

Variabilidad Espacial en Algunas Propiedades del Suelo: II Manejo del N por Sitio Específico en el Cultivo de Trigo

*Autores: R J M Melchiori - EEA INTA Paraná CC 128 (3100) Paraná Entre Ríos,
F O García - INPOFOS Cono Sur,
H Echeverría - Unidad Integrada INTA Balcarce-FCA Universidad Nacional de Mar
del Plata*

Introducción

El manejo de cultivos por sitio específico asume que la variabilidad existente en propiedades del suelo influye en el rendimiento de los cultivos. La fertilización se realiza habitualmente con aplicaciones en forma uniforme dentro de los lotes y la variabilidad natural o adquirida de la fertilidad del suelo y/o en la productividad del sitio causa que las dosis aplicadas sean excesivas o insuficientes (Fiez *et al.*, 1995). El manejo del N por sitios específicos posibilita adecuar las dosis de fertilizante a la necesidad de los cultivos en forma variable a través de un lote (Wibawa *et al.*, 1993). La disponibilidad de N puede determinarse, mapearse y en función de esta realizar ajustes de las dosis a aplicar para cada sitio. El potencial para el manejo del N por sitio específico se relaciona a la magnitud de la variabilidad espacial de la disponibilidad y las dificultades para este se asocian al grado de variabilidad temporal en los factores que regulan su dinámica. El N es un nutriente comúnmente deficitario para el cultivo de trigo en el sudeste bonaerense y la fertilización nitrogenada puede ser una alternativa para lograr altos rendimientos en forma sostenible, aunque es difícil lograr un uso eficiente del N. El ajuste de las dosis de aplicación por sitios específicos tendría el potencial de incrementar la eficiencia de uso del N y de reducir su impacto ambiental. El objetivo del presente trabajo es evaluar el efecto de la aplicación de N en dosis variable por sitio específico vs aplicación uniforme, sobre el rendimiento del cultivo de trigo y la eficiencia de uso del N.

Materiales y Métodos

El experimento se realizó en 1998 en un establecimiento del partido de Balcarce, (37 ° 45' S; 58 ° 18' O) en un lote con suelos pertenecientes a las Series Mar del Plata (80%) y Balcarce (20%) respectivamente. El sitio tuvo una pendiente media de 1.45% y se abarcaron las posiciones de loma, media loma y bajo. Se implantó un cultivo de trigo con labranzas convencionales el 24 de julio. A la siembra se aplicó fósforo (18 kg P ha⁻¹) en bandas junto con la semilla. Se muestreó el suelo en presiembra sobre una grilla con 100 celdas de 9 m de ancho y 18 m de largo. Se extrajeron muestras compuestas (10 submuestras) del centro de las celdas y se determinó el pH, la conductividad eléctrica (CE), la capacidad de intercambio de cationes (CIC), los cationes intercambiables (Ca, Mg, Na y K), el carbono orgánico (CO) y el P extractable (Pe) para una profundidad de 20 cm y el contenido de N-NO₃ hasta 60 cm de profundidad. La presencia de tosca se determinó hasta 1 metro de profundidad. Se evaluaron tres tratamientos: un control (T) y dos tratamientos de fertilización nitrogenada, aplicación en dosis variables (DV) y

aplicación en forma uniforme (DU). Los tratamientos se aplicaron sobre cada una de las celdas de la grilla, subdividiéndolas para esto en tres subparcelas de 3 m de ancho x 18 m de largo (54 m²). Los tratamientos se dispusieron en forma de franjas en el sentido de mayor longitud. Los tratamientos DV y DU, se fertilizaron de acuerdo con un modelo de recomendación propuesto por García *et al.* (1998): DV (kg N ha⁻¹) = 102 - [N-NO₃ (0-60 cm) en suelo a la siembra en cada una de las celdas] y DU (kg de N ha⁻¹) = 102 - [N-NO₃ (0-60cm) en suelo a la siembra promedio del área experimental]. El N se aplicó en cobertura, en forma de urea (46% N), al estadio de 3 hojas con una máquina sembradora-fertilizadora. Luego de la cosecha se determinó el contenido de N-NO₃ residual en cada tratamiento. En madurez fisiológica se determinó la materia seca aérea total (1 m²). La cosecha se realizó en forma mecánica (18 m²) y el rendimiento se ajustó a 14% de humedad. Se determinó la concentración de N en la biomasa aérea y se calculó el N acumulado total (Nt), el N en granos (Ng) y el índice de cosecha de N (ICN). A partir del Nt y el contenido de N-NO₃ en siembra y cosecha se estimó el nitrógeno mineralizado neto (Nmin). Se evaluó el nitrógeno suministrado (Ns = Nmin + N_{de fertilizante} + N-NO₃ a la siembra 0-60cm), el nitrógeno disponible (Nd = Nt + N-NO₃ residual), la eficiencia de absorción del Ns (EANS = kg Nt kg⁻¹ Ns), la eficiencia de uso del Ns (EUNs = kg grano/kg Ns), la eficiencia de absorción del Nd (EAND = kg Nt kg⁻¹ Nd), la eficiencia de uso del Nd (EUNd = kg grano / kg Nd), la disponibilidad del Ns (Nd/Ns) y la eficiencia fisiológica de N (EUN = kg grano/kg Nt) como proponen Huggins y Pan (1993). A partir del Nt en tratamientos fertilizados y testigos se calculó la recuperación aparente del fertilizante (EUNF). Se determinó el rendimiento relativo (RR) = [rendimiento observado/ promedio de los 10 rendimientos máximos] y se lo relacionó a la disponibilidad de N del suelo + N del fertilizante aplicado (Ni + Nf). Se calcularon estadísticos descriptivos, se probó la normalidad de las variables y se realizaron correlaciones, regresiones, análisis de variancia y pruebas de t para observaciones apareadas para evaluar el efecto de tratamientos. Se realizaron análisis espaciales que incluyeron pruebas de tendencia, ajustes de semivariogramas y kriging, utilizando los programas S-plus v 4.0 (Statistical Science, 1996), GS⁺ v 3.1 (Gamma Desing Software, 1998) y SURFER v5.0 (Golden Sofware, 1995).

Resultados y Discusión

La disponibilidad de N a la siembra fue muy baja (26,7 kg ha⁻¹), con un rango de variación de 10.6 a 63.8 kg ha⁻¹. La dosis uniforme aplicada fue de 87 kg ha⁻¹ y la dosis variable ajustada para cada una de las celdas, tuvo un rango de 38.2 a 86 kg ha⁻¹ y fue en promedio 13.7 kg ha⁻¹ inferior a la DU. En todos los sitios (celdas) la disponibilidad inicial de N en el suelo estuvo debajo del umbral de disponibilidad adoptado (102 kg ha⁻¹), por lo que siempre fue necesaria la aplicación de fertilizante en el tratamiento de DV. El nivel máximo de Ni + Nf, para el tratamiento DU fue de 150 kg ha⁻¹, nivel al que no se manifestó una caída importante en la eficiencia de uso, probablemente debido a que las condiciones de degradación por uso agrícola del sitio promovieron una amplia respuesta al N, a pesar de las condiciones hídricas deficitarias de la campaña.

Tabla 1. Comparaciones de medias para las variables rendimiento (Rend), materia seca (MS), índice de cosecha (IC), N total en planta (Nt), N en grano (Ng) e índice de cosecha de N (ICN).

	Rend.	MS	IC	Nt	Ng	ICN
Tratamientos	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	Kg ha ⁻¹	%

Testigo	2174	8074	24.4	46	33	71
D. U.	3479	10277	31.1	91	59	65
D. V.	3329	10603	28.9	86	56	65
DMS 5%	101	319	1.1	3.1	1.9	1.9
DMS 1%	126	398	1.4	3.9	2.3	2.4
CV	10	10	12	12	11	8

DMS = diferencia mínima significativa al test de Tukey. CV = coeficiente de variación del ANOVA. (n = 100).

El rendimiento del cultivo varió de 1012 a 3381 kg ha⁻¹ en el tratamiento T, de 1723 a 4907 kg ha⁻¹ en el tratamiento DU y de 1832 a 4479 kg ha⁻¹ en el tratamiento DV y fueron significativamente diferentes. La materia seca y el índice de cosecha fueron mayores en DV y DU y significativamente diferentes (Tabla 1). La absorción de N fue mayor en DU y la partición a grano fue mayor a menor disponibilidad (ICN > en los testigos) y similar entre DV y DU.

El N total en planta no se relacionó con el contenido de N-NO₃ a la siembra, probablemente debido su baja disponibilidad y al rango de variación estrecho. Tampoco se asoció al Nmin. Además la recuperación aparente del fertilizante (EUNF) superó en ocasiones la cantidad de N aplicada (máximos de 124% y 118% en DU y DV, respectivamente), lo que indicaría una interacción con la absorción del cultivo o con la dinámica del N (Rao *et al.*, 1991). Este efecto no fue generalizado ya que la EUNF media fue de 85% y 91% para el tratamiento DV y DU, respectivamente y el N-NO₃ residual en DV y DU fue en promedio 7 y 8 kg N ha⁻¹ mayor que en el tratamiento testigo (15 kg N ha⁻¹). El Nt absorbido por el cultivo aumentó en forma lineal ($r^2 = 0.77$, $n = 300$, $p < 0.001$) ante el incremento en la disponibilidad de Ni + Nf, para el conjunto de todas las observaciones y el rendimiento relativo (RR) aumentó en forma curvilínea ($RR = 0.19 \ln [Ni + Nf] - 0.13$; $r^2 = 0.55$). Los RR superiores al 90% del rendimiento máximo se lograron con disponibilidades de 100 kg de N ha⁻¹ o superiores, coincidiendo con reportes anteriores para la región (García *et al.*, 1998). Tanto el Nt como el RR tuvieron un amplio rango en cada uno de los tratamientos, aun en el tratamiento DV donde la disponibilidad de (Ni + Nf) tuvo un rango muy estrecho (96 - 103 kg N ha⁻¹), lo que revela la presencia de otras fuentes de variación. La relación establecida entre el número de granos m⁻² y el Nt ($r^2 = 0.85$, $p < 0.001$) demostraría que la absorción depende de la demanda del cultivo (nº de granos fijados). El Nt máximo alcanzado sugiere que pudo haberse limitado la determinación del número de granos como señalan Montaner *et al.* (1997). La profundidad de la tosca no se relacionó con la absorción de N y es posible que al considerar en detalle la heterogeneidad del sitio se haya manifestado el efecto de otras variables edáficas sobre la absorción de N por el cultivo, que no se revelan cuando los experimentos se conducen sobre superficies reducidas y homogéneas. El rendimiento de los tratamientos T, DV y DU se asoció a la relación $[K / Ca + Mg]$ ($r^2 = 0.70$, $p < 0.001$; $r^2 = 0.49$, $p < 0.001$ y $r^2 = 0.59$, $p < 0.001$, respectivamente). Esta de mantuvo a pesar del agregado de N como puede verificarse en la similitud de los patrones de variación espaciales del rendimiento de ambos tratamientos (Fig 1 y 2) y fué similar al comportamiento señalado para los testigos por Melchiori *et al.* (2000).

Tabla 2. Comparaciones de medias para las variables: N suministrado (Ns), N disponible (Nd), eficiencia de absorción del Ns (EANs = kg Nt kg⁻¹ Ns), eficiencia de uso del Ns (EUNs = kg grano kg⁻¹ Ns), eficiencia fisiológica de uso del N (EUN

= kg grano kg⁻¹Nt), eficiencia de uso del N disponible (EUNd = kg grano kg⁻¹ Nd), eficiencia de absorción del Nd (EAND = kg Nt kg⁻¹ Nd) y N-NO₃ residual (Nres).

Trat	Ns	Nd	EANs	EUNs	EUN	EUNd	EAND	Nres
	Kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg Nt kg ⁻¹ Ns	kg grano kg ⁻¹ Ns	kg grano kg ⁻¹ Nt	kg grano kg ⁻¹ Nd	kg Nd kg ⁻¹ Ns	Kg ha ⁻¹
DU	153	114	0.59	23	38	31	0.74	23
DV	140	108	0.62	24	39	31	0.78	22
Pr>t	***	**	*	***	NS	NS	*	NS

Nivel de significancia para la prueba de t de observaciones apareadas: *, **, *** p < 0.05, 0.01, 0.001 y NS = no significativa respectivamente. (n = 100).

El análisis de la eficiencia de uso del N permitió detectar diferencias entre los tratamientos (Tabla 2). El Ns fue menor en el tratamiento DV (p<0.001) y significó un ahorro en la aplicación de fertilizante de 13 kg de N ha⁻¹. La EANs fue superior en el tratamiento DV (p<0.05) y se expresó en una mayor eficiencia de uso del Ns (p<0.001). La eficiencia fisiológica del N (EUN) fue similar, lo mismo que la EUNd, por lo que la diferencia en la EUNs se debió a que la proporción de Ns disponible para el cultivo (Nd/Ns) fue mayor en DV (p < 0.05). El N-NO₃ residual a cosecha fue menor en el testigo y similar en DV y DU. Las diferencias determinadas aunque puedan resultar de importancia agronómica relativa debido a su magnitud fueron significativas debido al elevado n° de observaciones y señalan un comportamiento favorable de la aplicación de N en dosis variable en función de la determinación del contenido de N disponible a la siembra, tal como se propone en los diagnósticos de requerimiento de N en uso en la región.

Conclusiones

El rendimiento del cultivo fue mayor para el tratamiento con aplicación de N en dosis uniforme.

El requerimiento de N del fertilizante fué menor en DV. La eficiencia de uso del N determinada como kg grano kg⁻¹ Ns fue mayor para el tratamiento de aplicación de N por sitio específico y esta diferencia se debió a que una mayor proporción del nitrógeno suministrado estuvo disponible para el cultivo.

El Nd fue absorbido en forma más eficiente en el tratamiento de DV y la residualidad de N a cosecha fue similar entre los tratamientos fertilizados y mayor a la del testigo.

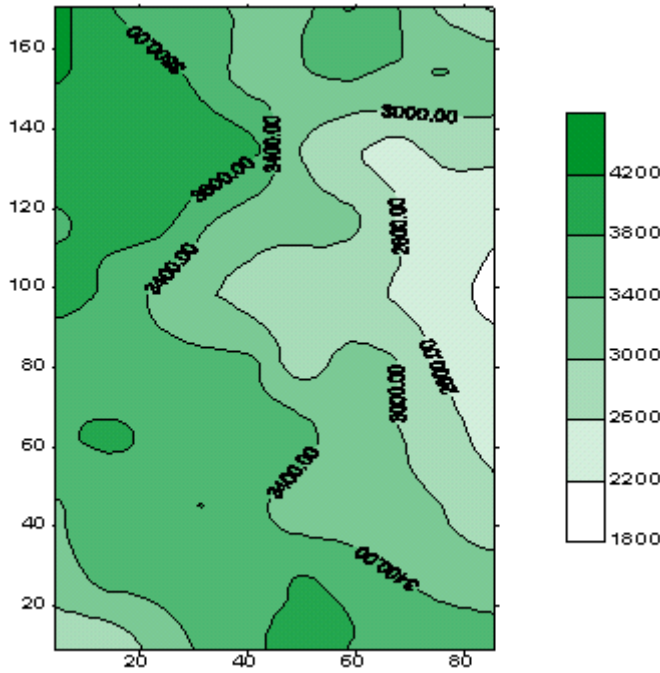


Fig 1: Distribución espacial del rendimiento del trigo en un sitio del sudeste bonaerense, tratamiento DV

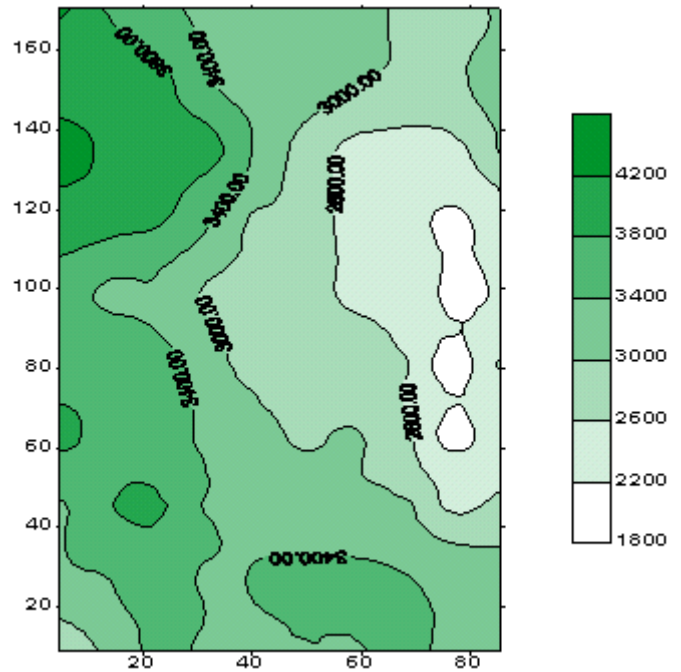


Fig 2: Distribución espacial del rendimiento del trigo en un sitio del sudeste bonaerense, tratamiento DU

Bibliografía

Fiez, T E, W L Pan, B C Miller. 1995. Soil Sci. Soc. Am. J. 59: 1666-1671.

Garcia, FO, K P Fabrizio, A Berardo y F Justel. 1998. Actas XVI Congreso Arg de la AACs.

SURFER.1995. SURFER for Windows users guide, Golden Software Inch. Golden, CO, USA.

Gonzalez Montaner, J.H, G.A.Maddonna, M R. Di Napoli. 1997. Field Crop Res. 51:241-252.

Huggins, D. R. and W. L. Pan. 1993. Agron. J. 85: 898-905.

Melchiori, R J M, F O García y H Echeverría. Actas XVII Congreso Arg.de la AACs. En este CD.

Robertson, G. P. 1998. GS+ Geostatistic for the environmental sciences. Gamma Desing Software , Plainwel Michigan. USA.

Statistical Sciences . 1994. S-Plus for windows version 4.0 Seattle WA. USA.

Wibawa, W.D., D.L. Dlundlu, L. J. Swenson, D.G. Hopkins, and W.C. Dahnke. 1993. J Prod Agric 6: 255-261.

