



## “Latinoamérica unida protegiendo sus suelos”

XIX CONGRESO LATINOAMERICANO DE LA CIENCIA DEL SUELO

XXIII CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO

Mar del Plata, Argentina – 16 al 20 de abril de 2012  
contribuciones@congresodesuelos.org.ar

# FECHA DE SIEMBRA Y FERTILIZACION VARIABLE DE MAIZ SOBRE HAPLUSTOLES DE CORDOBA

Espósito\* <sup>(1)</sup>, G.; Balboa, G. <sup>(1)</sup>; Castillo, C. <sup>(1)</sup>; Balboa, R. <sup>(1)</sup>; Degioanni A. <sup>(1)</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto

\* Autor de contacto: gesposito@ayv.unrc.edu.ar; Ruta Nacional 36, km 601, 5800-Río Cuarto, Córdoba, Argentina; 54-358-467650

## RESUMEN

La dosis óptima económica de nitrógeno (DOEN) en maíz puede variar espacial y temporalmente. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de la fecha de siembra de maíz sobre la función de producción por zona de manejo (ZM) y determinar diferencias en la DOEN variable. En cercanías a Río Cuarto (Córdoba), se realizaron cuatro ensayos de fertilización nitrogenada (2009/10 y 2010/11), dos en siembra temprana (octubre) y dos tardía (diciembre). El diseño experimental utilizado en cada ensayo fue en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones, en franjas atravesando ZM, las cuales fueron determinadas mediante mapas de rendimiento previos y evaluación a campo de las diferencias edáficas entre ZM. Las funciones de producción fueron estimadas mediante un modelo de regresión con error espacial. Las ZM fueron identificadas como AP y BP (alta y baja productividad). Las diferencias de producción entre ambas fueron un 10 y 20% superior en AP (maíz y soja). El suelo de AP es Haplustol údico y BP, Haplustol éntico. Las funciones de producción estimadas, permiten interpretar que sólo en fechas de siembra temprana sería conveniente variar la dosis de N entre ZM. En ambos años la DOEN se redujo en 100 kg N ha<sup>-1</sup> en las siembras tardías. El efecto año presentó una modificación de 70 kg N ha<sup>-1</sup> y la variabilidad espacial de 10 kg N ha<sup>-1</sup>, solamente en las siembras tempranas. Se concluye que es más conveniente agronómica y económicamente practicar dosis variable de N en fechas de siembra temprana que en fechas tardías.

## PALABRAS CLAVE

sitio-específico; dosis; nitrógeno

## INTRODUCCIÓN

En suelos Haplustoles de la región de la Pampa Arenosa, la fertilización nitrogenada, independientemente del momento de la aplicación del N, es una práctica relevante para el logro de cultivos de maíz de alta producción (Barraco & Díaz-Zorita, 2005).

Al momento de decidir la cantidad de fertilizante a utilizar se debe considerar que la dosis óptima económica de nitrógeno (DOEN) en maíz puede variar espacialmente debido a variaciones en las características del suelo y temporalmente como consecuencia de interacciones con factores ambientales (Mamo *et al.* 2003).

La variabilidad espacial es consecuencia de las diferencias en la disponibilidad de N del suelo asociado a las diferencias en la demanda de N por los cultivos (Scharf *et al.*, 2006).

Además, la variabilidad temporal de la respuesta en rendimiento a la fertilización con N es más importante que la variabilidad espacial (Kyveryga *et al.*, 2009) debido a que la potencialidad productiva del año modifica en mayor medida la DOEN (Pagani *et al.*, 2008).

En Córdoba (Argentina), el rendimiento de maíz en secano y por ende su respuesta al agregado de N, depende fuertemente de las precipitaciones ocurridas durante su etapa de crecimiento, principalmente en el periodo comprendido entre pre y post floración (Espósito *et al.*, 2006). En esta región, la variabilidad climática es explicada principalmente por alteraciones en las precipitaciones estivales (Seiler *et al.*, 2008), frente a escenarios de incertidumbre climática, resulta imprescindible apuntar a una máxima seguridad de cosecha, eligiendo variedades, épocas de siembra, densidades, métodos de labranza, y todos los recursos tecnológicos disponibles para producir en un ambiente que puede tornarse desfavorable (Sierra & Pérez, 2006).

Frente a estos aspectos climáticos los productores de las regiones al oeste de la pampa húmeda han comenzado a diferir la fecha de siembra del maíz, en algunos lotes de producción, al mes de diciembre, por presentar un menor requerimiento hídrico durante el periodo de definición del rendimiento (Sackmann, 2010). Mediante el uso de modelos de simulación se ha determinado en Río Cuarto (Córdoba) para un ciclo de 20 años que el rendimiento de maíz presenta un menor rendimiento medio pero con una menor variabilidad en la siembra tardía que en la siembra temprana (Espósito *et al.*, 2009).

La mayor mineralización de la materia orgánica del suelo en siembras tardías justificaría el uso de una menor cantidad de fertilizantes nitrogenados (Melchiori & Caviglia, 2008). Si bien es creciente el uso de siembras tardías de maíz y el empleo de dosis variable de N por ambientes, aún no está bien documentado el efecto de la fertilización variable de N en para esta fecha de siembras, por lo tanto el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de la fecha de siembra de maíz sobre la función de producción dependiente de la fertilización nitrogenada por zona de manejo y con ello determinar diferencias en la DOEN variable espacialmente y entre fechas de siembra.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Descripción del sitio experimental**

Los estudios se realizaron en un establecimiento agropecuario ubicado a unos 28 km al sur oeste de la ciudad de Río Cuarto (Latitud: 33° 18' 56,27" S, Longitud: 64° 34' 22,78" O). En el cual se realiza la cosecha mecánica con monitor de rendimiento GreenStar 2 (Jhon Deere). Durante las campañas agrícolas 2009/10 y 2010/11 se realizaron dos ensayos experimentales de maíz para evaluar el efecto de diferentes dosis de nitrógeno sobre el rendimiento del cultivo. En 2009/10, las fechas de siembra fueron 06/10/09 y 12/12/09 para la primer y segunda fecha, respectivamente. En la campaña 2010/11, los experimentos fueron sembrados el 13/10/10 y el 9/12/10. Todos los experimentos fueron sembrados con el híbrido P 2069 de la empresa Pioneer, a razón de 75000 semillas ha<sup>-1</sup> y fertilizados con (N-P-K-S, 14-34-0-8) a razón de 150 kg ha<sup>-1</sup>. El diseño experimental utilizado en cada ensayo fue en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones espaciales por tratamiento. El tipo de diseño fue en franjas atravesando zonas de manejo delimitadas previamente, consistiendo los tratamientos en dosis crecientes de fertilización nitrogenada (constante para cada franja). Las dosis evaluadas en la campaña 09/10 fueron de 0, 50, 100, 150 y 200 kg N ha<sup>-1</sup> y en la campaña 10/11 de 0, 32, 64, 128, 192 y 256 kg N ha<sup>-1</sup>. La fuente de N utilizada fue urea incorporada al suelo al estado de 6° hoja completamente desplegada del maíz.

La división del lote en zonas de manejo por productividad se realizó empleando el programa de computación Management Zone Analyst (MZA) (Fridgen *et al.*, 2004), según información recopilada mediante los mapas de rendimiento de los cultivos de maíz y soja obtenidos en años anteriores (2007/08 y 2008/09) y mapa digital de elevación generado mediante DGPS. Toda la información espacial fue procesada empleando el programa Quantum GIS 1.7.2 Wroclaw.

Posteriormente se realizó una visita a campo a los efectos de evaluar diferencias edáficas entre las zonas detectadas, utilizando para tal fin las normas de reconocimiento de suelos (Etchevehere, 1976).

Las funciones de producción por ambiente se construyeron a través de análisis de regresión espacial entre las dosis de N (variable independiente) y el rendimiento de maíz (variable dependiente). Los parámetros del modelo se estimaron mediante máxima verisimilitud, considerando todas las variables como de efectos fijos. El análisis estadístico espacial de los datos emplea el modelo de error espacial, donde  $Y=X\beta+\varepsilon$  siendo  $\varepsilon=\lambda W\varepsilon+\mu$ . Por consiguiente  $\mu$  es el error de muestreo aleatorio con una especificación auto regresiva espacial (SAR) y coeficiente "λ". La matriz "W" de ponderadores espaciales tiene una estructura Queen de 8 vecinos, estandarizada por fila. Los coeficientes del modelo son estimados empleando el programa de estadística espacial OpenGeoDA 0.9.9.6 (Anselin, 2011). El desarrollo del modelo en cada experimento fue un polinomio de 2º grado para la dosis de N, en cada zona de manejo las cuáles fueron incorporadas al mismo mediante variables dummy.

Para obtener en cada ZM las dosis óptimas económicas (DOEN) o cantidad de N necesaria para alcanzar el máximo retorno económico al fertilizar, se realizó una optimización tradicional de las funciones (Dillon & Anderson, 1990) según las ecuaciones 1 y 2:

$$\pi = py(\beta_0 + \beta_1 Nf + \beta_2 Nf^2 + \beta_3 ZM + \beta_4 NfZM + \beta_5 Nf^2 ZM) - pmitN - F \quad [1]$$

$$DOE = \frac{\left(\frac{pmit}{py}\right) - \beta_1 - \beta_4 ZM}{2\beta_2 + 2\beta_5 ZM} \quad [2]$$

Donde,  $\pi$  : es el retorno económico al nitrógeno,  $py$ : precio del Maíz (USD kg<sup>-1</sup>),  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$  y  $\beta_5$ , son los parámetros de la ecuación de regresión,  $Nf$  es la dosis de fertilizante (kg ha<sup>-1</sup>),  $ZM$  se refiere a las variables dummy para zonas de manejo,  $pmit$ : precio del Nitrógeno elemental (Urea) (USD kg<sup>-1</sup>),  $F$ : son los costos fijos. Los precios utilizados de Maíz y Nitrógeno fueron de 0,102 y 1,200 USD kg<sup>-1</sup> respectivamente, en moneda constante Enero 2002 – Octubre 2009, ajustado por el Índice de Precios Internos al por Mayor (IPIM) nivel general (AACREA, 2011).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como se puede apreciar en la Figura 1, la división del lote por zonas de manejo presentó una distribución con un 59,43% para la zona AP y un 40,57% para la zona BP (115,36 y 78,76 ha, respectivamente). La diferencia de productividad entre zonas fue del 10,24% en maíz (8515 y 7724 kg ha<sup>-1</sup>, AP y BP, respectivamente), mientras que la misma ascendió al 19,49% en soja (2903 y 2429 kg ha<sup>-1</sup>). Se destaca además diferencias en la variabilidad del rendimiento dentro de cada zona de manejo, con un 19,57% menos de CV en la AP vs BP en el maíz (11,60% y 13,87%) y con un 41,40% menos de CV en soja (17,70% y 25,02%).

El relieve de la región bajo estudio es normal suavemente ondulado, con pendientes medianamente largas (500 a 800 m) con gradiente entre 0,8 y 1,5%. Presentando toposecuencias en el que se presentan diferentes tipos de suelos en posiciones bajas (AP) que en lomas (BP).

El suelo de la zona AP es un Haplustol údico con textura franca limosa a franca, relieve normal, con escurrimiento medio y permeabilidad moderada. Bien drenado. Clase por aptitud de uso: Ilc. Secuencia de horizontes Ap, A2, AB, Bw1, Bw2, BC, C y Ck a los 165 cm de profundidad. Capacidad de almacenamiento de 147 mm de agua al metro de profundidad.

El suelo de la zona BP es un Haplustol éntico con textura franca arenosa, relieve normal, escurrimiento rápido y permeabilidad moderadamente rápida. Bien a algo excesivamente drenado. Clase Illsc. Secuencia de horizontes Ap, A2, AC, C1, C2, y Ck a los 102 cm de profundidad. Capacidad de almacenamiento de 95 mm de agua al metro de profundidad.

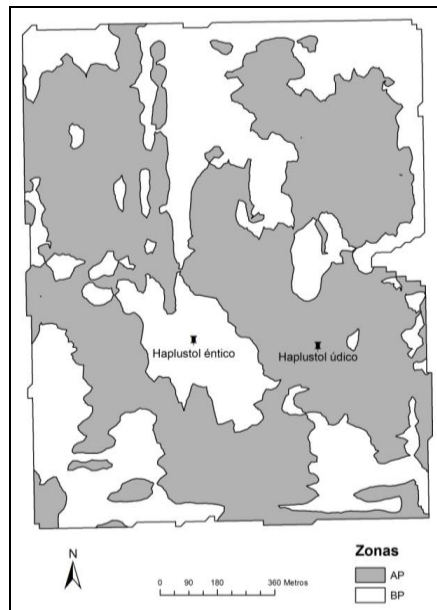


Figura 1. Mapa de zonas de manejo y sitios de relevamiento del tipo de suelos. AP, alta productividad. BP, baja productividad.

Estas diferencias edáficas entre zonas de manejo, explican diferencias en productividad. La mayor capacidad de retención hídrica y la mejor capacidad nutricional del suelo de la zona AP (Tabla 1) le ofrecen al cultivo de maíz una mejor condición de crecimiento de la biomasa aérea y radical que se traduce en un mayor rendimiento.

Las precipitaciones registradas entre septiembre y marzo en cada campaña fueron 690 y 787 mm para 2009/10 y 2010/11, respectivamente, por lo tanto las condiciones hídricas fueron un 4,5% inferior y un 8,9 % superior al promedio (723 mm) para las campañas 09/10 y 10/11, respectivamente.

El rendimiento medio del testigo sin fertilizar en cada zona de manejo y en cada año de estudio, es un indicador de las diferencias productivas entre zonas. En la Figura 1 es destacable que en la campaña más húmeda los rendimientos del testigo entre zonas son similares, mientras que en la campaña con menores precipitaciones se aprecian diferencias de producción entre zonas de manejo. Es factible pensar que en años con menores precipitaciones ocurran simultáneamente dos procesos, uno vinculado a la mayor capacidad de retención hídrica en AP que le permitiría al maíz contar con una mayor disponibilidad de agua para su crecimiento y otra asociada a la liberación y absorción de nutrientes ante condiciones limitadas de humedad que potenciarían las diferencias entre zonas en años con precipitaciones inferiores (Bongiovanni, 2002).

Tabla 1. Análisis químico de los suelos Haplustol údico y éntico de las zonas de manejo AP y BP.

	Haplustol údico (AP)			Haplustol éntico (BP)		
	Ap	A2	AB	Ap	A2	AC
Espesor (cm)	0-8 cm	8-20 cm	20-29 cm	0-8 cm	8-20 cm	20-34 cm
MO (g kg <sup>-1</sup> )	36,1	25,4	15	25,7	15,7	8,6
Fósforo (mg kg <sup>-1</sup> )	27,4	14,4	9,5	11,0	4,8	2,9
pH	6,2	6,2	6,5	6,3	5,9	6,4
CIC (cmol c/kg)	18,4	17,6	17,6	12,2	11	11
Ca (cmol c/kg)	8.05	7.74	7.34	4.64	4.12	4.88
Mg (cmol c/kg)	2.43	2.58	3.15	1.77	1.38	1.83
K (cmol c/kg)	2.12	1.66	1.46	1.88	1.28	1.08
Na (cmol c/kg)	0.7	0.35	0.29	0.3	0.25	0.26

AP, alta productividad. BP, baja productividad

Las funciones de producción estimadas para cada zona de manejo y para cada fecha de siembra se presentan en la Tabla 2. Los parámetros de la ZM BP se indican como Constante, N y N<sup>2</sup>, los cuales son significativos 5% de probabilidad. Los corrimientos de los mismos para la ZM AP sólo son significativos en la fecha de siembra temprana. Las diferencias significativas en el parámetro “Lambda” indican que la correlación espacial de los errores fue significativa y que el modelo estadístico utilizado es correcto, según lo propuesto por Anselin (2011). Esto permite interpretar que sólo en fechas de siembra temprana sería conveniente variar la dosis de N entre ZM.

En relación a las diferencias entre ZM se destaca que en la campaña con precipitaciones inferiores al promedio histórico (2009/10) los rendimientos de los testigos sin fertilizar fueron afectados por las zonas, con diferencias del orden de 1123 y 560 kg ha<sup>-1</sup>, para la siembra temprana y tardía, respectivamente. En la campaña 2010/11 no se detectaron diferencias en el testigo sin fertilizar en ninguna de las fechas de siembra evaluadas.

Tabla 2. Análisis estadístico de las funciones de producción de maíz según dosis de N.

	Siembra temprana				Siembra tardía			
	2009/10		2010/11		2009/10		2010/11	
	Parámetros	SE	Parámetros	SE	Parámetros	SE	Parámetros	SE
Constante	7065,84	**	9191,37	**	8152,16	**	8362,13	**
N	44,75	**	27,39	**	9,40	**	22,59	**
N <sup>2</sup>	-0,14	**	-0,04	**	-0,01	*	-0,07	**
Zona AP	1123,35	**	26,05	ns	559,87	**	92,97	ns
Zona APxN	-7,01	*	4,29	**	-0,73	ns	1,11	ns
Zona APxN <sup>2</sup>	0,02	ns	-0,02	*	0,01	ns	-0,01	ns
Lambda	0,65	**	0,86	**	0,66	**	0,77	**
R <sup>2</sup>	0,85		0,88		0,67		0,76	

Constante, N y N<sup>2</sup>, parámetros de la función de producción en la zona BP. Zona AP, Zona APxN y Zona APxN<sup>2</sup>, corrimiento de los parámetros para la zona AP. SE, nivel de significancia estadística. \* y \*\*, diferencias estadísticas al 5 y al 1 % de probabilidad. ns, no significativo. Lambda, coeficiente autoregresivo espacial (Anselin et al., 2011)

La principal causa de variación de la DOEN puede atribuirse a la fecha de siembra. En ambas campañas la dosis se redujo en alrededor de 100 kg N ha<sup>-1</sup> en las siembras tardías (Tabla 3). En segundo lugar el efecto año presentó una modificación de la DOEN en alrededor de 70 kg N ha<sup>-1</sup>, mientras que la variabilidad espacial entre ZM justificó cambios en la dosis recomendable económicamente del orden de los 10 kg N ha<sup>-1</sup>, solamente en las siembras tempranas. Estos resultados coinciden con Kyveryga *et al.* (2009) y con Pagani *et al.* (2008), dado que la variabilidad temporal por características hídricas del año o por fecha de siembra es más importante que la variabilidad espacial.

Tabla 3. Funciones de producción de maíz, dosis de N económicamente óptima (DOE) por zonas de manejo (ZM), obtenidas de ensayos de fertilización del Sur de Córdoba

FS-Campaña	ZM	Función de producción	DOEN	Rto	Dif. Retorno
Temprana 2009/10	AP	8189 + 37,74 N – 0,123 N <sup>2</sup>	105	10797	22 USD ha <sup>-1</sup>
	BP	7066 + 44,75 N – 0,140 N <sup>2</sup>	116	10336	
Tardía 2009/10	AP	8712 + 8,66 N – 0,005 N <sup>2</sup>	0	8712	0 USD ha <sup>-1</sup>
	BP	8152 + 9,40 N – 0,013 N <sup>2</sup>	0	8152	
Temprana 2010/11	AP	9217 + 31,68 N – 0,053 N <sup>2</sup>	189	13326	22 USD ha <sup>-1</sup>
	BP	9191 + 27,39 N – 0,037 N <sup>2</sup>	211	13323	
Tardía 2010/11	AP	8455 + 23,69 N – 0,075 N <sup>2</sup>	80	9868	5 USD ha <sup>-1</sup>
	BP	8362 + 22,59 N – 0,066 N <sup>2</sup>	82	9772	

AP, alta productividad. BP, baja productividad. \*\*, \*, † regresión significativa al 1, 5 y 10 % de probabilidad. ns, no significativa. P<sub>Nit</sub>/P<sub>Maíz</sub>: 11.76

## CONCLUSIÓN

La diferenciación en ZM dentro de un lote de producción de maíz en el Sur de Córdoba permitió identificar suelos con diferencias productivas explicadas por distinta oferta nutricional y capacidad de retención hídrica. Las funciones de producción de este cultivo en relación a la fertilización nitrogenada fueron más afectadas por la fecha de siembra y por las características del año que por las zonas de manejo. Económicamente es más rentable practicar dosis variable de N en fechas de siembra temprana que en fechas tardías.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los Ing. Agr. Pablo Martínez y José Galván por su apoyo incondicional para el desarrollo de este trabajo.

## BIBLIOGRAFÍA

- AACREA. 2011. Series de precios agropecuarios. Area de Economía de AACREA. Capital Federal, Argentina.
- Anselin, L. 2011. OpenGeoDa, A software program for the analysis of spatial data, Version 0.9.9.6. Spatial analysis laboratory, Department of Agricultural and Consumer Economics, University of Illinois, Urbana-Champaign, Urbana, IL (EUA). <http://geodacenter.asu.edu/>
- Barraco, M & M Díaz-Zorita. 2005. Momento de fertilización nitrogenada de cultivos de maíz en Hapludoles típicos. *Ci. Suelo (Argentina)* 23 (2) 197-203.
- Bongiovanni, R. 2002. A Spatial Econometric Approach to the Economics of Site-Specific Nitrogen Management and Corn Production. PhD Dissertation, Department of Agricultural Economics, Purdue University, West Lafayette, IN.
- Dillon, J & J Anderson. 1990. The analysis of response in crop and livestock production. Pergamon Press, New York (EUA), 250 p.
- Espósito, G; C Castillo & R Balboa. 2006. Calibración y validación de un método de diagnóstico de fertilización nitrogenada en maíz para el sur de Córdoba (Argentina). *Revista de Investigación Agraria. RIA*, 35(3):45-63.
- Espósito, G; G Balboa & C Castillo. 2009. Análisis de fecha de siembra de maíz en Río Cuarto. Material didáctico de docencia. Producción de Cereales. FAV-UNRC.: 15 pp.
- Etchevehere, P. 1976. Normas de Reconocimiento de Suelos. 2da. Ed. Actualizada. INTA-CIRN, Suelos, Public. Nº 52. Castelar, Buenos Aires, Argentina
- Fridgen, JJ; NR Kitchen; KA Sudduth; ST Drummond; WJ Wiebold & CW Fraisse. 2004. Management zone analyst (MZA): software for subfield management zone delineation. *Agron. J.* 96: 100-108.
- Kyveryga, PM; AM Blackmer & J Zhang. 2009. Characterizing and Classifying Variability in Corn Yield Response to Nitrogen Fertilization on Subfield and Field Scales. *Agron. J.* 101:269-277.
- Mamo, M; GL Malzer; DJ Mulla; DR Huggins & J Strock. 2003. Spatial and Temporal Variation in Economically Optimum Nitrogen Rate for Corn. *Agron. J.* 95:958-964.
- Melchiori, RJ & OP Caviglia, 2008. Maize kernel growth and kernel water relations as affected by nitrogen supply. *Field Crops Res.* 108: 198-205.
- Pagani, A; HE Echeverría; HR Sainz Rozas & Pa Barbieri. 2008. Dosis óptima económica de nitrógeno en maíz bajo siembra directa en el Sudeste Bonaerense. *Ci. Suelo (Argentina)* 26(2): 183-193.
- Sackmann, M. 2010. Maíz tardío y de segunda. Boletín técnico Dekalb Nº 4.:1-12.
- Scharf, PC; NR Kitchen; KA Sudduth & JG Davis. 2006. Spatially Variable Corn Yield is a Weak Predictor of Optimal Nitrogen Rate. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70:2154-2160.
- Seiler, RA; M Wehbe; M Vinocur & I Tarasconi. 2008. Efectos del cambio climático y de la variabilidad climática sobre la producción agropecuaria: impactos y adaptación. XII Reunión Argentina de Agrometeorología. San Salvador de Jujuy, Argentina.: 83-84.
- Sierra, EM & SP Pérez. 2006. Tendencias del régimen de precipitación y el manejo sustentable de los agro ecosistemas: estudio de un caso en el noroeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista de Climatología.* 6: 1-12.