

EVOLUCION DEL CONTENIDO DE NITROGENO EN EL SISTEMA SUELO-PLANTA EN HIBRIDOS Y LINEAS DE MAIZ

M R DI NÁPOLI, G A MADDONNI

Cátedra de Cerealicultura. Fac. Agronomía. UBA. Av San Martín 4453 (1417). Capital Federal. Argentina.

EVOLUTION OF NITROGEN CONTENT IN THE SOIL-PLANT SYSTEM UNDER MAIZE HYBRIDS AND INBRED LINES

Nitrogen availability is one of the major limiting factors for maize production in the north of Buenos Aires Province, Argentina. The genetic variability in resource demand and the influence of crops on the processes that govern nitrogen dynamics, indicate the importance of studying the soil-plant system. During three years (1992 to 1994), 16 experiments were conducted on maize crops, including inbred lines and hybrids, on Typic Argiudolls. Evolution of $N-NO_3^-$ (both on bare soils and under maize crops) and nitrogen uptake by crops were recorded. For bare soils, evolution of $N-NO_3^-$ showed the effects of cultural practices (mechanical implements and irrigation) and environmental factors (temperature and soil water availability) during the growth cycle. Mineralization measures under maize crops resulted in values close to those obtained with bare soils. Nitrogen uptake by hybrids depended on mineralization and showed a linear response ($r^2=0.93$, $P<0.001$) to total nitrogen availability (initial soil nitrogen + nitrogen released from mineralization). Nitrogen uptake by inbred lines related significantly to initial soil nitrogen ($r^2=0.46$, $P<0.10$). Nitrogen released from mineralization promoted a reduction in nitrogen uptake efficiency in inbred lines.

Key words: Nitrogen availability - Nitrogen mineralization - Nitrogen uptake efficiency - Hybrids - Inbred lines

INTRODUCCION

La tendencia hacia sistemas productivos de altos insumos es creciente en las actividades agrícolas del mundo (Pimentel, Pimentel 1978). Para que estos sistemas sean eficientes es necesario identificar y minimizar los recursos limitantes para aumentar tanto las eficiencias productivas como las económicas y disminuir los posibles problemas de contaminación ambiental (Hubbard, Scheridan 1989). Barberis *et al.* (1985) identificaron entre los factores limitantes de la productividad a los recursos hídrico-nutricionales en cultivos de maíz del norte de la Provincia de Buenos Aires, Argentina. En este sentido demostraron que la respuesta del cultivo a la fertilización nitrogenada se encuentra fuertemente condicionada por la disponibilidad de agua. Asimismo la absorción de nitrógeno estuvo relacionada al nitrógeno inicial y a otras variables de sitio y ambiente que indirectamente reflejarían la importancia de la mineralización durante el ciclo. La dinámica del nitrógeno durante el ciclo del cultivo ha sido estudiada a partir de los seguimientos del $N-NO_3^-$ en suelos cultivados (Zourarakis 1983, Daniel *et al.* 1984; Zourarakis *et al.* 1987). A partir del conocimiento de la interacción suelo-planta sobre los procesos que gobiernan la dinámica del nitrógeno, otros autores han propuesto realizar estudios

considerando ambos componentes del sistema (Delphin *et al.* 1991; Robinson *et al.* 1989, Griffiths, Robinson 1992). Moll *et al.* (1982) y Hibberd y Hall (1990) demostraron la existencia de variabilidad genotípica en la eficiencia de absorción del nitrógeno, especialmente a bajas ofertas. De esta manera, la variabilidad genotípica podría modificar las relaciones funcionales entre la oferta y la demanda de nitrógeno. Por lo tanto, los objetivos planteados fueron: (1) estudiar la evolución del contenido de nitrógeno en el sistema suelo-planta durante la ontogenia del cultivo y (2) relacionar la absorción de nitrógeno de distintos genotipos con la oferta del suelo.

MATERIALES Y METODOS

Evolución del $N-NO_3^-$ en parcelas libres de cultivo y malezas (parcela desnuda)

Cinco lotes de producción de maíz del norte de la Provincia de Buenos Aires, Argentina, fueron seleccionados para el seguimiento del contenido de nitrógeno inorgánico durante el ciclo del cultivo en las campañas 1992/93 y 1993/94. En todos los casos el antecesor fue maíz, cuyo rastrojo fue picado y semiincorporado (disco doble). Las labranzas posteriores fueron cancel, rastra de discos, y siembra. Al momento de la emergencia del cultivo, se delimitaron parcelas de 28 m por 30 m (1 por sitio), las que se ralearon manualmente y se mantuvieron libre de malezas durante todo el ciclo del cultivo adyacente. Las parcelas se ubicaron en el

área central del lote, en zonas topográficamente representativas de la condición general. Las parcelas estuvieron sometidas a los mismos tratamientos aplicados a los cultivos adyacente, y sólo 3 de ellas recibieron laboreo mecánico (escardillo). En la Tabla 1 se detalla la localización de los sitios experimentales, las series de suelo correspondientes, la conducción hídrica y algunas propiedades químicas de cada suelo. En los estados V2, V6, R1 y R6 (Ritchie, Hanway 1982) se realizaron determinaciones del nitrógeno inorgánico ($N-NO_3^-$) en los suelos (Daniel, Marbán 1989). Para ello se obtuvieron muestras cada 20 cm hasta los 80 cm de profundidad, mediante un barreno de 35 ml. De cada profundidad se realizaron 3 submuestreos para constituir una muestra compuesta por estrato. La mineralización neta se calculó como la diferencia del contenido de $N-NO_3^-$ entre estados de desarrollo del cultivo.

Caracterización de la dinámica del nitrógeno en el sistema suelo-planta

Durante las campañas 1992/93, 1993/94 y 1994/95 se condujeron 14 ensayos de maíz en lotes de producción (norte de la Provincia de Buenos Aires, Argentina). Se utilizaron híbridos comerciales y líneas endocriadas. El cultivo antecesor y el sistema de labranza fue similar al descrito en el punto anterior. En todos los ensayos se lograron densidades cercanas a los 75.000 plantas por hectárea. Los híbridos se sembraron a fines de octubre (7 ensayos), mientras que las líneas se sembraron a principios de octubre (5 ensayos) y principios de noviembre (2 ensayos). En la Tabla 1 se detalla la localización de los sitios experimentales, las series de suelo correspondientes, la conducción hídrica y algunas propiedades químicas de cada suelo.

En cada sitio, a la emergencia del cultivo, se delimitaron tres parcelas, de 7 hileras de ancho por 10 m de largo, sobre las cuales se realizaron las siguientes determinaciones: 1) absorción de nitrógeno en planta entera: se muestrearon entre 7 a 8 plantas por parcela (según densidad) en los estados V2, V6 y R6 (líneas) y R6 (híbridos), para la determinación de la biomasa aérea. Luego de ser secadas en estufa (60 °C durante 5 días), fueron molidas (tamiz 2mm) determinándose la concentración de nitrógeno total (método micro Kjeldahl). El valor de nitrógeno absorbido resultó del producto entre biomasa total y la concentración de nitrógeno; 2) contenido de nitrógeno inorgánico en suelo: en los mismos momentos en los que se realizaron los muestreos de planta, se tomaron muestras de suelo según la metodología de muestreo y análisis de $N-NO_3^-$ descrita para las parcelas desnudas; 3) estimaciones de mineralización neta del nitrógeno orgánico del suelo: en este trabajo se definió como mineralización neta (MNN), a la cantidad de $N-NO_3^-$ producida en un intervalo de tiempo dado según la siguiente ecuación:

$$MNN_{i-1,i} = (NABS+NSUE)_i - (NABS+NSUE)_{i-1} \quad (1)$$

donde NABS representa el nitrógeno absorbido en planta entera. NSUE es $N-NO_3^-$ (prof: 0-80 cm) del suelo y $i-1,i$ es el intervalo de tiempo considerado.

Caracterización del ambiente

En cada sitio se calculó el balance hídrico durante 3 etapas del cultivo: siembra-V2; V2-V6; V6-R6, según la siguiente ecuación:

$$\text{Agua actual}_i = \text{Agua actual}_{i-1} + PP_{i-1,i} - ETC_{i-1,i} \quad (2)$$

donde Agua actual representa el contenido de agua del suelo; PP son las precipitaciones; ETC la evotranspiración del cultivo y $i-1,i$

es el intervalo de tiempo considerado.

La ETC fue calculada a partir de la evapotranspiración potencial (ETP) registrada en la estación experimental del INTA-Pergamino, afectada por el coeficiente de cultivo.

En base a la ecuación (2) y considerando el agua retenida a -0.3 bares (CC) y a -1.5 bares (PMP), se calcularon: 1) excesos= agua actual - CC o 2) déficit= PMP - agua actual.

Si agua actual < PMP: déficit = PMP - agua actual. Los porcentajes de agua retenido a CC y PMP se obtuvieron en laboratorio a partir de los muestreos de suelo realizados a la siembra. Los resultados se presentan en la Tabla 2. Los registros térmicos y las precipitaciones fueron registrados en cada uno de los sitios experimentales.

Análisis estadísticos

Se realizaron comparaciones de la MNN entre distintos estados de desarrollo del cultivo y conducción hídrica utilizando los sitios experimentales como repeticiones de los contrastes (Test de medias. Comparaciones independientes). La relación entre el NABS y las distintas fuentes de oferta de nitrógeno (NSUESIEMBRA y MNNTOTAL) se analizó por técnicas de regresión. Funciones no lineales fueron obtenidas mediante la utilización del programa TBLCURVE (Jandel TBLCURVE 1992).

RESULTADOS Y DISCUSION

En la Figura 1 se muestra la evolución del contenido de $N-NO_3^-$ durante el ciclo del cultivo en parcelas desnudas con y sin riego. Entre V2 y R1 no existieron diferencias significativas en el contenido de $N-NO_3^-$ entre las dos conducciones hídricas. En R6 la conducción de secano presentó la mayor cantidad de $N-NO_3^-$ ($P < 0,05$). En R1 ambos perfiles presentaban un contenido de agua (255 mm) próximo a capacidad de campo (280 mm). A partir de los balances hídricos bajo cultivo (Tabla 2) para las

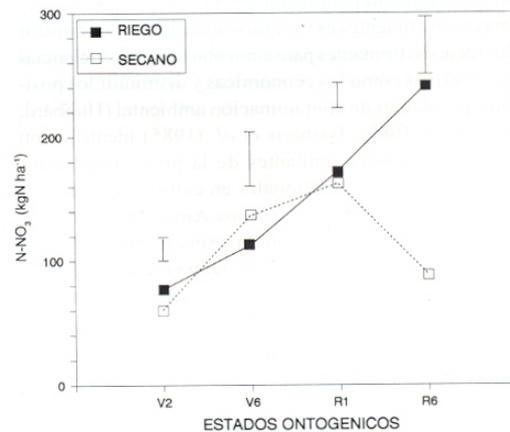


Figura 1. Evolución temporal del contenido de $N-NO_3^-$ en suelo sin cultivo (profundidad 0-80 cm) bajo dos conducciones hídricas (secano y riego). Barras verticales representan el desvío estándar de las diferencias de medias para cada estado ontogénico.

campaña 1992/93 y 1993/94 se presumen para las parcelas desnudas, considerables excesos de agua potencializados por la aplicación del riego (100mm), determinando procesos de pérdida de $N-NO_3^-$ por denitrificación (Bremner, Shaw 1958) o lixiviación (Burns 1976)

Al estado de V6 las parcelas escardilladas presentaban un contenido de $N-NO_3^-$ significativamente superior al resto (146 kgNha^{-1} vs. $86,7 \text{ kgN} \cdot \text{ha}^{-1}$, respectivamente. $P < 0,05$). Probablemente la remoción del suelo y el consecuente incremento en la tasa de difusión de oxígeno afectaron positivamente la tasa de mineralización. Estos resultados concuerdan con lo obtenido por Zourarakis (1983) y Daniel *et al.* (1984) en el estudio de la evolución de $N-NO_3^-$ bajo cultivos de maíz en la misma región. La evolución de $N-NO_3^-$ en el tiempo, puso de manifiesto la importancia del proceso de mineralización como generador de nitrógeno para el cultivo de maíz. Por lo tanto existiría un sincronismo entre la oferta de nitrógeno del suelo y la tasa de demanda por parte del cultivo, la que se incrementa luego de V6 (Hanway 1962).

En tres de los sitios fue posible confrontar la mineralización neta de nitrógeno en parcela desnuda (MNNPD) con la medida bajo cultivo (MNNC). El cociente MNNPD/MNNC resultó próximo a 1 (0,99; 1,0; 1,12). Estos resultados se contraponen con los obtenidos por Delphin *et al.* (1991) quienes encuentran, en condiciones hídricas no limitantes, una sobrestimación en parcela desnuda en la mayoría de sus ensayos. La concordancia entre la MNNPD y la MNNC de nuestros ensayos podría atribuir-

se a la compensación entre el efecto depresor del cultivo sobre las variables del ambiente condicionantes de la mineralización: temperatura (Standford, Smith 1972) y humedad (Echeverría 1994, Maddonni *et al.* 1995) y el efecto promotor a través de la liberación de exudados radicales (Griffiths, Robinson 1992).

La dinámica del nitrógeno en el sistema suelo-planta fue estudiada en 7 ensayos de líneas durante la campaña 1994/95 (Tabla 1). El análisis por etapa de cultivo

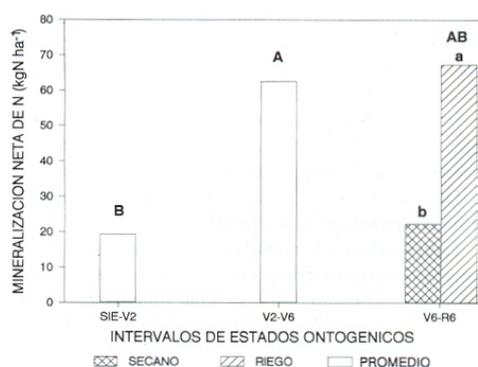


Figura 2. Mineralización neta de nitrógeno bajo cultivo en líneas de maíz durante los intervalos ontogénicos: siembra-V2, V2-V6, V6-R6. Letras mayúsculas permiten comparar entre intervalos. Letras minúsculas permiten comparar el efecto de la conducción hídrica para el intervalo V6-R6.

Tabla 1. Características de los sitios seleccionados para caracterizar la evolución del contenido de nitrógeno ($N-NO_3^-$) en parcelas desnudas y bajo cultivo. ¹Riego gravitacional: desde 10 días preantesis. ²Gran grupo: Argiudol típico; ³profundidad de análisis 0-20 cm; ⁴ profundidad de análisis 0-80 cm; ⁵ análisis de evolución de $N-NO_3^-$ en parcela desnuda y en cultivo; ⁶ análisis de evolución de $N-NO_3^-$ en parcela desnuda; ⁷ $N-NO_3^-$ análisis bajo cultivo.

Año	Localidad	Genotipo	Cond. hídrica	Serie de suelo ²	Carbono total ³ (%)	$N-NO_3^-$ (kg N ha ⁻¹)
1992/93	Salto ⁵	Híbrido	Secano	Rojas	1,55	66,0
	Salto ⁵	Híbrido	Riego ¹	Rojas	1,55	66,0
	Rojas ⁶	Línea	Secano	Rojas	2,09	68,9
	C. Areco ⁶	Línea	Riego ¹	Chacabuco	2,39	55,9
1993/94	Rojas ⁵	Híbrido	Secano	Rojas	2,28	95,8
1994/95	Rojas ⁷	Híbrido	Secano	Rojas	1,40	115,8
	Rojas ⁷	Híbrido	Secano	Rojas	1,33	71,4
	A. Dulce ⁷	Híbrido	Secano	A. Dulce	1,48	77,3
	A. Dulce ⁷	Híbrido	Secano	A. Dulce	1,06	31,3
	Rojas ⁷	Línea	Secano	Rojas	1,76	86,2
	Salto ⁷	Línea	Secano	Rojas	1,87	71,4
	Chacabuco ⁷	Línea	Secano	Rojas	2,04	150,1
	Salto ⁷	Línea	Riego ¹	Rojas	1,72	40,4
	Colón ⁷	Línea	Riego ¹	Hughes	2,02	146,9
	Rojas ⁷	Línea	Riego ¹	Rojas	1,95	161,1
C. Areco ⁷	Línea	Riego ¹	Chacabuco	2,53	157,4	

(Figura 2), muestra una mayor mineralización ($P < 0,05$) durante la etapa V2-V6 con respecto a la etapa anterior (siembra-V2). Esta diferencia podría ser atribuida a la marcha de las temperaturas (temperatura media del aire: 14,5 °C para siembra-V2 y 18,8 °C para V2-V6). Para las temperaturas involucradas, el proceso de mineralización tiene una alta sensibilidad a los cambios térmicos (Standford, Smith 1972). Sin embargo, el incremento en la temperatura media del aire, para la etapa V6-R6 (21,4 °C) no derivó en una mayor mineralización neta. Para este intervalo, la magnitud del déficit hídrico redujo las tasa de mineralización bajo secano (Tabla 2). Para todo el ciclo, la mineralización neta fue similar para las dos conducciones hídricas: secano: 116 kgNha⁻¹, riego: 133 kgNha⁻¹.

En resumen, de las Figuras 1 y 2 se evidencia que los cultivos de maíz experimentan una oferta creciente de nitrógeno durante su ciclo en correspondencia con el régimen térmico, la que puede verse disminuida por la disponibilidad hídrica (excesos y/o deficiencias).

La coincidencia temporal entre los procesos de absorción y mineralización (Figura 1 y 2), sugiere que este último puede ser un componente de gran importancia como fuente de nitrógeno para el cultivo (Moll *et al.* 1982). La Tabla 3 muestra un marcado efecto genotípico en la dependencia de la absorción sobre las fuentes de oferta de nitrógeno (NSUESIEMBRA; MNN). En híbridos la mineralización explicó el 80 por ciento de la variabilidad del nitrógeno total absorbido, mientras que en las líneas la correlación entre mineralización y la absorción resultó no significativa. Estas diferencias estarían determinadas por: 1) una mayor disponibilidad inicial de N-NO₃⁻ en los sitios con líneas respecto a los de híbridos (Tabla 1 y 2) una menor demanda de nitrógeno de las líneas respecto a los híbridos.

En la Figura 3 se presentan las relaciones entre la absorción y la oferta total de nitrógeno (NSUESIEMBRA

+ MNN) para híbridos y líneas. En híbridos el mejor ajuste obtenido ($r^2 = 0,93$ $P < 0,001$) resultó lineal, con una ordenada al origen no distinta de cero. Este modelo muestra eficiencias de absorción constantes, sugiriendo que para el rango de oferta analizado, la disponibilidad de nitrógeno resulta limitante para la absorción. Por el contrario, para las líneas, el modelo de ajuste fue exponencial ($r^2 = 0,97$ $P < 0,001$), evidenciando una continua disminución en la eficiencia de absorción, probablemente asociado a la sobreoferta de nitrógeno que resulta de agregar al

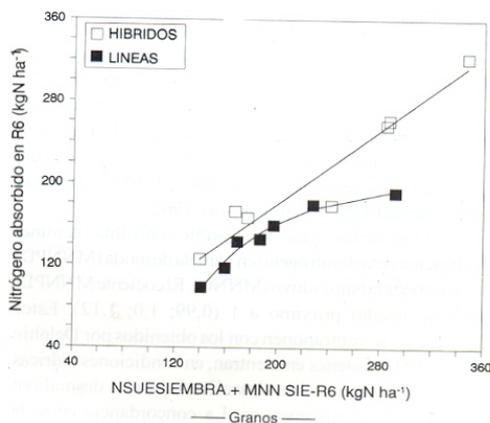


Figura 3. Absorción total de nitrógeno en relación a su oferta (NSUESIEMBRA + MNN) para líneas e híbridos. Se transcriben los modelos de ajuste:

Híbridos: Nitrógeno absorbido = 0,925 N ofertado ($r^2 = 0,93$ $P < 0,001$)

Líneas: Nitrógeno absorbido = $a(1 - \exp(b(N \text{ ofertado} - c)))$
donde $a = 203$ $b = -0,0157$ $c = 99$ ($r^2 = 0,98$ $P < 0,001$)

Tabla 2. a). Contenidos hídricos a la siembra y valores de retención (-0,3 y -15 bares) promedio de los suelos durante las campañas 1992/93 a 1994/95 y b). excesos y déficit hídricos en distintas etapas del cultivo.

a.						
Contenidos hídricos	1992/93		1993/94		1994/95	
1. A la siembra (mm)	264		268		226	
2. A -0,3 bares (mm)	275		279,5		301,1	
3. A -15 bares	170		173		141,4	
b.						
	1992/93		1993/94		1994/95	
	Exceso	Déficit	Exceso	Déficit	Exceso	Déficit
Siembra-V2	20,9	0	18,9	0	0	0
V2-V6	0	0	194,4	0	19,1	0
V6-R6	0	0	0	0	0	100,2

Tabla 3. Coeficientes de determinación (r^2) entre la absorción de nitrógeno en la etapa siembra-R6 con (1) el contenido de nitrógeno inicial (NSUESIEMBRA) y (2) la mineralización neta (MNN) durante el ciclo del cultivo. Se adjunta las significancia estadísticas de las correlaciones ns= no significativo

	NSUE siembra		MNN
	r^2	P	
Híbridos	0,61	<0,05	0,81 <0,01
Líneas	0,46	<0,10	0,09 ns

NSUEsiembra la MNN. Tal como se presenta en la Tabla 2 el NSUEsiembra resultaría el componente principal de la oferta de nitrógeno del sistema. Como se evidencia para todo el rango de oferta de nitrógeno analizado, el híbrido presenta una mayor capacidad de absorción que la línea ante igual oferta, evidenciando cambios en la eficiencia de captación de los recursos impuestos por el material genético (de Wit 1992).

AGRADECIMIENTOS

A la empresa Dekalb Argentina por la colaboración brindada para realizar las determinaciones en híbridos. Los autores también extienden su agradecimiento a RA Ruiz, ME Otegui, J Cárcova, A Laburu y M González Echeveste por su colaboración en la etapa de campo.

REFERENCIAS

- Barberis L, Chamorro E, Baumann Fonay C, Zourarakis D, Canova D, Urricariet S. 1985. Respuesta del cultivo de maíz a la fertilización nitrogenada en la Pampa Ondulada. Campañas 1980/81-1983/84. II. Modelos predictivos y explicativos. Rev. Fac. Agronomía. UBA 6: 65-84
- Bremner J, Shaw K. 1958. Denitrification in soil. 2. Factors affecting denitrification. J. Agric. Sci. 51:40-52
- Burns IG. 1976. Equations to predict the leaching of nitrate uniformly incorporated to a known depth or uniformly distributed throughout a soil profile. J. Agric. Sci. Camb. 86: 305-313
- Daniel P, Marbán L. 1982. Adaptación de un método espectrofotométrico reductivo para la determinación de nitratos en extractos de suelo. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Boletín informativo 58:3-8
- Daniel PE, Hansen O, Zeljkovich V, Marbán L. 1984. Sistemas de labranzas en la rotación trigo/soja-maíz. IV Efecto de diferentes labranzas y de la fertilización nitrogenada sobre la evolución del contenido de nitratos en un suelo cultivado con Maíz. III Congreso Nacional de Maíz, Argentina: 201-205
- de Wit CT. 1992. Resource use efficiency in agriculture. Agric. Systems. 40: 125-151
- Delphin JE, Chapot JY, Schoellen A. 1991. Relations entre le pouvoir minéralisateur des sols et la minéralisation nette de l'azote au champ. Agronomie. 11: 439-445
- Echeverría H, Bergonzi R, Ferrari J. 1994. Un modelo para estimar la mineralización de nitrógeno en suelos del Sudeste de la Provincia de Buenos Aires (Argentina). Ciencia del Suelo. 12: 56-62
- Griffiths B, Robinson D. 1992. Root-induced nitrogen mineralisation: A nitrogen balance model. Plant and Soil. 139: 253-263
- Hanway JJ. 1962. Corn growth and composition in relation to soil fertility: II. Uptake of N, P and K and their distribution in different plant parts during the growing season. Agron. J. 54: 217- 229
- Hibberd DE, Hall BD. 1990. The response of maize and grain sorghum hybrid to nitrogen fertilizer in south-east Queensland. Australian Journal of Experimental Agriculture. 30: 825-831
- Hubbard R, Sheridan S. 1989. Nitrate movement to groundwater in the southeastern coastal plain. Journal of Soil and Water Conservation. 44: 20-26
- Jandel TBLCURVE. 1992. TableCurve. Curve fitting software. Jandel Scientific. Corte Madera. California.
- Maddonni GA, Marbán L, González Montaner JH. 1995. Mineralización del nitrógeno del suelo en el cultivo de trigo: comparaciones entre métodos de campo, laboratorio e invernáculo. Ciencia del Suelo 13: 52-59
- Moll RH, Kamprath EJ, Jackson WA. 1982. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. Agron. J. 74: 562-564
- Pimentel D, Pimentel R. 1978. Food energy and society. Edward Arnold (Ed), London 165 pp.
- Ritchie SW, Hanway JJ. 1982. How a corn plant develops. Iowa State University, Spec. Rep. N48, pp 21.
- Robinson D, Griffiths B, Ritz K, Wheatley R. 1989. Root induced nitrogen mineralisation: A theoretical analysis. Plant and Soil. 117: 185-193
- Stanford G, Smith SJ. 1972. Nitrogen mineralization potentials of soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc.36: 465-472
- Zourarakis D. 1983. Evolución del contenido de nitratos en un Argiudol bajo cultivo de maíz. Ciencia del Suelo. 1: 53-63
- Zourarakis D, Urricariet S, Sierra J, Barberis L. 1987. Mediciones de la capacidad de nitrificación mediante la técnica de incubaciones *in situ* en suelos cultivados. Rev. Fac. Agronomía. UBA. 8: 101-114