926	5 786	6 226	5 890				
	47	4 137	5 345	6 185	4 557				
4	57	3 940	5 593	6 185	6 146	**	NS	NS	15.73
	71	3 780	5 438	6 366	6 506				
	47	3 827	5 060	4 959	5 155				
5	57	3 226	5 211	5 592	5 036	**	NS	NS	8.57
	71	3 271	4 803	5 021	5 122				
	47	4 875	4 926	5 152	4 940				
6	57	4 307	5 515	3 994	5 738	NS	NS	NS	23.17
	71	5 042	5 490	5 548	4 479				
	47	3 952	4 697	5 345	5 321				
7	57	4 190	5 851	5 595	6 077	**	NS	NS	15.26
	71	3 465	5 827	5 381	5 455				
	47	3 952	4 979	6 309	6 524				
8	57	3 196	5 098	6 494	6 847	**	NS	NS	11.32
	71	3 523	5 095	6 687	6 586				

**: Significativo al 1%; NS: no significativo; CV: Coeficiente de variación

por Vivas *et al.* (18), quienes probaron al N y al P en forma conjunta. La explicación de este hecho ha sido dada por Hein y Panigatti (8), quienes observaron una solubilización del P con el aumento de la temperatura del suelo, proceso que ocurriría durante el desarrollo del cultivo.

El factor densidad de plantas tuvo escasa incidencia sobre los rendimientos. Solamente en el ensayo 1 hubo diferencias entre las mismas. Las diferencias de rendimiento entre 71 000 pl/ha con respecto a 47 000 y a 57 000 pl/ha, fueron de 661 y 183 kg/ha de grano, respectivamente. En los ensayos 3 y 4 también se puede observar una tendencia a aumentar los rendimientos, pero los mismos no fueron estadísticamente significativos debido al error experimental relativamente alto.

Ante el comportamiento similar del factor densidad y teniendo en cuenta que el área estudiada está sujeta a periodos de sequía durante la floración del maíz, con el propósito de disminuir los riesgos del estrés hídrico, no es recomendable el uso de 71 000 pl/ha. Por otro lado, comparando las densidades restantes, surge el hecho de que, cuando no se utilizó fertilizante, los mayores rendimientos fueron más frecuentes (63%) con 47 000 que con 57 000 pl/ha.

Cuando se utilizó 50 kg de N/ha, dosis que, por otro lado, presentó la mayor eficiencia relativa de conversión, los mayores rendimientos se lograron con 57 000 pl/ha (88%) (Cuadro 2). Estos resultados son coincidentes con los obtenidos por Bonel *et al.* (3), quienes recomendaron, para el sur de la provincia de

Santa Fe, un rango de 50 000 – 60 000 pl/ha cuando el N disponible no fue un factor limitante.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos demostraron que los factores nitrógeno aplicado y densidad de plantas se comportaron en forma independiente.

El N agregado fue el principal determinante de los incrementos de rendimientos. Los mayores aumentos se obtuvieron cuando el efecto del fertilizante se ajustó a una función de tipo cuadrático, los que, a su vez, estuvieron asociados a la longitud del barbecho y a los niveles de nitrógeno disponible.

Las densidades de plantas no fueron críticas bajo las condiciones estudiadas ya que solamente en un ensayo el incremento de este factor produjo incrementos significativos en los rendimientos. Teniendo en cuenta los riesgos de las altas densidades y la posible pérdida de eficiencia por bajas poblaciones, la densidad de 57 000 pl/ha surge como las más promisorias cuando el N disponible del suelo no es un factor limitante.

LITERATURA CITADA

1. BARBER, A.S.; OLSON, R.A. 1968. Fertilizer use on corn. In Changing Patterns in Fertilizer Use. Ed. by L.B. Nelson. Madison, Wisconsin. Soil Science Society of America. p. 164-188.

2. BERARDO, A.; CULOT, P.; DARWICH, N.; DUARTE, J. 1976. Evaluación de algunos factores de producción del cultivo de maíz en el sudeste bonaerense y su respuesta a la fertilización. IDIA Supl. no. 32. p. 195-208.

3. BONEL, J.; NOVELLO, P.; LEGASA, A. 1973. Resultados de pruebas de fertilización de maíz en los departamentos Caseros y Constitución (Santa Fe). INTA. EERA. Marcos Juárez. (Informe Técnico no. 44). 14 p.

4. DUNCAN, E.R. 1954. Influences of varying plant population, soil fertility and hybrid on corn yield. Soil Science Society of America Proceedings 18:437-440.

5. EARLY, E.B. 1955. Relation of rate of planting and nitrogen to yield and composition of corn grain; University of Illinois. Agronomy Fact Sheet sf - 36.

6. GACHON, L. 1972. La cenétique de l'absorption des eléments nutritfifs majeurs chez de tournesol. Annales Agronomiques 23:547-566.

7. GAMBOA, A. 1980. La fertilización del maíz. Instituto Internacional de la Potasa. Boletín IIP no. 5. 72 p.

8. HEIN, W.H. DE; PANIGATTI, J.L. 1986. Mineralización de fósforo y nitrógeno en Argiudoles. Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo (11., 1986, Neuquén, Argentina).

9. HEIN, W.H. DE: PANIGATTI, J.L.; HEIN, N.E.; MORESCO, R.F. 1981. Niveles de fósforo disponibles en suelos de la EERA Rafaela. INTA Rafaela. 17 p. (Informe Técnico no. 7).

10. LUTZ, L.A.; CAMPER, H.M.; JONES, G.D. 1971. Row spacing and population effects on corn yields. Agronomy Journal 63:12-14.

11. NOVELLO, P.; MASIERO, B.L. 1978. Influencia del riego aplicado en distintas épocas sobre el rendimiento del maíz fertilizado. INTA ERRA Marcos Juárez. 11 p. (Informe Técnico no. 94).

12. NOVELLO, P.; PURICELLI, C.A.; BONEL, J.A. 1969. El contenido de nitratos, humedad y la fertilización nitrogenada del suelo y su relación con los rendimientos de distintas poblaciones de plantas de maíz. INTA ERRA Marcos Juárez. 20 p. (Publicación Técnica no. 1).

13. NUÑEZ, R.; KAMPRATH, E. 1969. Relationship between N response, plant population and row width on growth and yield of corn. Agronomy Journal 61:279-282.

14. OLSON, R.A.; KUTZ, L.P. 1982. Crop nitrogen requirements, utilization and fertilization. In Nitrogen in Agricultural Soil. Agronomy Monograph no. 22.

15. PRINE, C.M. 1969. Grain yields of corn and grain sorghum under different plant populations and row spacing. Soil and Crop Science Society of Florida Proceedings 29:181-189.

16. RHOADS, F.M.; STANLEY, R.L. 1979. Effect of population and fertility on nutrient uptake and yield components of irrigated corn. Soil and Crop Science Society of Florida Proceedings 38:78-80.

17. ROSSMAN, E.C.; COOK, R.L. 1966. Soil preparation and date, rate and pattern of planting. In Advances in corn production principles and practices. Ed. by W.H. Perre; S.A. Aldrich; W.P. Martin. Ames, Iowa. Iowa State University Press. p. 54-83.

18. VIVAS, H.; GAMBAUDO, S.; VILLAR, J.L. 1983. Fertilización nitrogenada y fosfatada en la producción de maíz. In Reunión Anual de Información Técnica para Productores. INTA EERA Rafaela. p. 69-72.

19. VIVAS, H.; MORESCO, R.; GAMBAUDO, S.; QUAINO, O. 1981. Evaluación de los rendimientos de maíz fertilizado en relación con los distintos factores de productividad. INTA EERA Rafaela. 19 p. Publicación Técnica no. 14.