

INVESTIGACIÓN

EVALUACIÓN ESPACIAL DEL NITRÓGENO DISPONIBLE DEL SUELO EN UN CULTIVO DE PAPA cv. SPUNTA EN CÓRDOBA, ARGENTINA¹

Spatial evaluation of available soil nitrogen in a potato crop cv. Spunta in Córdoba, Argentina¹

Antonio de la Casa²*, Gustavo Ovando², Angel Rodríguez², Luciano Bressanini² y Eduardo Buffa²

ABSTRACT

A spatial analysis of the available N in a potato crop (*Solanum tuberosum* L.) cv. Spunta is necessary in order to make a diagnosis of the local fertilization practice and to provide evidence on a potential environmental risk problem from nitrate wash. For this purpose a sampling scheme was designed during the 2000 season that consisted of a rectangular grid of 3 x 10 stations. Samples were taken on two dates (21/3 and 14/04) and at two depths (0-20 and 20-40 cm). The soil water content on both dates resulted to be high and hardly variable (coefficient of variation (CV < 7%) due to the samplings being carried out after similar rainfall events in quantity and distribution. The spatial variability of the N-NO₃⁻ (CV > 52%) was much higher than the soil water content on both dates. A localized comparison of the available N showed that in the superficial stratum the content of N-NO₃⁻ of all the area was always superior to 7.5 mg kg⁻¹, considered the minimal availability for an optimum growth of the tubers. Between 20 and 40 cm, on the other hand, the content of N was smaller on both dates, and the quantity of N of the latter was below 7.5 mg kg⁻¹ in 31% of the area. This vertical distribution of the N-NO₃⁻, with greater content on the surface, does not guarantee a uniform consumption of N between 0 and 40 cm. At the same time, the greater accumulation of N-NO₃⁻ between 0 and 20 cm demonstrated that leaching did not occur in the profile.

Key words: water content, spatial variability, Haplustol, *Solanum tuberosum*.

RESUMEN

Un análisis espacial del N disponible en un cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) cv. Spunta es necesario a fin de hacer un diagnóstico de la práctica de fertilización localizada y aportar evidencias sobre un potencial problema de riesgo ambiental por lavado de nitratos. Con este propósito se diseñó un esquema de muestreo durante la temporada 2000 que consistió de una grilla rectangular de 3 x 10 estaciones, en dos fechas (21/03 y 14/04) y a dos profundidades (0-20 y 20-40 cm). El contenido de humedad del suelo en ambas fechas resultó elevado y escasamente variable (CV < 7%), en razón que los muestreos fueron realizados con posterioridad a condiciones pluviométricas similares en cantidad y distribución. La variabilidad espacial del N-NO₃⁻ (CV > 52%) fue muy superior a la humedad del suelo en ambas fechas. Una comparación localizada del N disponible mostró que en el estrato superficial el contenido de N-NO₃⁻ de toda el área fue siempre superior a 7,5 mg kg⁻¹, considerada la disponibilidad mínima para un óptimo crecimiento de los tubérculos. Entre 20 y 40 cm, en cambio, el contenido de N fue menor en ambas fechas, y la cantidad de N en la segunda se presentó por debajo de 7,5 mg kg⁻¹ en 31% del lote. Esta distribución vertical del N-NO₃⁻, con mayor contenido en superficie, no garantiza un consumo uniforme de N entre 0 y 40 cm. Al mismo tiempo, la mayor acumulación de N-NO₃⁻ entre 0 y 20 cm demostró que no ocurrió lixiviación en el perfil.

Palabras clave: contenido de agua, variabilidad espacial, Haplustol, *Solanum tuberosum*.

¹ Recepción de originales: 11 de marzo de 2002.

² Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Agropecuarias. cc 509-Ciudad Universitaria, 5000 Córdoba, Argentina. E-mail: delacasa@agro.uncor.edu. *Autor para correspondencia.

INTRODUCCIÓN

El uso de fertilizantes en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) del cinturón verde de la ciudad de Córdoba, Argentina, se realiza en buena medida sobre la base de la experiencia del productor, y con escasa información técnica que en tiempo y forma le permita el manejo más eficiente de los nutrientes incorporados. Por lo general, la fertilización en este esquema tradicional se realiza de manera uniforme aplicando la misma dosis en todo el lote.

Dentro del contexto de la agricultura de precisión, el manejo de un fertilizante con dosis variable supone lograr la reposición del nutriente con la dosis oportuna y necesaria en cada sector del lote o potrero. El manejo con precisión de la fertilización es aplicable a situaciones en las cuales los factores que controlan la disponibilidad de nutrientes para la planta son variables dentro del lote (Pan *et al.*, 1997). En comparación a otros nutrientes poco móviles del suelo, como el P y el K, el manejo con dosis variable del N es más difícil porque su forma soluble o disponible presenta mayor variabilidad. Por otro lado, la utilización de dosis ajustadas a la condición de disponibilidad local puede resultar más beneficiosa desde un punto de vista ambiental, ya que restringe la posibilidad de lixiviación al evitar la fertilización en exceso (Cahn *et al.*, 1994).

La mayoría de los problemas de fertilidad de N están relacionados con la deficiencia en la disponibilidad de éste para las plantas, lo cual reduce el rendimiento y/o la calidad de los cultivos (Olson y Kurtz, 1982). La lixiviación, la escorrentía superficial, la volatilización, la inmovilización como pérdida temporal, y la desnitrificación, son procesos que resultan en la pérdida del N del sistema suelo-planta, creando una condición potencial de deficiencia en el cultivo y de degradación de la calidad del agua y el aire (Mueller *et al.*, 1995; Silgram y Shepherd, 1999).

Feibert *et al.* (1998) propusieron que la dotación de agua de riego no fuera excesiva para evitar el lavado potencial de N en papa. Meyer y Marcum

(1998) evaluaron la influencia de la dosis de fertilización de N y la lámina de riego aplicada sobre el rendimiento y la calidad de la papa, la concentración de N en el tubérculo, la concentración de $N-NO_3^-$ en el peciolo, entre otros aspectos, a fin de evitar problemas ambientales por la aplicación de dosis excesivas de fertilizante.

La evaluación correcta de la dosis de fertilizante a aplicar en una localización particular del lote (potrero) constituye el desafío central para alcanzar los beneficios ambientales y económicos que promueve la fertilización a tasa variable (Gotway *et al.*, 1996).

Pierce y Nowak (1999) consideraron razonable prescribir un manejo de precisión del N usando prácticas de fertilización preventivas, es decir, sólo previas al cultivo, basadas en un balance de N a partir de muestreo de suelo para cuantificar el nitrato residual, cuando la variación temporal del nutriente fuera baja. Por su parte, la fertilización de intervención es más apropiada cuando el cambio temporal que presenta la distribución espacial del nutriente sea de moderado a alto. Un análisis desde esta perspectiva temporal también puede aportar evidencias para hacer un diagnóstico sobre un problema de riesgo ambiental por el eventual lavado de nitratos.

El objetivo específico del trabajo fue evaluar la variabilidad espacial del N disponible en el suelo existente en un lote de siembra comercial de papa del cinturón verde de Córdoba.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó sobre un cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) cv. Spunta, durante la campaña (temporada) semitardía del año 2000, que se extendió entre el 17 de febrero y el 3 de junio. Las observaciones corresponden a un lote de 3 ha de producción comercial del cinturón verde de la ciudad de Córdoba (31° 30' lat. Sur, 64° 08' long. Oeste, 402 m.s.n.m.), donde el cultivo de papa se realiza en forma reiterada desde hace 40 años.

El suelo del sector se clasificó como Haplustol típico, serie Manfredi, limosa fina, mixta, térmica (INTA, 1987), sin limitaciones para la agricultura bajo riego (Lanfranconi *et al.*, 1987), y aparte de la restricción climática, su condición físico-química no muestra otros impedimentos que limiten el crecimiento de las plantas. Para caracterizar la condición edáfica del predio se tomaron muestras compuestas de suelo con posterioridad al ciclo del cultivo, con un barreno de torsión en las profundidades de 0-20, 20-40 y 40-60 cm en los sectores SO, SE, NE y NO del lote. En las muestras, secadas al aire y tamizadas a 2 mm, se determinó: pH actual en relación suelo-agua 1:1 (pH_{1:1 agua}), contenido salino por conductividad eléctrica del extracto acuoso en relación 1:1 (CE_{1:1}), N total (Nt) por Kjeldahl, materia orgánica por oxidación con dicromato de K, P disponible por Bray-Kurtz N° 1 (P_{BK1}), capacidad de adsorción de cationes (valor T) con acetato de amonio normal neutro, Na y K por espectrofotometría de emisión de llama en el extracto aceto-amónico, mediante procedimientos detallados por Sparks (1996).

La fertilización del cultivo se realizó en dosis fraccionadas: al momento de la plantación (17 de febrero) con 200 kg ha⁻¹ de sulfato de amonio (18% N), localizado en la línea de plantación, y durante la etapa de brotación de la papa (10 de marzo), con 150 kg ha⁻¹ de urea (46% N) al voleo, lo que totalizó una incorporación de 103 kg ha⁻¹ de N. El rendimiento general cosechado por el productor fue de 30 t ha⁻¹, considerándose alto respecto a la media regional de 15-17 t ha⁻¹ para esta fecha de siembra (Leguiza *et al.*, 1992).

El muestreo para humedad y nitratos se realizó en dos fechas durante el ciclo: la primera al comienzo de la tuberización (21 de marzo) y la segunda en la etapa de crecimiento del tubérculo (14 de abril), y a dos profundidades (0-20 y 20-40 cm). El análisis en profundidad se restringió a 40 cm en razón del desarrollo superficial del sistema radicular del cultivo, y a la escasa movilidad del agua observada en experiencias anteriores a mayor profundidad (Rodríguez *et al.*, 1997). El esquema

de muestreo consistió de una grilla rectangular de 3 x 10 estaciones, separadas cada 25 m en el sentido N-S y cada 70 m en el sentido de los surcos de riego (E-O).

En cada estación las muestras de suelo fueron extraídas con barreno en cinco puntos para cada profundidad establecida, separados a 1 m sobre el surco. En cada muestra se determinó N-NO₃⁻ mediante electrodo específico (Sparks, 1996) y el contenido gravimétrico de humedad por secado en estufa de aire forzado durante 48 h a 105°C.

Los valores promedio de N-NO₃⁻ y de la humedad de suelo fueron comparados por profundidad y fecha mediante la utilización del estadístico t de Student (Sachs, 1978).

A los efectos de realizar los mapas para representar las condiciones de fertilidad nitrogenada actual y las diferencias entre las dos fechas de muestreo, se aplicó la técnica de interpolación de la inversa de la distancia al cuadrado en razón de la poca cantidad de estaciones de muestreo (30) y la similitud de los resultados respecto al mapa obtenido por krigging (Gotway *et al.*, 1996). En virtud de no poder evaluar objetivamente la existencia de correlación espacial, se asume que las representaciones cartográficas constituyen una aproximación o tendencia del comportamiento observado. El lote no fue regado durante el ciclo de cultivo en razón de la adecuada reposición pluvial de agua.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1 se presentan las características químicas más relevantes del suelo. El pH era medianamente ácido entre 0 y 20 cm y ligeramente ácido entre 20 y 40 cm, pudiendo considerarse adecuado para el cultivo. La MO y el Nitrógeno total (Nt) fueron bajos a muy bajos en todo el perfil (menores a 1,5 y 0,5%, respectivamente). Los contenidos en P y K disponibles resultaron muy superiores a los valores críticos de referencia de 10 mg P_{BK1} kg⁻¹ (Darwich, 1983) y 0,2 cmol+ K kg⁻¹ (Velasco Molina, 1983), respectivamente.

Cuadro 1. Características químicas del suelo (valores medios y desviación estándar (DE) sobre cuatro repeticiones).

Table 1. Chemical characteristics of the soil (mean values and standard deviation (DE) of four repetitions).

Profundidad cm		pH _{1:1 agua} -	CE _{1:1} dS m ⁻¹ , 25°C	Nt %	C	C/N	P _{BK1} mg kg ⁻¹	T cmol+ kg ⁻¹	K
0-20	Media	5,8	0,13	0,08	0,80	10	135	16,6	1,8
	DE	0,142	0,013	0,014	0,14	10	21	0,730	0,135
20-40	Media	6,4	0,14	0,06	0,58	9,7	72,9	18,6	1,6
	DE	0,179	0,033	0,020	0,19	9,5	37,815	1,189	0,228

pH_{1:1 agua}: CE_{1:1}: conductividad eléctrica del extracto acuoso 1:1; Nt: nitrógeno total; C: carbono; C/N: relación carbono:nitrógeno; P_{BK1}: fósforo disponible; T: capacidad de adsorción de cationes; K: potasio.

Las medidas estadísticas descriptivas del contenido hídrico y de N-NO₃⁻ observadas en el ensayo para las dos fechas de muestreo y a dos profundidades se detallan en el Cuadro 2. En ambas fechas la humedad fue 18% entre 0 y 20 cm y 20% entre 20 y 40 cm, con un bajo coeficiente de variación (CV), que por profundidad y fecha resultó inferior a 7%. El contenido de humedad resultó elevado respecto al valor de humedad equivalente característico de este suelo, 21,1% entre 0 y 20 cm y 19,9% entre 20 y 40 cm (Núñez Vázquez *et al.*, 1996). Los registros de lluvia correspondientes a los 10 días previos a cada muestreo totalizaron 46,6 y 46,2 mm, respectivamente (Figura 1), en tanto la temperatura del aire se mantuvo entre 4 y 32°C. La humedad fue similar entre fechas y horizontes en razón que

los muestreos se efectuaron con posterioridad a períodos que presentaron lluvias muy similares en cantidad y distribución.

Los contenidos medios de N-NO₃⁻ en el horizonte superficial fueron 31,3 y 35,5 mg kg⁻¹ para la primera y segunda fecha, respectivamente, sin diferencias significativas entre ambas ($t = 0,702$; $p = 0,48$). En el horizonte inferior los contenidos se redujeron a 13,4 y 9,5 mg kg⁻¹, respectivamente, con diferencia muy significativa ($t = -3,83$; $p = 0,0001$). En contraste con la humedad, el N presentó una variabilidad elevada en ambas fechas y profundidades, con valores del CV superiores a 50%, mayores a lo observado por Cahn *et al.* (1994) y por Gotway *et al.* (1996).

Cuadro 2. Resumen de las medidas estadísticas descriptivas generales de las variables del suelo.

Table 2. Summary of general descriptive statistical measurements of the soil variables.

	Profundidad (cm)	n	Media	Min	Max	DE	CV (%)
21 de marzo							
Humedad (%)	0-20	150	18,4	15,6	23,0	1,1	6
	20-40	150	20,3	16,8	24,5	1,3	6
N-NO ₃ ⁻ (mg kg ⁻¹)	0-20	150	31,3	2,3	257,0	28,5	91
	20-40	150	13,4	3,1	35,4	7,1	53
14 de abril							
Humedad (%)	0-20	141	18,8	15,5	23,4	1,3	7
	20-40	145	19,9	16,4	23,2	1,4	7
N-NO ₃ ⁻ (mg kg ⁻¹)	0-20	141	35,3	0,9	512,0	63,4	179
	20-40	145	9,51	0,6	53,6	10,3	108

n: tamaño de la muestra; DE: desviación estándar; CV: coeficiente de variación.

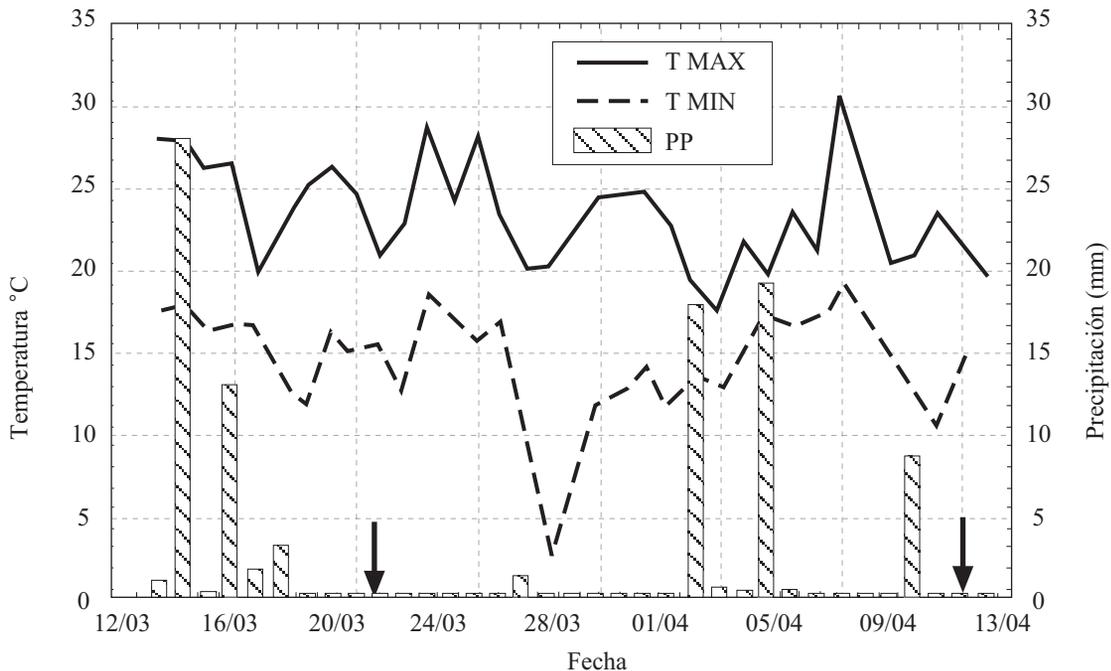


Figura 1. Temperatura máxima (TMAX), mínima (TMIN) y precipitación (PP) de los días previos a los muestreos del 21 de marzo y del 14 de abril de 2000 (el día de muestreo se indica con una flecha).

Figure 1. Maximum (TMAX), minimal (TMIN) temperatures and rainfall (PP) of the days previous to the March 21 and April 14, 2000 samplings (the sampling day is indicated with an arrow).

En la Figura 2 se trazaron las isólinas de 7,5; 15; 30; y 50 mg N kg⁻¹, considerando que un contenido de N-NO₃⁻ del suelo mayor a 7,5 mg N kg⁻¹ durante la estación de crecimiento para un espesor de 0,46 m, permitiría alcanzar un crecimiento óptimo de los tubérculos (Westermann y Kleinkopf, 1985; Feibert *et al.*, 1998).

La Figura 2 muestra que el 21 de marzo toda el área del lote tenía en superficie un contenido superior a 15 mg N kg⁻¹. En la profundidad inferior, en cambio, 72% del área tuvo entre 7,5 y 15 mg N kg⁻¹ y sólo 27% superó 15 mg N kg⁻¹. Posteriormente, el 14 de abril se observó que el contenido de N se mantuvo elevado entre 0 y 20 cm, con 47% del lote entre 15 y 30 mg N kg⁻¹. En profundidad, el 31% del área presentó un contenido deficiente de N-NO₃⁻, menor a 7,5 mg N kg⁻¹ (Westermann y Kleinkopf, 1985).

Comparando la distribución espacial del N disponible entre ambas fechas, entre 20-40 cm, el 14 de abril se verificó que el área con un contenido

de N inferior a 7,5 mg kg⁻¹ correspondió al sector que en la primera fecha presentaba menos de 15 mg kg⁻¹. Asimismo, el área que el 21 de marzo poseía entre 15 y 30 mg kg⁻¹, el 14 de abril disminuyó a valores inferiores, entre 7,5 y 15 mg kg⁻¹. Estos cambios pondrían de manifiesto el efecto de consumo del cultivo.

La Figura 3 presenta las diferencias absolutas en la disponibilidad de N-NO₃⁻ entre las dos fechas para cada profundidad. Entre 0 y 20 cm se presentan tres sectores con puntos máximos de aumento de N mayores a 30 mg kg⁻¹. En cambio, entre 20 y 40 cm predominó la disminución generalizada de 5 a 7,5 mg kg⁻¹.

Cahn *et al.* (1994) explicaron la reducción del contenido de N entre dos fechas de muestreo en un cultivo de maíz (*Zea mays* L.) como consecuencia de lixiviación, desnitrificación o consumo del cultivo. En este caso, la diferencia más importante en el contenido de N-NO₃⁻ ocurrió entre horizontes, demostrando que no existió lixiviación en

profundidad en razón de la baja capacidad de infiltración de este suelo, menor a 5 mm h⁻¹ (Núñez Vázquez *et al.*, 1996). Este valor de infiltración es inferior a los registrados por Cabría y Culot (1996) de 7,5 mm h⁻¹ en el horizonte A₁ de la serie Balcarce (Paleudol petrocálcico) y de 41,3 mm h⁻¹ en la serie Mar del Plata (Argiudol

páquico). Estos suelos son de igual textura que el Haplustol típico en estudio. Según Landon (1984) una infiltración de 5 mm h⁻¹ se considera lenta a moderadamente lenta, con importante pérdida de agua por escorrentía superficial y sin riesgo de desnitrificación ni lavado de nutrientes solubles.

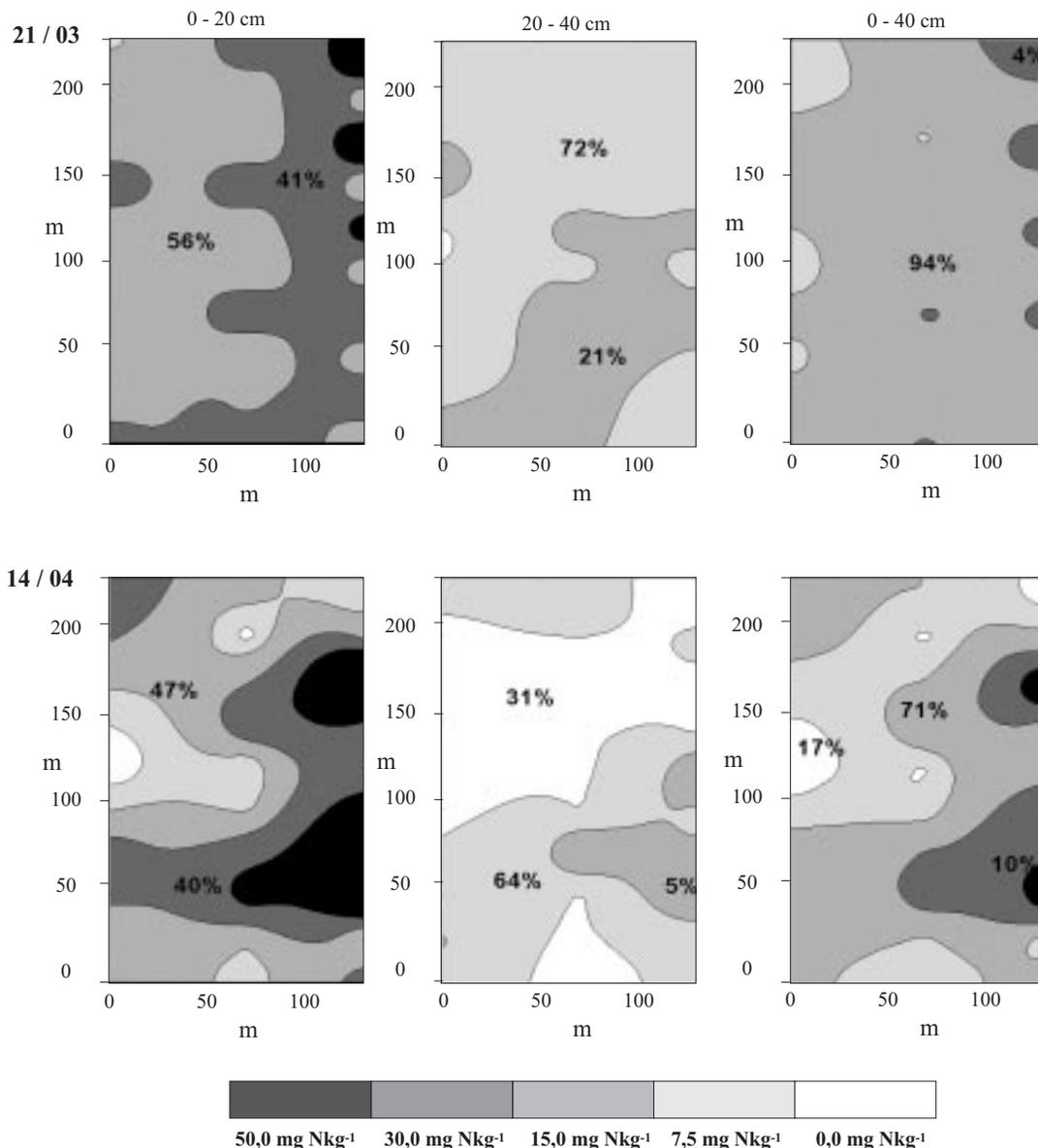


Figura 2. Tendencia de la distribución espacial por fecha y profundidad del contenido de N-NO₃⁻ en el lote de papa (mg N kg⁻¹).

Figure 2. Tendency of the spatial distribution by date and depth of N-NO₃⁻ content in the field of potatoes (mg N kg⁻¹).

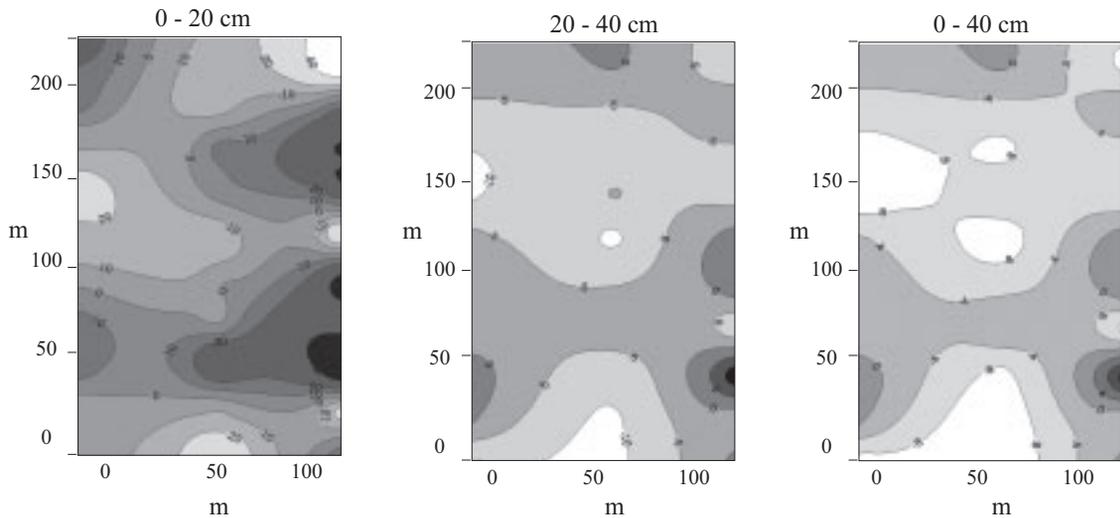


Figura 3. Tendencia de la variación espacial en profundidad de la diferencia en el contenido de N-NO_3^- (mg N kg^{-1}) entre las fechas de muestreo del 14 de abril y el 21 de marzo de 2000.
Figure 3. Tendency of the spatial variation by depth of the difference of N-NO_3^- content (mg N kg^{-1}) between April 14 and the March 21, 2000 sampling dates.

El promedio de ambas profundidades en conjunto (profundidad total de 0 a 40 cm) estuvo por encima de este requerimiento, aún en el segundo muestreo (Figura 2). Sin embargo, el promedio del perfil enmascara las diferencias en la distribución del N determinada por la forma de aplicación del fertilizante. Al distribuir la mayor proporción del N (75%) en superficie como urea, y no habiendo ocurrido lavado en profundidad, se explica su acumulación en el horizonte superficial y la carencia a mayor profundidad.

Si se considera que el consumo de N por el cultivo fue uniforme en la profundidad de 0 a 40 cm, es evidente que esta distribución vertical tan diferente no garantiza un aprovechamiento eficiente del fertilizante. En suelos franco arenosos o de mejor estructura superficial, que presenten mayor capacidad de infiltración, se podría esperar una distribución más uniforme del N en la profundidad del perfil, sujeto al riego y a la intensidad de las lluvias, justificando la aplicación superficial del fertilizante nitrogenado.

CONCLUSIONES

Existe una importante variabilidad espacial del N disponible que debe considerarse a los efectos del eventual manejo localizado de la fertilización. El promedio general no constituye un parámetro adecuado para representar la disponibilidad de N en estas condiciones edáficas, y se justifica el análisis detallado de su variabilidad espacial, en superficie y profundidad, a través del ciclo del cultivo de papa a los efectos de establecer recomendaciones de fertilización nitrogenada.

Los cambios de la concentración de N que se verifican entre dos fechas sugieren que la lixiviación no constituye un mecanismo de pérdida importante en este suelo, en particular porque el horizonte más profundo siempre presentó menor contenido de N soluble.

La disponibilidad del N soluble fue deficiente entre 20 y 40 cm, lo que se encuentra subordinado a la localización superficial del fertilizante que provee la mayor proporción del N.

LITERATURA CITADA

- Cabría, F.N., y J.P. Culot. 1996. Conductividad hidráulica saturada en horizontes superficiales de tres series de suelos del partido de Balcarce, Provincia de Buenos Aires. p. 3-4. Actas XV° Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Santa Rosa, La Pampa, Argentina. 19 al 24 de mayo. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo, Buenos Aires, Argentina.
- Cahn, M.D., J.W. Hummel, and B.H. Brouer. 1994. Spatial analysis of soil fertility for site-specific crop management. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58:1240-1248.
- Darwich, N.A. 1983. Niveles de fósforo asimilable en suelos pampeanos. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (IDIA) Nº 409/412. p. 1-5. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Buenos Aires, Argentina.
- Feibert, E.B.G., C.C. Shock, and L.D. Saunders. 1998. Nitrogen fertilizer requirements of potatoes using carefully scheduled sprinkler irrigation. *HortScience* 33:262-265.
- Gotway, C.A., R.B. Ferguson, G.W. Hergert, and T.A. Peterson. 1996. Comparison of krigging and inverse-distance methods for mapping soil parameters. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60:1237-1247.
- INTA. 1987. Plan Mapa de Suelos, Hoja 3163-32, Oncativo. Carta de suelos de la República Argentina. 82 p. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria y Secretaría Ministerio de Agricultura Ganadería y Recursos Renovables de la Provincia de Córdoba, Córdoba, Argentina.
- Landon, J.R. 1984. Booker tropical soil manual. 450 p. Booker Agriculture Int. Limited, London, England.
- Lanfranconi, L.E., E.A. Tuda, M. Buteler, W. Robledo, M. Fontán, y R. Beretta. 1987. Situación de contexto del área central bajo riego de la provincia de Córdoba. 100 p. Volumen I: Tomo I y II. Estación Experimental Agropecuaria Manfredi (Argentina), Centro Regional Córdoba. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Buenos Aires, Argentina.
- Leguiza, J., D. Ciscar, M. Ramírez, y L. Lanfranconi. 1992. Documento de trabajo del Comité para la Promoción de las Exportaciones Frutihortícolas de la Provincia de Córdoba (CEFRUCOR). Cultivos seleccionados: Papa. 50 p. Convenio Ministerio de Economía de la Provincia de Córdoba-IICA, Córdoba, Argentina.
- Meyer, R.D., and D.B. Marcum. 1998. Potato yield, petiole nitrogen, and soil nitrogen response to water and nitrogen. *Agron. J.* 90:420-429.
- Mueller, D.K., P.A. Hamilton, D.R. Helsel, K.J. Hitt, and B.C. Ruddy. 1995. Nutrients in ground water and surface water of the United States. An analysis of data through 1992. Water-Resources Investigations Report Nº 95-4031. United States Geological Survey, Denver, Colorado, USA.
- Núñez Vázquez, F., H.P. Salas, O. Bachmeier, W. Robledo, E. Lovera, y A. Rollán. 1996. Labranzas en la Región Central de la Provincia de Córdoba. Labranzas en la Región Semiárida Argentina. p. 49-66. *In* D.E. Buschiazzi, J.L. Panigatti, y F.J. Babinec (eds.). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Centro Regional La Pampa, Argentina.
- Olson, R.A., and L.T. Kurtz. 1982. Crop nitrogen requirements, utilization and fertilization. *In* F.J. Stevenson (ed.) Nitrogen in agricultural soils. Agronomy Monograph Nº 22. p. 567-604. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America and Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA.
- Pan, W.L., D.R. Huggins, D.R. Malzer, G.L. Douglas, and J.L. Smith. 1997. Field heterogeneity in soil-plant nitrogen relationships: Implications for site-specific management. *In* F.J. Pierce and E.J. Sadler (eds.). The state of site-specific management for agriculture. ASA Miscellaneous Publication, p. 81-99. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America and Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA.
- Pierce, F.J., and P. Nowak. 1999. Aspects of precision agriculture. *Adv. Agron.* 67:1-85.
- Rodríguez, A.R., A.C. de la Casa, R.H. Accietto, G. Ovando, y L. Bressanini. 1997. La oportunidad del riego determinada por sensores de matriz granular (smg) en relación a los cambios de la condición de cobertura del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L. cv Spunta) afectado por sequía. p. 27-28 (Resumen). VII Reunión Argentina y I Latinoamericana de Agrometeorología, Buenos Aires, Argentina. 28-30 de abril. Asociación Argentina de Agrometeorología, Buenos Aires, Argentina.
- Sachs, L., 1978. Estadística Aplicada. 567 p. Ed. Labor S.A., Barcelona, España.
- Silgram, M., and M.A. Shepherd. 1999. The effects of cultivation on soil nitrogen mineralization. *Adv. Agron.* 65:267-311.
- Sparks, D.L. (ed). 1996. Methods of Soil Analysis. Part 3: Chemical Methods Nº 5 1390 p. Soil Sci. Soc. Am. Book Series, Madison, Wisconsin, USA.
- Velasco Molina, H.A. 1983. Uso y manejo del suelo. 188 p. Limusa, México.
- Westermann, D.T., and G.E. Kleinkopf. 1985. Nitrogen requirements of potatoes. *Agron. J.* 77:616-621.