

VARIACIONES DEL CONTENIDO DE NO_3^- Y NH_4^+ EN SUELOS, PRODUCIDAS POR APLICACION DE DIVERSAS LAMINAS DE RIEGO

B. Susana Pena y Marta E. Conti (1)

Recibido: 3/10/84

Aceptado: 19/12/84

RESUMEN

Se analiza la magnitud del lavado de nitratos y la producción de amonio de intercambio, en parcelas a campo de un argiudol, con y sin fertilización, y ante agregados de láminas de agua de 10 a 70 mm.

Se determina que a bajas concentraciones de nitratos, la lixiviación no se manifiesta, pero cuando ellas aumentan, el lavado sigue exactamente el movimiento del agua, siendo el fenómeno proporcional al milimetraje aplicado. La percolación alcanzó los 45 cm de profundidad con el agregado de 70 mm de agua.

En condiciones de anegamiento, el pasaje del fertilizante aplicado como nitrato a amonio intercambiable, se efectúa a gran velocidad en la parte superficial del suelo.

"CHANGES IN NO_3^- AND NH_4^+ IN SOILS, PRODUCED BY APPLICATION OF SEVERAL IRRIGATION TABLES"

SUMMARY

Magnitude of nitrate leaching and ammonium exchangeable production, are studied in an Argiudol, with addition of water equivalent to amounts of irrigation between 10 and 70 mm. The experiments were conducted on control and fertilized plots.

With low nitrate concentration leaching doesn't appear, but when it raises, leaching follows exactly, water mobility.

This fact is proportional to millimeters of water applied, and nitrate content in soils. Percolation reaches 45 cm with 70 mm of water addition.

When environmental conditions are favourable, fertilizer applied changes fast from nitrate into exchangeable ammonium in the upper layer of the soil.

1) Becaria e Investigadora de CONICET, respectivamente.

INTRODUCCION

El tema de la lixiviación de N bajo la forma de nitratos, ha sido vastamente tratado en el ámbito internacional desde principios de siglo, tanto a través de experimentos con columnas de suelo, como en ensayos de parcelas a campo.

Sin duda alguna, las mejores evidencias de la existencia de pérdidas por lavado y cuantificación de la magnitud de las mismas, provienen de trabajos efectuados con lisímetros. Allison (1955, 1966) se ha ocupado extensamente de este tema, sugiriendo que la principal fuente de pérdida de N en los suelos dedicados a prácticas agrícolas comunes es, probablemente, la lixiviación que, por lo común, se observa durante las estaciones de otoño y primavera.

La revisión de los trabajos más modernos, permite ver que no existen reglas generales. De hecho, las interpretaciones varían de un tipo de suelo a otro, de un tipo de práctica de manejo a otro e, incluso, de año a año, en razón de las distintas condiciones meteorológicas (Black *et al.*, 1976; Wild *et al.*, 1976; Shuford *et al.*, 1977; Smika *et al.*, 1980).

En lo que a la Argentina se refiere, el fenómeno en cuestión es estudiado desde 1965, con conclusiones no muy uniformes, lo cual es comprensible si se considera el amplio rango existente en condiciones climáticas y de suelo.

Sin embargo, en la gran mayoría de los trabajos realizados sobre suelos de la zona pampeana, se registra disminución de los valores de nitratos después de lluvias abundantes o intensas (20-70 mm). Esto hace suponer la posibilidad de lavado de nitratos hacia los horizontes inferiores (Navarro, 1970; Giambiagi y Kraljev, 1973; Hein y Panigatti, 1980; Vázquez y Barberis, 1982; Zourarakis, 1983; Conti *et al.*, 1984).

El objetivo de este trabajo, es determinar la magnitud del lavado de nitratos y la producción de amonio intercambiable, en suelos argiudoles, con y sin fertilización, y ante

agregados de agua equivalentes a valores de precipitación entre 10 y 70 mm.

MATERIALES Y METODOS

Ensayo de campo

Se utilizó un sector de campo ubicado en la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires, que había permanecido en campo natural durante aproximadamente diez años. Previo al comienzo del ensayo, se efectuaron dos aradas, con intervalo de 15 días, y se pasó una rastra. A los diez días, se efectuó un muestreo previo con tres repeticiones. Luego el terreno fue subdividido en 9 parcelas de 2,5 x 2 m, en las que se distribuyeron al azar, tres dosis de fertilizante.

Dichas dosis de N, fueron elegidas de acuerdo a los niveles normales de uso en cultivos agrícolas:

1) Testigo (T):	sin fertilizar
2) N1:	60 kg de N/ha
3) N2:	120 kg de N/ha

El fertilizante empleado fue salitre de Chile (NO₃Na), ya que la principal finalidad del trabajo, fue ver la lixiviación de nitratos. Este fue esparcido manualmente, al voleo, en la forma más homogénea posible. Luego se aplicó una lámina de agua equivalente a 10 milímetros de precipitación. Se esperó hasta el día siguiente para que el agua pudiera moverse a través del perfil, y se procedió entonces, al primer muestreo. Se agregaron 20 mm más (lo que hacía una precipitación acumulada de 30 mm) y nuevamente se esperaron 24 horas para la extracción de las muestras. Del mismo modo se prosiguió con el fin de lograr una simulación de 50 y 70 mm de precipitación acumulada.

Quedaron así determinados, cuatro tratamientos:

- 1) 10 mm
- 2) 30 mm
- 3) 50 mm
- 4) 70 mm

Estos valores fueron escogidos teniendo en cuenta el milimetraje promedio de lluvias diarias registradas en la zona núcleo maicera.

Para detectar el posible movimiento del anión nitrato, se muestrearon cuatro capas de 15 cm cada una:

- A 0-15 cm
- B 15-30 cm
- C 30-45 cm
- D 45-60 cm

La extracción de las muestras, se realizó haciendo un pozo de un diámetro aproximado de 30 cm, y 45 cm de profundidad, sacándose material de tres distintos lugares de la pared del mismo. Para la última capa considerada, se reunía el suelo proveniente de tres barrenadas en la base del pozo realizado.

Luego de extraídas, las muestras fueron homogeneizadas, colocadas en bolsas de polietileno de 50 micrones, y llevadas inmediatamente a congelador (-18°C), para su posterior análisis.

Metodología de laboratorio

Los nitratos fueron determinados por el método de destilación propuesto por Bremner (1965), y modificado por Richter, Comunicación personal de M. Richter (Cátedra de Edafología de la Facultad de Agronomía, UBA) que con un mismo extracto permite obtener, tanto el valor de nitratos, como el de amonio intercambiable.

La humedad equivalente, se determinó por el método del goteo (Mizuno *et al.*, 1978).

Diseño experimental y metodología estadística

El experimento fue planeado como factorial de tres parámetros (profundidad-dosis de N-precipitaciones), con tres repeticiones por tratamiento.

Debido a que, tanto en el caso de nitratos como en el de amonio intercambiable, los valores presentaban varianzas en función de las medias y errores no distribuidos en forma normal, fue necesaria la transformación de la escala de datos.

La aplicación de la función $\ln(x + 1)$, fue suficiente para solucionar el problema en los valores de amonio donde, en consecuencia, se efectuó el análisis factorial de los datos transformados, con el correspondiente test de Tuckey en las variables en que se detectaron diferencias significativas.

En el caso de nitratos, dado que la transformación no fue efectiva, se recurrió a la estadística no paramétrica, aplicándose la prueba simple de Kruskal-Wallis, con las correspondientes comparaciones múltiples en los casos en que resultaron necesarias.

RESULTADOS Y DISCUSION

Las características del suelo bajo estudio, se detallan en el Cuadro 1. En ella se destaca, entre otras cosas, las diferencias texturales de los horizontes.

Todos los resultados presentados en los gráficos, son promedios de los valores obtenidos en las parcelas del ensayo.

Movimiento del agua

Siendo el anión nitrato muy poco retenido por el complejo de cambio, suele acompañar en mayor o menor grado, el movimiento del agua en el perfil; por ello, se hace necesario, en primer término, el estudio de la evolución del contenido hídrico.

CUADRO 1: Características del suelo.							
Argiudol: A _p (0-15 cm)		A ₁₂ (15-25 cm)		A ₃ (25-40 cm)		B ₂ (40-80 cm)	
Capa	Prof. (cm)	Textura	Hum. Equiv. %	C. Total %	pH act.	pH en CIK 1N	NO ₃ ppm
A	0-15	Franca	19,90	2,22	6,3	5,5	17,27
B	15-30	Franco-limosa	22,70	0,97	6,7	5,4	12,35
C	30-45	Franco-limosa	22,88	0,55	6,8	5,6	6,17
D	45-60	Fr-arc-limosa	23,02	0,18	7,0	6,0	6,26

Si se comparan las curvas de la Figura 1, con los valores de humedad equivalente del Cuadro 1 se observa que, excepción hecha de la capa A en el muestreo inicial, todos los valores son superiores a ella. Esto implicaría que el movimiento de agua se desarrolló de tal manera, que en ningún caso, las 24 horas de espera entre riegos, fue suficiente para la eliminación total del agua gravitatoria, posiblemente debido a la conductividad hidráulica de los horizontes.

En la capa A, desde el estado inicial hasta la máxima aplicación de agua, las curvas sufren un distanciamiento decreciente, siendo la diferencia entre 50 y 70 milímetros, pequeña. En este último caso se evidencia el punto de saturación total del sistema poroso del suelo.

En la capa B, en 10 y 30 mm, hay valores muy similares, lo que se marca en la superposición de las curvas, pero con 50 y 70 mm, existe una clara separación.

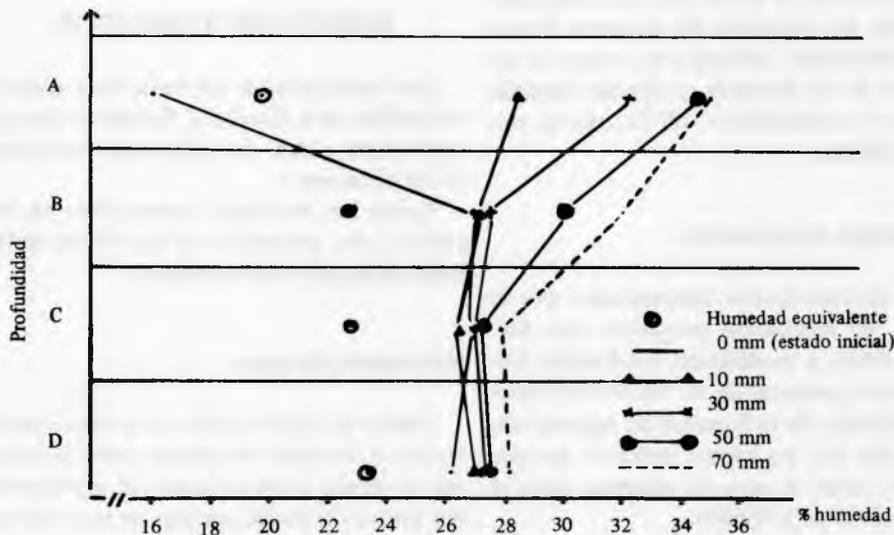


Figura 1: Valores promedio de humedad.

En las capas C y D, el entrecruzamiento no permite visualizar bien el avance del agua; sin embargo, aunque con muy poca diferencia, las curvas se ubican a partir de los 30 milímetros, de menor a mayor valor de precipitación simulada ($30 < 50 < 70$ mm).

En resumen, el humedecimiento alcanzado con el agregado de 10 y 30 mm, tiene influencia dentro de los primeros 15 cm, el de 50 mm hasta los 30 cm, y el de 70 mm, sólo hasta los 45 cm.

Movimiento de nitratos

Los resultados correspondientes a nitratos, se hallan expuestos en la Figura 2 y el Cuadro 2. Puede observarse que las concentraciones disminuyen significativamente en profundidad.

En el testigo, los niveles del anión estudiado, oscilaron entre 3 y 20 ppm, en coincidencia con los normalmente hallados en la

bibliografía de zonas templadas, para el caso de campo natural. Hay una marcada superposición de curvas entre los tratamientos de precipitación, lo que indica, para esos valores de nitratos, ausencia de movimiento de los mismos hacia capas inferiores.

En el mismo gráfico, se muestra el efecto de la lixiviación, sobre grandes concentraciones de nitratos en el suelo agregados mediante fertilización.

En las parcelas N1, hay un claro distanciamiento de las curvas en la capa A, que se produce en coincidencia con los aumentos de los contenidos de humedad. Esto se debería a que las sucesivas aplicaciones de agua, van disolviendo el fertilizante y lo esparcen más homogéneamente en el volumen del suelo.

Ese distanciamiento, se observa aún en las capas B y C, sólo en la curva de 70 mm, debiéndose, en este último caso, a la llegada de agua a esa profundidad.

Las parcelas N2, presentan, en la capa A,

CUADRO 2: Resultados del Test de Kruskal-Wallis para NO₃-N.

— Diferencias entre profundidades para cada dosis de N.

T	=	38,31 ++
N1	=	29,21 ++
N2	=	34,14 ++

— Diferencias producidas por las distintas láminas de agua agregadas.

Dosis N	Profundidad			
	A	B	C	D
T	6,23 °	4,85 °	4,47 °	6,87 °
N1	10,25 *	9,0 *	7,1 +	4,8 °
N2	10,38 *	9,4 *	7,1 +	6,0 °

++ significativa al 1 %
 * significativo al 5 %
 + significativo al 7,5 %
 ° no significativo.

el mismo panorama que las anteriores, pero con valores más altos. En la B, también se aleja la curva de 70 mm, pero además, se evidencia lixiviación de los nitratos con la aplicación de 50 mm de agua. Esto se produciría porque al haber mayor cantidad de fertilizante, también fue mayor lo solubilizado, permitiendo una más rápida manifestación del fenómeno. La capa C, muestra muy poco distanciamiento; sólo en la curva de 70 mm, se evidencia la llegada de nitratos.

En la capa D, tanto de N1 como de N2, no se producen cambios, es decir que en ningún caso se marca lavado de nitratos más allá de los 45 cm, con los niveles de agua aplicados.

Lo hasta aquí expuesto, se confirma estadísticamente con los resultados del Cuadro 2. Es interesante destacar, que la variabilidad espacial generada por el agregado de nitratos, fue superior en N1 que en N2, debido a las dificultades de distribución homogénea de pequeñas cantidades de fertilizante. Ello hizo que no se detectaran diferencias significativas entre N1 y N2 (dosis de N), a pesar de visualizarse las mismas en la Figura 2, de los valores medios de nitratos.

En resumen, puede deducirse que no se manifiesta lixiviación si las concentraciones de nitratos son bajas, pero que el panorama cambia, cuando los contenidos aumentan. Así, en el tratamiento de 50 mm, el efecto del lavado llega hasta los 30 cm con 120 kg de N/ha, mientras que en el de 70 mm, lo hace hasta una profundidad de 45 cm, tanto con el agregado de 60 como de 120 kg de N.

Se demostraría entonces, que a altas concentraciones de nitratos, la lixiviación de los mismos, sigue la percolación producida por los agregados de agua, siendo el fenómeno proporcional a la cantidad de la misma y dependiendo de las condiciones hidráulicas de los horizontes.

Trasladando estos resultados a lo que ocurre en condiciones de campo, se confirmaría que, en argiudoles de textura franca a franco limosa en horizontes superiores, y franco ar-

cillo limosa en inferiores, los nitratos producidos en los momentos de máxima nitrificación, o los agregados por fertilización, pueden sufrir transporte a profundidades de hasta 45 cm, con lluvias de 70 mm.

Producción de amonio intercambiable

Como el experimento se desarrolló a lo largo de 5 días consecutivos, se consideró de interés el análisis de otra de las formas de N inorgánico, como es el amonio intercambiable que manifestaría si las diferencias ambientales provocadas, (anegamientos sucesivos), con los micro-organismos presentes en el suelo, producían alguna modificación del fertilizante agregado como nitrato.

Los resultados se presentan en la Figura 3, y el Cuadro 3.

Puede observarse, que las concentraciones de amonio intercambiable en el testigo son bajas, oscilando entre 1 y 10 ppm, lo cual coincide con las comúnmente encontradas en la bibliografía.

En ningún tratamiento se encuentran diferencias provocadas por las distintas láminas de agua, pero sí debidas a la profundidad y las dosis de nitrógeno. Esto se comprueba estadísticamente en el Cuadro 3, donde también se ve, que no hay interacciones entre las distintas variables en estudio.

El test de Tuckey muestra que en todas las parcelas, hay discrepancias muy significativas entre las profundidades, siendo mayores los valores en la capa A; luego la B y luego la C. Dichas diferencias, no se presentan entre las capas C y D.

En lo que a dosis de N se refiere, hay variaciones significativas del testigo vs N1 y N2, pero no entre estos dos últimos.

En el gráfico, puede verse que esto sucede casi exclusivamente por el aumento de concentración de amonio en la capa A. Al existir un alto contenido de nitratos, anaerobiosis provocada por los riegos, materia orgánica fermentescible proveniente del campo natu-

Figura 2. Valores promedio de nitratos.

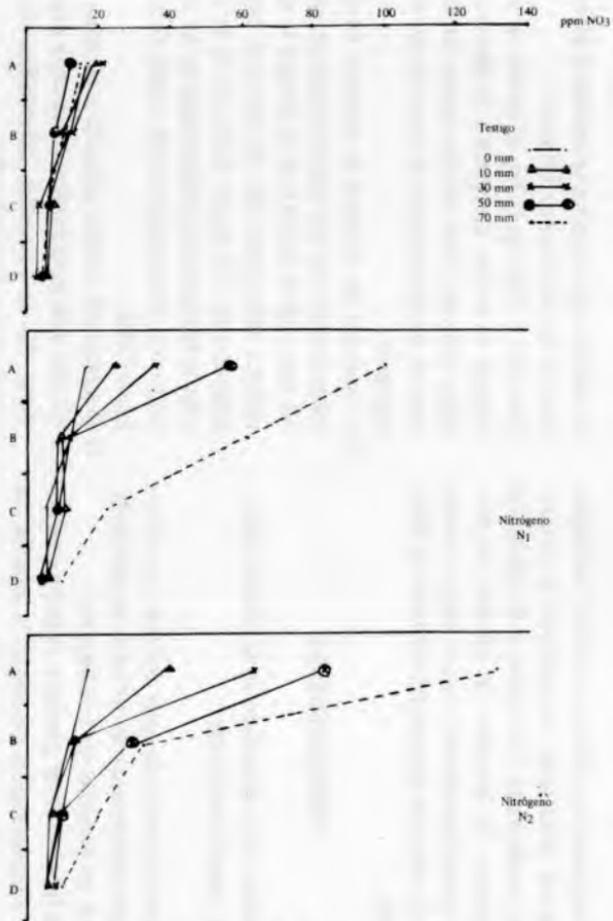


Figura 2: Valores promedio de nitratos.

Figura 3.

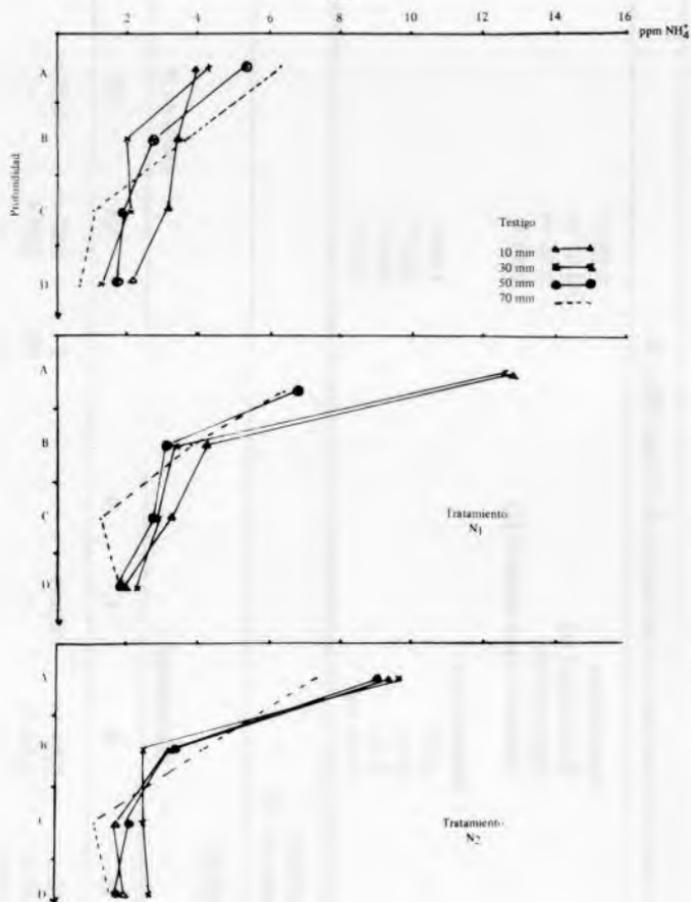


Figura 3: Valores promedio de amonio intercambiable.

CUADRO 3: Resultados análisis factorial (valores de F) para $\text{NH}_4 - \text{N}$.

Tratamientos		3,98 ++						
Profundidad (a)		46,81 ++						
Dosis de N (b)		5,39 ++						
Lámina de agua agregada (c)		2,18 °						
Interacciones								
a x b		1,40 °						
a x c		0,96 °						
b x c		0,61 °						
a x b x c		0,48 °						
° no significativo								
++ significativo al 1 %								
Test de Tuckey								
	Profundidad				Dosis de N			
	A	B	C	D		N1	N2	T
D	1,07 ++	0,44 ++	0,10 °	--	T	0,27 ++	0,20 +	--
C	0,97 ++	0,34 ++	--	--	N2	0,07 °	--	--
B	0,63 ++	--	--	--	N1	--	--	--
A	--	--	--	--				
° no significativo								
+ significativo al 5 %								
++ significativo al 1 %								

ral, temperaturas cálidas y acción fisiológica básica del fertilizante, se produce el conjunto de condiciones favorables a la reducción de nitratos. El aumento de amonio, se produce coincidentemente con el mayor contenido de nitratos agregados mediante la fertilización.

CONCLUSIONES

Dentro de lo abarcado en el ensayo precedente, puede concluirse:

- 1) Con los niveles de agua aplicado, no se detecta movimiento de nitratos en profundidad, en parcelas sin fertilización.
- 2) La lixiviación se produce cuando se eleva la concentración mediante la adición de nitratos. El fenómeno sigue exactamente

el camino que marcan la textura y estructura de los horizontes del suelo.

Con 60 y 120 kg N/ha, el lavado se evidencia en orden creciente a la lámina de agua aplicada. Este factor supera las diferencias producidas por la dosis de nitratos agregada.

- 3) El arrastre de nitratos se produce fundamentalmente en los tratamientos de 50 y 70 mm. En el de 50 mm, el lavado se manifiesta sólo hasta los 30 cm en el tratamiento con 120 kg de N/ha. En el de 70, sólo actúa hasta la profundidad de 45 cm, tanto con el agregado de 60, como de 120 kg de N/ha.
- 4) El pasaje del nitrato aplicado a amonio, se efectúa con gran rapidez en la capa superficial. No se presentan diferencias en las demás capas determinadas.

BIBLIOGRAFIA .

- 1) Allison, F. E., 1955. The enigma of soil N balance Sheets. *Advan. Agron.* 7: 213-250.
- 2) Allison, F. E., 1966. The fate of nitrogen applied to soils. *Advan. Agron.* 18: 219-258.
- 3) Black, A.; S. Waring, 1976. Nitrate leaching and adsorption in a Krasnozem from Redland Bay, Qls, III. Effect of nitrate concentration on adsorption and movement in soil columns. *Austr. J. Soil Res.*, 14: 189-195.
- 4) Bremner, J. M., 1965. en C. A. Black; D. D. Evans; J. L. White; L. E. Ensminger y F. E. Clark (ed.). *Methods of soil Analysis Part. 2 Chemical and microbiological properties.* Cap. 84. Inorganic forms of N.
- 5) Conti, M. E.; A. Rodríguez Janeiro; B. S. Pena, 1985. Distribución y dinámica de los nitratos en argiudoles, series Arroyo Dulce y Delgado, bajo cultivo de maíz. *Ciencia del Suelo*, Vol. 3, Nº 1-2: 126-129.
- 6) Giambiagi, N.; L. Kraljev, 1973. Actividad nitrificadora de distintos perfiles de Florencio Varela. *RIA*, serie 3, 10 (7): 223-236.
- 7) Hein, W. de; J. L. Panigatti, 1980. Evolución de nitratos en argiudoles del centro de Santa Fe. *Actas de la IX Reunión Arg. de la Ciencia del Suelo.* Tomo II.
- 8) Mizuno, I.; N. Arrigo; H. Svartz, 1978. Método rápido para la determinación de humedad equivalente. Presentado a la VIII Reunión Arg. de la Ciencia del Suelo.
- 9) Navarro, C., 1970. Estudio del comportamiento del nitrógeno en suelos del sudeste bonaerense. IV Reunión Arg. de la Ciencia del Suelo. En rev. *NO Arg.* 7: 107-108.
- 10) Shuford, J. W.; D. D. Fritton; D. E. Baker, 1977. Nitrate-nitrogen and chloride movement through undisturbed field soil. *Journal of Environmental Quality*, 6 (3): 255-259.
- 11) Smika, D.; D. E. Heermann; H. Duke; A. Bathchelder, 1977. Nitrate-N percolation through irrigated sandy soil as affected by water management. *Agronomy Journal* 69 (4): 623-626.
- 12) Vázquez, M.; L. A. Barberis, 1982. Variación estacional de la concentración de nitratos en el suelo. *RIA*. 17 (1): 13-22.
- 13) Wild, A.; J. A. Babiker, 1976. Winter leaching of nitrate at sites in southern England. *Technical Bulletin, Ministry of Agriculture, Fisheries and Food*, UK, 32: 153-162.
- 14) Zourarakis, D., 1983. Evolución del contenido de nitratos en un Argiudol bajo cultivo de maíz. *Ciencia del Suelo*, 1 (1): 53-63.