

RESPUESTA A LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA Y EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA EN EL CULTIVO DE MAÍZ SEGÚN NIVEL HÍDRICO

Hugo M. Pedrol, Julio M. Castellarín, Facundo Ferraguti y Osmar Rosso
Grupo de Trabajo Manejo y Ecofisiología de los Cultivos EEA Oliveros INTA
jmpedrol@correo.inta.gov.ar

En este artículo se presentan las respuestas del cultivo de maíz a la aplicación de diferentes dosis de nitrógeno, para las condiciones de riego y secano, y las eficiencias de uso de agua y nitrógeno bajo dos condiciones que presentan diferencias en su potencialidad de producción, riego y secano. La eficiencia de uso de agua promedio para el cultivo de maíz fue de 15.5 kg de grano por mm de agua consumido, y la respuesta a las distintas dosis de nitrógeno en promedio fue de 21.6 y 31.1 kg de grano por cada kg de N aplicado bajo riego y secano, respectivamente.

Introducción

En las últimas décadas, la selección y adopción de materiales genéticos con mayor potencial de rendimiento y el uso de diferentes tecnologías, han incrementado el rendimiento y la calidad del cultivo de maíz. Sin embargo, la producción de granos de este cultivo está principalmente limitada por el uso de fertilizantes nitrogenados y la disponibilidad de agua en el suelo (Maddonni, 2003). Por lo tanto, es importante destacar que la tecnología empleada en esta agricultura moderna de alta producción, incrementa continuamente los rendimientos de los cultivos y con ello la tasa de extracción de nutrientes del suelo. Las estimaciones actuales indican que casi todo el maíz recibe fertilización, pero que las dosis de fertilizante utilizadas serían del 75% de las consideradas necesarias para cubrir las extracciones de nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S) (García, 2006).

En la región pampeana, en varias localidades bajo una secuencia trigo/soja – maíz – soja durante seis años, el incremento de rendimiento en el cultivo de maíz por el agregado de N varió entre el 7 – 45% (Dibb et al., 2004).

Salvagiotti et al. (2003), en el sur de Santa Fe, encontraron que la respuesta a N por parte del cultivo de maíz fue generalizada y altamente relacionada con la disponibilidad de dicho nutriente, con una gran variación principalmente asociada a la historia agrícola de los sistemas de producción y al nivel de degradación físico – química, independientemente de la fuente de fertilización empleada. Esto concuerda con lo informado por Capurro et al. (2002 y 2007) y Prieto et al. (2007).

Martínez et al. (2006), en el centro sur de Santa Fe, al analizar la combinación de híbridos por dosis de N y capacidad de uso del suelo, encontraron que no hubo interacción híbrido por nivel de N aplicado, pero los mayores incrementos en los rendimientos por el agregado de N se obtuvieron en los suelos con menores limitaciones (mayor capacidad productiva).

Todo esto respalda la generalización de que al menos

una importante proporción del rendimiento del cultivo es atribuible al agregado de nutrientes mediante la aplicación de fertilizantes.

Con respecto a los requerimientos hídricos del cultivo de maíz, con adecuado manejo (densidades, fertilización, fechas de siembra) es factible alcanzar eficiencias en la producción de materia seca aérea desde 20 kg mm⁻¹ en suelos degradados, hasta 40 kg mm⁻¹ en ambientes de alta productividad (Pedrol et al., 2004).

El objetivo del presente trabajo fue analizar la respuesta en producción de grano del cultivo de maíz al agregado de distintas dosis de N bajo dos condiciones hídricas (riego y secano), y calcular para cada uno de estos ambientes, con diferente potencialidad, las eficiencias de uso de agua y de N.

Materiales y Métodos

Para evaluar la respuesta a dosis crecientes de N bajo dos condiciones hídricas se realizaron dos ensayos, uno bajo riego (por goteo) y otro de secano en el campo experimental de la EEA Oliveros, durante la campaña 2007/2008.

El suelo fue un Argiudol típico serie Maciel de mediana a baja fertilidad (Tabla 1) con más de 25 años de agricultura continua y 15 años en siembra directa con soja de primera como cultivo antecesor. Ambos ensayos (riego y secano) se sembraron en siembra directa el 17/10/07, el híbrido evaluado fue el DK 747 MG y la densidad de siembra fue de 71.500 plantas ha⁻¹. Luego de la siembra se realizó la aplicación de una mezcla de herbicidas para el control de malezas, con los siguientes productos y dosis: glifosato 48% 2 l ha⁻¹ + atrazina 50% 4 l ha⁻¹ + S – metolaclor 96% 1 l ha⁻¹.

Los tratamientos de fertilización con N fueron:

1) Sin N N0 (Testigo); 2) 60 kg ha⁻¹ de N; 3) 120 kg ha⁻¹ de N; 4) 180 kg ha⁻¹ de N y 5) 240 kg ha⁻¹ de N.

La aplicación del fertilizante se realizó al voleo en V₄; la fuente nitrogenada fue urea. En los dos ensayos

se fertilizó con P y S de modo que estos nutrientes fueran no limitantes.

El diseño en ambos ensayos fue en Bloques Completos Aleatorizados (BCA) con 4 repeticiones y el tamaño de la unidad experimental fue de 10 m de largo x 5 surcos separados a 0,70 m. La cosecha se realizó el 28/3/08 en forma manual, cosechándose los dos surcos centrales.

Se realizó el análisis de la varianza del rendimiento en granos (ajustado al 14% de humedad) y de sus componentes (peso de los granos, número de granos por metro cuadrado, espigas por planta y peso por espiga).

Análisis químico del suelo

Las propiedades químicas del suelo en diferentes profundidades se presentan en la Tabla 1.

Condiciones climáticas

Con la información climática suministrada por la Estación Agrometeorológica de la EEA Oliveros INTA, se calcularon las medias decadales de las temperaturas mínimas y máximas, y las precipitaciones de septiembre 2007 a marzo de 2008 (Fig. 1).

Las fechas de los diferentes estadios fenológicos del cultivo fueron:

V_6 : 28/11; V_9 : 11/12; V_{12} : 21/12; Panojado: 2/01/08; R_1 : 7/01/08.

Se comenzó a regar a partir de la segunda década de diciembre y el total de agua agregada con el riego hasta la primera década de febrero fue de 166 mm, lo que comprendió el estadio de máximas necesidades hídricas diarias

del cultivo (V_9 hasta R_4), que de aquí en adelante van decreciendo hasta la madurez fisiológica.

Resultados y Discusión

Nivel hídrico (riego y seco)

Hubo diferencias estadísticamente significativas en el rendimiento promedio y sus componentes según nivel hídrico (Tabla 2), no encontrándose interacción nivel hídrico x dosis de nitrógeno en ninguna de las variables analizadas. Lo que indica que los diferentes niveles de N afectaron el rendimiento y sus componentes de manera similar bajo riego y en seco.

El riego incrementó significativamente el rendimiento final en granos, en un 28.5% y sus componentes numéricos (Tabla 2). De estos últimos, los que más aumentaron por el riego fueron el peso de mil granos y la producción por espiga, que superaron en un 41.7% y 23.6% al valor obtenido en seco, respectivamente. Estas diferencias estarían explicadas porque en seco hubo una mayor senescencia foliar, menor

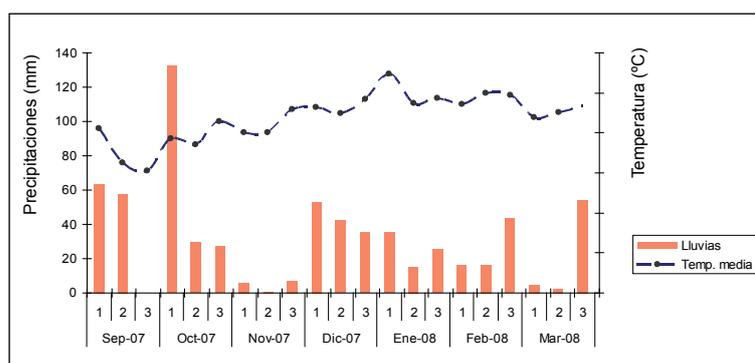


Figura 1. Precipitaciones (mm) y temperatura media (°C) decadales desde Septiembre de 2007 a Marzo de 2008. EEA Oliveros.

Tabla 1. Propiedades químicas del suelo del ensayo según profundidad de muestreo. Análisis realizado antes de la siembra del maíz. (*)

Profundidad de muestreo (cm)	NO_3^- (mg kg^{-1})	$\text{N} - \text{NO}_3^-$ (mg kg^{-1})	P Bray 1 (mg kg^{-1})	M.O. (%)	pH (1:2,5)	$\text{SO}_4^{=}$ (1) (mg kg^{-1})	$\text{S-SO}_4^{=}$ (mg kg^{-1})
0 - 20	51.3	11.6	11.2	2.5	5.82	3.5	1.2
20 - 40	23.3	5.3	6.7		5.96	2.4	0.8
40 - 60	8.5	2.1	5.9		6.3	1.4	0.4

(*) Análisis realizado por el laboratorio de suelos y agua de la EEA Oliveros.

(1) Extracción realizada con Fosfato de Calcio y valoración por el método de turbidimetría con Cloruro de Bario

Tabla 2. Rendimiento y sus componentes, promedio de las diferentes dosis de N, según nivel hídrico y su significancia estadística.

Rendimiento y componentes	Secano	Riego	Diferencia
Rendimiento (kg ha^{-1})	8.422 a	10.955 b	2.533
Peso de 1000 granos (g)	192.2 a	273.1 b	80.1
Granos por m^2	3.977 a	4.408 b	431
Espigas por planta	1.00 a	1.02 b	0.02
Producción por espiga (g)	119.3 a	147.5 b	28.2

Letras distintas indican diferencias significativas según Test de Duncan al 0.05.

cantidad de órganos fotosintéticamente activos, lo que generó una reducción en la disponibilidad de asimilados por grano.

Además se acrecentó el efecto del riego debido a que durante el período comprendido entre V_6 y V_9 , el cultivo sufrió un importante déficit hídrico (Fig. 1). Vale agregar que el peso hectolítrico también mejoró con el riego y su diferencia fue estadísticamente significativa (datos no presentados).

La eficiencia en el uso del agua (EUA) para el rendimiento promedio en grano de las diferentes dosis de N, tanto en secano (lluvias) como en riego (lluvias + riego) fue la misma ($15.5 \text{ kg de grano mm}^{-1}$). Esta EUA similar entre riego y secano es coincidente con lo obtenido por Karam et al. (2003) y Rivetti (2005), si bien el valor promedio de EUA logrado por estos autores fue muy superior ($27 \text{ kg de grano mm}^{-1}$).

Probablemente esta menor EUA obtenida se deba al aumento de la temperatura (principalmente de la máxima) desde la tercera década de diciembre hasta la segunda década de enero, que coincidió con la fecha de panojado y R_1 del cultivo.

Cuando se analizaron las EUA para cada dosis de N

y entre ambos niveles hídricos se observó que estas fueron similares.

Dentro de cada situación hídrica las EUA presentaron diferencias (estadísticamente significativas) entre dosis de N, en secano las mayores eficiencias se obtuvieron con las dosis de 120, 180 y 240 kg ha^{-1} de N; en cambio bajo riego se lograron con las dosis de 180 y 240 kg ha^{-1} de N (Tabla 3).

Este tipo de respuestas son esperables ya que con una mayor disponibilidad de agua se impacta de manera positiva tanto en la tasa de crecimiento del cultivo, y en la disponibilidad de nutrientes, producción de nitratos por mineralización, y posterior mejora en la absorción de nutrientes por el cultivo.

Dosis de N

Como se mencionó anteriormente, al no detectarse la interacción entre nivel hídrico por dosis de N se analizaron los tratamientos de fertilización para ambos niveles hídricos en conjunto. Los resultados y su significancia estadística se presentan en la Tabla 4. Los mayores rendimientos se obtuvieron con las dosis

Tabla 3. Rendimiento en grano y eficiencia en el uso del agua (EUA) para cada tratamiento de nitrógeno según nivel hídrico. Significancia estadística de EUA dentro de cada nivel hídrico.

Dosis de N (kg ha^{-1})	Rendimiento (kg ha^{-1})		EUA ($\text{kg de grano mm}^{-1}$)	
	Secano	Riego	Secano	Riego
0 (Testigo)	5164	8425	9.5 c	11.9 d
60	7988	9668	14.7 b	13.7 c
120	9093	11288	16.8 ab	15.9 b
180	9611	12707	17.7 a	18.0 a
240	10035	12689	18.5 a	17.9 a

Tabla 4. Promedio del rendimiento y sus componentes entre ambos niveles hídricos, según dosis de N y su significancia estadística.

Dosis de N (kg ha^{-1})	Rendimiento (kg ha^{-1})	Peso de 1000 granos (g)	Granos por m^2	Espigas por planta (g)	Producción por espiga (g)
0 (Testigo)	6805 d	224 b	3004 c	0.99 b	97.8 d
60	8828 c	228.6 a b	3914 b	1.01 a	122.6 c
120	10190 b	236.3 a	4383 a b	1.00 a	142.3 a b
180	11190 a	237.5 a	4810 a	1.02 a	152.6 a
240	11310 a	238.5 a	4866 a	1.02 a	151.9 a

Tabla 5. Tasa de Respuesta (TR) y Eficiencia Marginal (Ef. M) para cada dosis de N y nivel hídrico. Significancia estadística de TR dentro de cada nivel hídrico.

Dosis de N (kg ha^{-1})	Secano		Riego	
	(TR)	(Ef. M)	(TR)	(Ef. M)
	$\text{kg grano kg}^{-1} \text{ N}$	$\text{kg grano kg}^{-1} \text{ N adicional}$	$\text{kg grano kg}^{-1} \text{ N}$	$\text{kg grano kg}^{-1} \text{ N adicional}$
60	47.1 a		20.7 b	
120	32.6 b	18.4	23.9 a	27.0
180	24.6 c	8.6	23.8 a	23.6
240	20.2 c	7.1	17.8 b	-0.30

Letras distintas indican diferencias significativas según Test de Duncan al 0.05.

de 180 y 240 kg ha⁻¹ de N (diferencia estadísticamente no significativa), que superaron en promedio al testigo en un 65%. Todos los componentes de rendimiento evaluados se incrementaron con el agregado de N (Tabla 4).

La dosis de N crítica, por encima de la cual no se lograron respuestas significativas, alcanzada en estos ensayos fue de 180 kg ha⁻¹, similar a las reportadas por Salvagiotti et al. (2002) y Maddonni et al. (2003).

La tasa de respuesta (TR), expresada como kg de grano por kg de N aplicado, y la eficiencia marginal (Ef. M), expresada como kg de grano producido por kg de N adicional aplicado respecto a la dosis previa, para cada dosis de N fue diferente según nivel hídrico, destacándose bajo riego una Ef. M negativa con la dosis de 240 kg ha⁻¹ de N (Tabla 5). Estos valores son concordantes con los encontrados por Salvagiotti et al. (2003) en los distintos ambientes del sur de Santa Fe, cuando estos presentaron potencialidades heterogéneas.

Conclusiones

El riego incrementó el rendimiento en grano y sus componentes en forma significativa, destacándose en estos últimos el peso de los granos y la producción por espiga.

Las diferentes dosis de N evaluadas generaron, tanto bajo riego como en secano, aumentos de rendimiento similares, pero la mayor eficiencia en el uso del agua y tasa de respuesta se lograron con dosis distintas según nivel hídrico.

No se obtuvieron incrementos significativos, en ambos niveles hídricos, cuando se superó la dosis de 180 kg ha⁻¹ de N. Sin embargo, en secano las tasas de respuesta y las eficiencias marginales, hasta este nivel de nitrógeno, fueron netamente superiores respecto a riego.

El cultivo de maíz, bajo estas condiciones ambientales, produjo en promedio 15.5 kg de grano por cada milímetro de agua consumida y la tasa de respuesta a las distintas dosis de nitrógeno en promedio fue de 21.6 y 31.1 kg de grano por cada kg de N aplicado bajo riego y secano, respectivamente, con diferencias (estadísticamente significativas) entre niveles de nitrógeno para EUA y TR.

Referencias Bibliográficas

- Capurro J., Fiorito C., González M.C. y R. Pagani.** 2002. Fertilización del cultivo de maíz en Cañada de Gómez. Campaña 2001/02. En: Para Mejorar la Producción N° 20. EEA Oliveros INTA. 81 – 84 pp.
- Capurro J., Casasola E., Zazzarini A., Andriani J. y M.C. González.** 2007. Fertilización de maíz. En: Para Mejorar la Producción N° 35. EEA Oliveros INTA. 50 – 53 pp.
- Dibb D.W., Roberts T.L. y W.M. Stewart.** 2004. Los fertilizantes y la agricultura mundial. En: Revista Técnica de la Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa. Diciembre/2004. 17 – 29 pp.
- García F.O.** 2006. La nutrición de los cultivos y la nutrición de los suelos. En: Informaciones Agronómicas 29: 13 – 16.
- Karam F., Breidy J., Stephan C. y J. Roupheal.** 2003. Evapotranspiration, yield and water use efficiency of drip irrigated corn in the Bekaa Valley of Lebanon. *Agricultural Water Management*. 63: 125 – 137.
- Maddonni G., Ruiz R., Vilariño P. e I. García de Salamone.** 2003. Fertilización en los cultivos de grano. En: Producción de granos. Bases funcionales para su manejo. Ed. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Cap. 19. 783 pp.
- Martínez F., Cordone G. y D. Buschittari.** 2006. Alternativas de manejo según la capacidad productiva del suelo. Combinación del híbrido y la dosis de N. En: Para Mejorar la Producción N° 32. EEA Oliveros INTA. 103 – 105 pp.
- Pedrol H., Castellarín J. y F. Salvagiotti.** 2004. El maíz en el centro sur de Santa Fe. En: Para Mejorar la Producción N° 26. EEA Oliveros INTA. 8 – 15 pp.
- Prieto G. y M. Antonelli.** 2007. Ensayo de fuentes nitrógenadas líquidas y granuladas en maíz. En: Para Mejorar la Producción N° 35. EEA Oliveros INTA. 48 – 49 pp.
- Rivetti A.R.** 2005. Efecto del riego complementario sobre el rendimiento en grano de maíz y sus componentes. En: Actas VIII Congreso Nacional de Maíz. Págs. 36 – 39.
- Salvagiotti F., Pedrol H., Castellarín J., Capurro J., Felizia J., Gargicevich A., Gentile O., Méndez J. y N. Trentino.** 2002. Diagnóstico de la fertilización nitrogenada en maíz. I Relación entre la respuesta en rendimiento y la disponibilidad de N a la siembra. En: Para Mejorar la Producción N° 20. EEA Oliveros INTA. 67 – 70 pp.
- Salvagiotti F., Pedrol H.M., Castellarín J.M., Cordone G., Capurro J., Martínez F., Méndez J., Felizia J.C., Trentino N. y D. Damen.** 2003. Modelos de respuesta a la fertilización nitrogenada en maíz. En: Para Mejorar la Producción N° 23. EEA Oliveros INTA. 83 – 86 pp.

VEA TODOS LOS ARTICULOS
DE INFORMACIONES AGRONOMICAS DEL CONO SUR EN:

WWW.IPNI.NET/LASC