

Penetración de contaminantes a través de un suelo abonado con purín de vacuno. Ensayo con columnas lisimétricas

A. NÚÑEZ DELGADO, E. LÓPEZ PERÍAGO, F. DÍAZ-FIERROS VIQUEIRA

*Departamento de Edafología e Química Agrícola, Fac. Farmacia, Campus Universitario S/N
15706 Santiago de Compostela. España*

Resumen

NÚÑEZ DELGADO, A., LÓPEZ PERÍAGO, E. & DÍAZ-FIERROS VIQUEIRA, F. (1995). Penetración de contaminantes a través de un suelo abonado con purín de vacuno. Ensayo con columnas lisimétricas. *Nova Acta Científica Compostelana (Biología)*, 5: 183-195

Se realizó un ensayo de laboratorio utilizando cuatro columnas rellenas con tres horizontes alterados de un Cambisol húmico, que totalizaban 70 cm, con salidas para percolados a tres alturas. A dos de las columnas se les aplicó purín de vacuno ($300 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) y otras dos se mantuvieron como control. Tras simular lluvia por goteo y después de realizar análisis físico-químicos y microbiológicos en los percolados, se evidenció la retención superficial de potasio y la disminución de los niveles de amonio (del 92% y del 68% de las masas aplicadas de una y otra sustancia, respectivamente); se apreció penetración de nitratos en profundidad, e incluso salieron mayores cantidades que las aplicadas con el purín. Además, en una columna se detectaron estreptococos fecales a 70 cm de profundidad incluso tras recibir un total acumulado de 1639 mm de lluvia.

Palabras clave: Purín de vacuno, columnas lisimétricas, suelo, percolados, amonio, nitratos, microorganismos fecales.

Abstract

NÚÑEZ DELGADO, A., LÓPEZ PERÍAGO, E. & DÍAZ-FIERROS VIQUEIRA, F. (1995). Breakthrough of pollutants in a soil treated with cattle slurry. Lysimetric soil column experiments. *Nova Acta Científica Compostelana (Biología)*, 5: 183-195

We study the breakthrough of several pollutants after the spreading of cattle slurry on lysimetric soil columns. Four soil columns -with 3 different outlets each one- were filled up to 70 cm with a Humic Cambisol to perform the experiment. Two soil columns were added with $300 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ of cattle slurry. Another 2 soil columns were kept as control. Chemical and microbiological analysis were carried out on soil column leachate samples generated with the aid of a rainfall simulator. A clear decrease on potassium and ammonia mass levels (92% and 68% respectively) was shown, but breakthrough of very high levels of nitrates was also found. Even after 1639 mm of accumulated rainfall, fecal streptococci were detected at the deepest outlet level (70 cm deep) in one of the soil columns.

Keywords: Cattle slurry, lysimetric columns, soil, leachates, ammonia, nitrate, fecal microorganisms.

INTRODUCCION

El purín de vacuno es un producto derivado de actividades ganaderas que suele emplearse para fertilizar suelos de cultivo y praderas. Sin embargo, la utilización inadecuada de este abo-

no orgánico puede llevar consigo notables riesgos de contaminación, fundamentalmente de cursos de agua próximos al lugar de aplicación (AMBERGER, 1987; ACKERMAN & TAYLOR, 1985), aunque determinados componentes nocivos, en especial los de origen microbiológico (BOUTIN *et*

al., 1988), también pueden ser transportados por vía atmosférica.

En el purín se encuentran presentes compuestos que originan olores molestos, como el amoníaco, ácidos propiónico y acético, etc (KOWALEWSKY *et al.*, 1980), y sustancias que cuando alcanzan cursos de agua naturales pueden ocasionar problemas sanitarios, o facilitar que en los cauces receptores se superen temporalmente los máximos de concentración permitidos por las legislaciones correspondientes.

A pesar de la variabilidad en la composición (CARBALLAS *et al.*, 1990), los constituyentes del purín que suelen causar problemas más abundantes son los microorganismos patógenos y las sustancias nitrogenadas y fosfatadas, dando origen a procesos infecciosos o haciendo que los niveles de amonio, nitratos o fósforo superen los márgenes de seguridad previstos (NUÑEZ, 1993).

Además, conocer el grado de saturación en agua del suelo receptor, con anterioridad a la aplicación del purín, puede ser indicativo del comportamiento posterior. De este modo, un parámetro como la capacidad invernal de aceptación de lluvia puede llevar a desestimar -o por el contrario señalar la idoneidad- de la aplicación de purín en un terreno concreto para una determinada época (FARQUHARSON, 1978; LEA, 1979; DIAZ-FIERROS *et al.*, 1993).

Por tanto, cuando se realiza un abonado con purín de vacuno sobre un suelo y a continuación se producen precipitaciones -o existen aportes de agua de otros orígenes- es probable que los nutrientes no asimilados por los vegetales, junto con otras sustancias potencialmente tóxicas y microorganismos patógenos, sufran procesos de transporte en profundidad que puedan afectar a las aguas freáticas, o que sean transportados por vía subsuperficial alcanzando finalmente un cauce superficial.

Según VAN GENUCHTEN & WIERENGA (1986), en el transporte de solutos influyen tanto las componentes convectivas (flujo másico) como las difusivas y dispersivas, reguladas por leyes que rigen, por una parte, el desplazamiento de sustancias disueltas en función de gradientes de potencial hidráulico y, por otra, por gradientes de concentración (en la difusión) o diferentes velocidades de flujo (en la dispersión mecánica).

Estas leyes gobiernan el transporte de solutos en medios porosos, tal como el constituido por la matriz edáfica de los suelos. Es precisamente esa red de poros -con tamaños y trazados sinuosos que incluso permiten retener bacterias, o con paredes que presentan superficies activas desde el punto de vista físico-químico y que pueden intervenir en procesos tanto de adsorción como de intercambio iónico- la que puede permitir atenuar el grado de contaminación que afecte a un curso de agua expuesto a la situación de riesgo anteriormente comentada (BOLT *et al.*, 1991). Junto con las funciones mecánicas y de naturaleza físico-química, los vegetales asentados sobre el suelo, a la vez que la flora normal o saprofítica, dan lugar a que la eliminación de nutrientes y de ciertos tóxicos y la biodegradación de compuestos orgánicos o la competencia con los microorganismos espúreos se vea incrementada, proporcionando un grado de protección más o menos importante, en mayor medida cuanto más favorables son las condiciones ambientales (profundidad del suelo, textura, pH, etc) -D'ITRI (1982), BLACK *et al.* (1984)-.

El objetivo de este trabajo es obtener información, a nivel de experiencias de laboratorio, sobre la evolución de determinados contaminantes a lo largo de un perfil de suelo cuando se aplica purín de vacuno sobre él; un factor fundamental del estudio estriba en el hecho de que el suelo recibe además abundantes precipitaciones, aunque sin llegar a condiciones de humedad a saturación. Para alcanzar el objetivo propuesto se analiza la capacidad depuradora del suelo en cuestión, tanto frente a sustancias químicas como a microorganismos fecales.

MATERIAL Y METODOS

Suelo

Las columnas lisimétricas se rellenaron con tres horizontes de un suelo (Cambisol húmico, FAO, 1988), que originalmente se asentaba sobre un sustrato de anfíbolitas. Su uso actual es el de monte, con abundancia de *Pinus pinaster*. De este suelo se muestrearon por separado los horizontes A (0-20 cm), B (20-60 cm) y C (60-90

cm). Las muestras fueron secadas al aire y tamizadas con 2 mm de luz de malla.

En la Tabla I se indican las características del suelo y los métodos analíticos utilizados para su caracterización.

TABLA I. Características del suelo (Cambisol húmico)

Horizonte	A	B	C
pH _{H2O}	5,2	4,5	6,0
pH _{KCl}	4,5	3,9	4,6
%C	7,09	0,58	0,15
%N-Kjeldahl	0,394	0,057	0
Densidad real (g cm ⁻³)	2,47	2,79	2,85
Arcilla (<2 µm) %	22,2	25,42	12,80
Limo fino (20-2 µm) %	19,0	11,59	18,00
Limo grueso (50-20 µm) %	15,3	11,14	13,90
Arena fina (200-50 µm) %	23,9	26,49	37,80
Arena gruesa (2-0,2 mm) %	19,6	25,36	17,5
Textura	(a)	(b)	(c)
C.I.C. (cmol(+) kg ⁻¹)	10,84	5,87	8,39
Sodio de cambio (cmol(+) Kg ⁻¹)	0,49	0,20	0,91
Potasio de cambio (cmol(+) Kg ⁻¹)	0,13	0,01	0,18
Calcio de cambio (cmol(+) Kg ⁻¹)	0,5	0,08	1,36
Magnesio de cambio (cmol(+) Kg ⁻¹)	0,25	0,06	2,15
Suma bases de cambio (cmol(+) Kg ⁻¹)	1,37	0,35	4,60
Saturación en bases de cambio (%)	12,63	5,96	54,83

(a)= franco; (b)= franco-arcillo-arenoso; (c)= franco-arenoso; C.I.C.= capacidad de intercambio catiónico. Análisis: carbono total según el método de Sauerlandt; nitrógeno total: método de Kjeldahl; densidad real: método del picnómetro; análisis granulométrico siguiendo el método internacional de análisis mecánico; capacidad de cambio catiónico según el método del acetato amónico; bases de cambio: sodio y potasio se cuantificaron por espectrofotometría de emisión atómica, calcio y magnesio por absorción atómica. El conjunto de métodos citados se describen en GUTIÁN & CARBALLAS (1976).

Con el fin de que el suelo que se iba a introducir en las columnas no presentase una conductividad hidráulica excesivamente limitante, que podría dificultar el trabajo en condiciones de humedad a no saturación que se planificaba realizar, cada uno de los tres horizontes fue mezclado homogéneamente con un 20% en peso de gravas y piedras, previamente separadas a partir del mismo suelo, machacadas y

tamizadas para recoger la fracción comprendida entre 0,5 y 5 mm.

En este suelo, el horizonte B es el que ha experimentado un proceso edafológico evolutivo más marcado, sin embargo es el horizonte A el que sufre modificaciones más frecuentes y continuos rejuvenecimientos, debido a la superposición de procesos de incorporación de materia orgánica y sales minerales procedentes de los restos vegetales que recibe y de procesos de arrastre lateral favorecidos por la presencia de una pendiente moderada.

Purín

En la Tabla II se indican las características del purín de vacuno utilizado.

TABLA II. Características del purín aplicado a las columnas

pH	7,1
C.E. µS cm ⁻¹	2524
PO ₄ ³⁻ mg L ⁻¹	186
Na mg L ⁻¹	229
K mg L ⁻¹	995
Ca mg L ⁻¹	460
Mg mg L ⁻¹	50,7
NH ₄ ⁺ mg L ⁻¹	317,4
NO ₃ ⁻ mg L ⁻¹	2,1

Análisis: pH, conductividad eléctrica (C.E.), ortofosfatos (método del ácido ascórbico), sodio y potasio (espectrometría de emisión atómica), calcio y magnesio (espectrometría de absorción atómica); todos ellos según las normas de la APHA (1975); amonio y nitratos: método de BREMNER & KEENEY (1965).

Columnas lisimétricas

Las columnas, construidas en metacrilato, fueron concebidas con el objetivo de que permitiesen el muestreo de líquidos de percolación a tres alturas distintas, coincidentes con las zonas de transición entre los horizontes de suelo con que eran rellenadas. La recogida de percolados se realizó mediante tubos laterales, situados a 20 cm de la superficie (lateral superior= LS), a 45 cm (lateral inferior= LI) y a 70 cm de profundidad (por medio de una salida situada en un embudo terminal, EM). Cada columna constaba

de tres segmentos cilíndricos de 25 cm de longitud y 7,5 cm de diámetro interno. En cada segmento de columna se introdujeron cantidades conocidas de la mezcla de suelo y gravas, que a continuación sufrían asentamiento en húmedo. En los tubos de vertido lateral se introducía un fragmento de gomaespuma que impedía la pérdida de suelo; en el tercio inferior de cada columna se colocaba un embudo, con una fina malla de nilón en su vértice interior y relleno con gravas del horizonte C.

Se utilizaron cuatro columnas, cada una rellena con los tres horizontes de suelo superpuestos en su interior. Dos de ellas se destinaron a recibir la aplicación de purín de vacuno (columnas P1 y P2) y otras dos se mantuvieron como control (columnas O1 y O2).

Algunas características de las columnas son:

a) volumen interior de cada columna = 3313,40 cm³

b) volumen real ocupado por suelo en el interior de cada columna = 3114,69 cm³

c) densidad aparente (g cm⁻³), calculada a partir de las masas de materiales introducidas y los volúmenes que ocupan:

	P1	P2	O1	O2
horizonte A	1,06	0,90	0,85	0,89
horizonte B	1,37	1,21	1,18	1,24
horizonte C	1,04	1,23	1,06	1,11

d) porosidad total (%) y volúmenes ocupados por poros en el interior de cada columna; la primera calculada a partir de: $Porosidad = 100(dr - da)/dr$, siendo dr la densidad real y da la densidad aparente; los volúmenes de poros calculados conociendo el volumen ocupado por el suelo y su porosidad:

	Porosidad (%)	Volumen ocupado por poros (cm ³)
Columna P1	57,17	1780,67
Columna P2	59,01	1837,98
Columna O1	62,04	1932,35
Columna O2	60,19	1874,73

Diseño experimental

El ensayo se realizó con ayuda de un simulador de lluvia por goteo, constituido por un depósito principal con agua destilada que alimentaba a su vez a otro secundario en el momento en que descendía 1 cm el nivel de agua en este último. Desde el depósito secundario el agua destilada pasaba a un tubo de PVC en el que se habían introducido tubos capilares en perforaciones practicadas en los puntos desde los que se deseaba que se produjese el goteo. Se reguló la velocidad de goteo en cada punto, generalmente completando 2 cm³ min⁻¹; se controló el tiempo de sometimiento a goteo y se midieron los volúmenes vertidos a cada una de las tres alturas de cada columna (lateral superior -LS-, lateral inferior -LI- y embudo terminal -EM).

Durante un tiempo, antes de aplicar el purín a las columnas, se llevó a cabo un proceso de lavado de los suelos por percolación de agua destilada a su través, hasta alcanzar valores basales en los parámetros físico-químicos de control analizados en los líquidos lixiviados.

Posteriormente, a dos columnas (P1 y P2) se les aplicó en superficie una dosis de purín de vacuno equivalente a 300 m³ ha⁻¹. Otras dos columnas (O1 y O2) se mantuvieron como control.

Tras la aplicación del purín se llevaron a cabo, a lo largo de seis días, episodios de lluvia simulada diaria en condiciones controladas, dando lugar a un grado de humedad no saturante en el suelo. Cada uno de los días se recogieron diferentes muestras de cada una de las salidas a las tres alturas de las columnas, a la vez que se registraban los volúmenes de líquidos vertidos a través de cada una de las salidas (determinados por pesada). El primero y el último día se recogieron además muestras destinadas a los análisis de tipo bacteriológico, y para ello se emplearon recipientes de vidrio esterilizados y dotados de cierre hermético.

Las cantidades de lluvia simulada que circularon a través de las distintas columnas alcanzaron los 1100 mm (L m⁻²) en la P1, 1639 mm en la P2, 1920 mm en la O1 y 2350 mm en la O2.

TABLA III. Conductividad eléctrica, pH y potasio medidos en percolados correspondientes a tres muestreos (1°, 2° y 3°) efectuados antes de aplicar el purín

COL.		C.E. ($\mu\text{S cm}^{-1}$)			pH			K (mg L^{-1})	
		1°	2°	3°	1°	2°	3°	1°	2°
P1	LS	31	23	10	5,6	6,0	6,1	0,56	n.d.
	LI	43	37	22	6,1	5,8	5,1	0,56	n.d.
	EM	24	24	23	6,7	7,1	7,0	0,36	3,67
P2	LS	61	48	22	6,2	5,4	5,9	0,76	n.d.
	LI	50	58	20	6,6	6,3	6,3	0,56	n.d.
	EM	77	59	33	6,6	6,9	7,1	0,56	4,46
O1	LS	62	47	17	5,9	5,5	6,2	0,36	n.d.
	LI	56	48	33	6,7	6,5	6,8	0,36	0,99
	EM	62	58	40	6,5	6,8	6,8	0,16	8,23
O2	LS	55	44	24	6,3	4,5	6,4	0,36	n.d.
	LI	69	63	33	6,7	6,4	6,4	0,56	n.d.
	EM	69	65	29	6,6	6,9	7,1	0,56	5,65

LS= lateral superior; LI= lateral inferior; EM= embudo terminal; n.d. = no detectado ($<0,09 \text{ mg L}^{-1}$)

En las muestras de percolados se practicaron las siguientes determinaciones: pH, conductividad eléctrica, amonio, nitratos y potasio, empleando los métodos citados para el análisis del purín.

Además, para las determinaciones bacteriológicas (coliformes y estreptococos fecales), se utilizó el método del número más probable (NMP), empleando los medios de cultivo especificados en la Orden de 27 de julio de 1983 (B.O.E. número 193 del 13 de Agosto de 1983).

RESULTADOS Y DISCUSION

Antes del abonado

En la Tabla III se muestran los resultados de los análisis de los percolados con anterioridad a la aplicación del purín. Estos valores se pueden considerar indicativos de los niveles basales en las columnas.

Tras el abonado

Tras la aplicación del purín a las columnas se obtuvieron los siguientes resultados analíticos en los percolados:

Determinaciones físico-químicas

En la Fig. 1 se observa que en las columnas abonadas (P1 y P2) se produce un descenso claro en los valores de pH de los percolados recogidos a 20 cm (LS), respecto a los valores previos a la aplicación del purín. La columna P2 presenta sin embargo un aumento de pH el día siguiente al abonado, pero rápidamente experimenta una acidificación, volviendo a valores estables a continuación. Se observa además que, en la columna P1, a 20 cm (LS) se mantienen los valores ácidos a lo largo de todos los muestreos, mientras que a mayor profundidad (45 y 70 cm - LI y EM-) los percolados presentan valores del orden de los anteriores al abonado; lo mismo

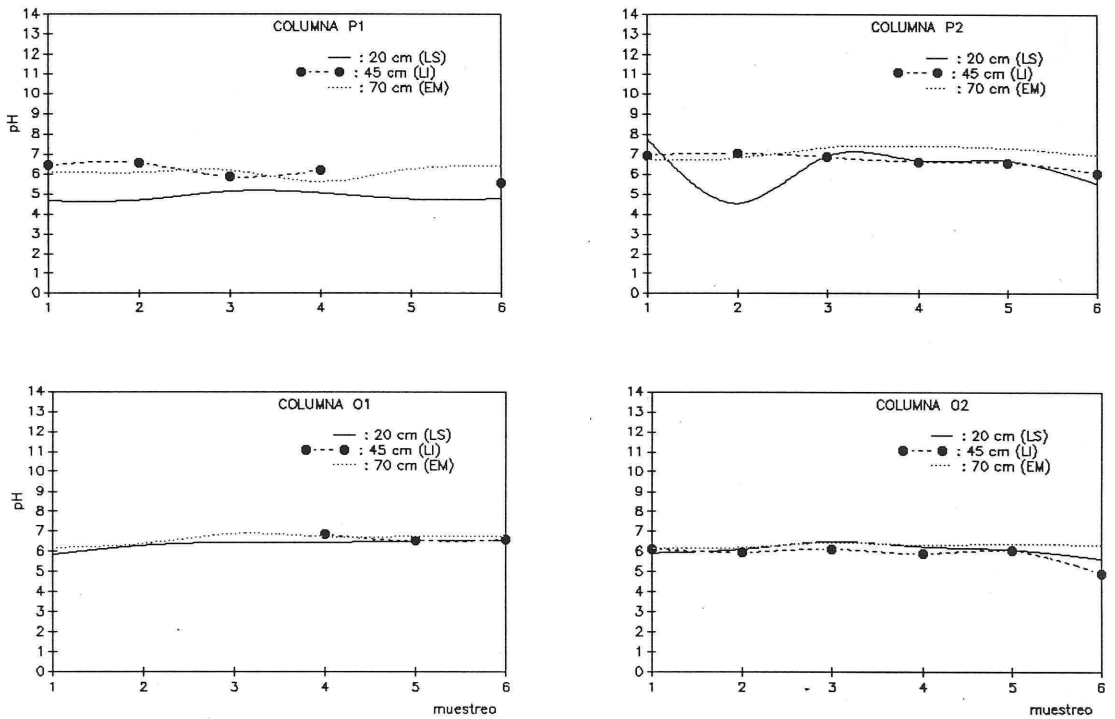


Fig. 1. Evolución del pH en las distintas columnas, tras el abonado.

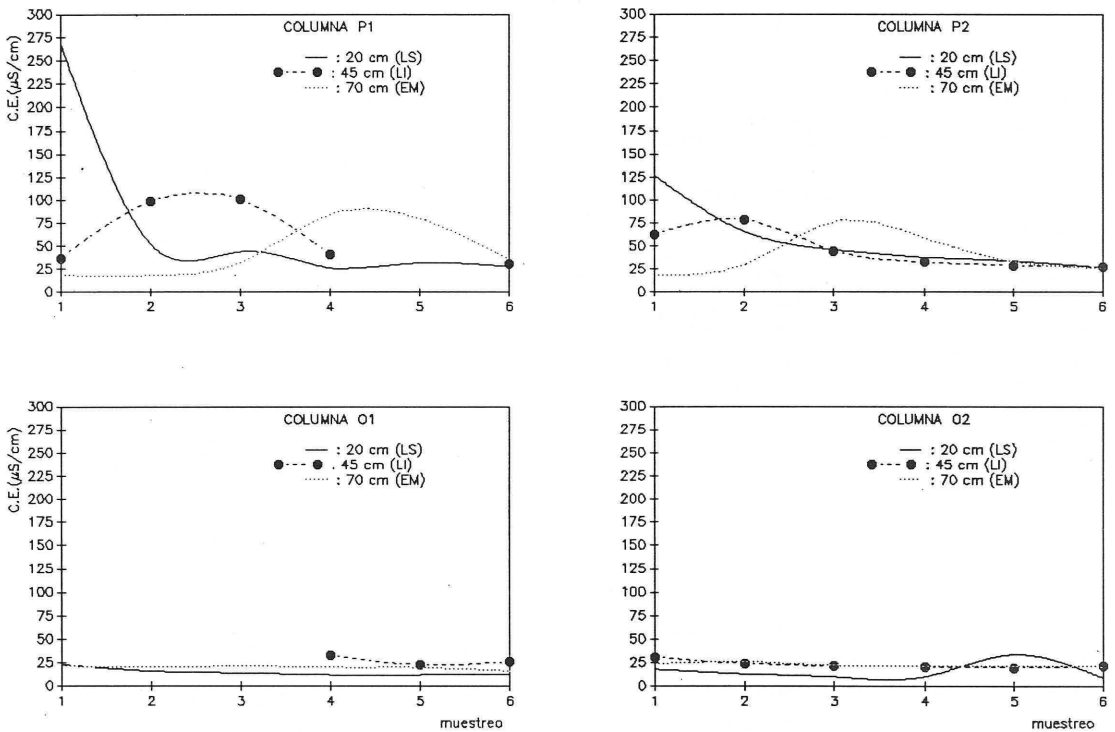


Fig. 2. Evolución de los valores de conductividad eléctrica tras el abonado de las columnas.

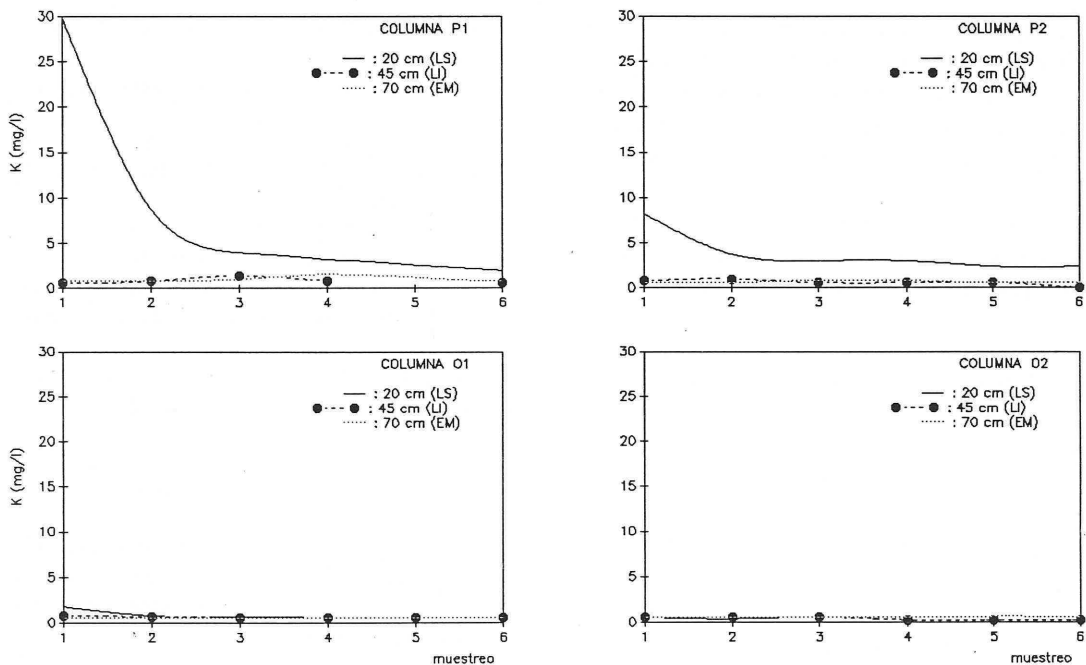


Fig. 3. Evolución de los niveles de potasio tras el abonado de las columnas.

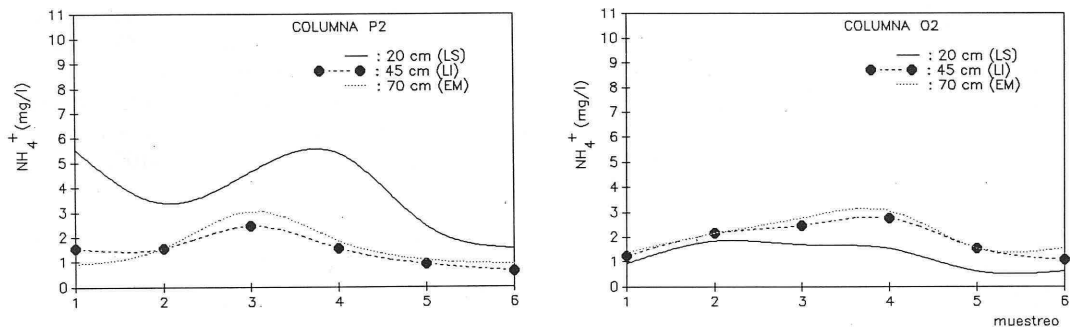


Fig. 4. Evolución de los niveles de amonio tras el abonado de las columnas.

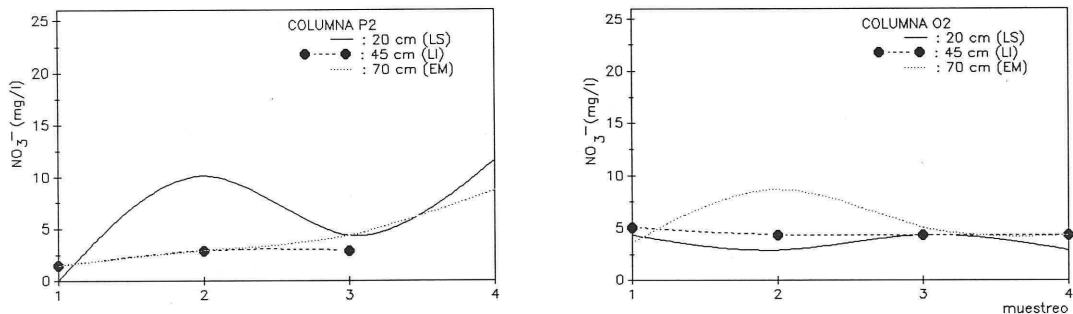


Fig. 5. Evolución de los niveles de nitratos tras el abonado de las columnas.

ocurre a 45 y 70 cm en la columna P2; esto hace pensar que el poder tamponador del suelo evitó que se manifestasen variaciones en el pH a esas profundidades del perfil. Los pH de los percolados de las columnas blanco (O1 y O2) son más ácidos en el primer muestreo tras el abonado de sus homólogas que en el último de los anteriores a la fertilización (aunque no tan acusados como en los LS de las columnas abonadas); en los muestreos siguientes, los pH suben generalmente, manifestando ligeras oscilaciones en torno a los valores previos. La acidificación de los percolados que atraviesan los horizontes superiores -salidas LS- de las columnas abonadas, que se produce a pesar del pH 7,1 del purín, puede deberse a la retención de gran parte del potasio contenido en el fertilizante -y previsiblemente también de otros cationes cambiables que presentan reacción alcalina- ya en la zona superior del perfil, junto con el desplazamiento de hidrogeniones de cambio tras la liberación de H^+ del suelo. El descenso inicial del pH en las columnas blanco se explica considerando que, durante el período de no percolación que precedió al abonado, se pudieron producir modificaciones parciales de las condiciones de equilibrio del sistema suelo-agua con respecto a las que se daban en el momento de realizar el último muestreo previo.

En la Fig. 2 se aprecia, para las columnas abonadas (P1 y P2), una evolución de las lecturas de conductividad eléctrica coherente con el transporte de las sales solubles: un descenso inicial a 20 cm de profundidad (LS), seguido de un aumento a 45 cm (LI) y de un aumento posterior a 70 cm (EM), a medida que van siendo desplazadas las sales hacia las distintas salidas. Dentro de las columnas blanco (O1 y O2) se observan oscilaciones poco significativas.

El potasio (Fig. 3) prácticamente no se hace evidente -en niveles mayores a los de los blancos- a profundidades superiores a 20 cm (LS). Esto es debido a su fijación a las arcillas y a la materia orgánica presentes en el horizonte superior -RUBIO, 1993, indica que es consecuencia de la incorporación del K a posiciones fácilmente cambiables o de su adsorción en lugares específicos. SHAVIV *et al.*, 1986, hablan de fijación reversible-. Como información complementa-

ria, RUBIO (1993) señala que la vermiculita es la arcilla predominante en el horizonte superficial en la zona, mientras que SOTO *et al.* (1991) reflejan además la presencia de minerales interestratificados en este suelo. En las columnas blanco se mantienen los niveles de potasio previos al vertido del purín.

En la Fig. 4 se refleja el comportamiento del amonio. Para la columna O2 -un blanco- predomina la estabilidad de los niveles, aunque se observan ciertas fluctuaciones. La columna P2 evidencia su condición de abonada por los niveles relativamente altos de amonio detectados a 20 cm (LS), a pesar de las oscilaciones que se aprecian en las concentraciones y que además tienen un cierto reflejo en LI (a 45 cm) y EM (a 70 cm). Es normal que el amonio tenga poca transcendencia como tal en los niveles inferiores de las columnas, ya que en parte se oxida a nitratos -que sí circulan fácilmente en profundidad- y en parte puede sufrir fijación o cambio iónico en los horizontes superiores.

En la Fig. 5 se aprecian los incrementos de niveles que experimentan los nitratos en la columna P2 (abonada), hecho atribuible a la oxidación de parte del amonio y posterior circulación en profundidad (observado igualmente por ARKADANI *et al.*, 1974); hay que tener en cuenta que con estas columnas se trabajaba en condiciones de flujo no saturante, lo que permitía la entrada de aire en el suelo y facilitaba los procesos oxidativos. Un comportamiento equivalente de los nitratos ha sido descrito en MONTSERRAT (1991), analizando los lixiviados que atraviesan la zona no saturada de un suelo situado sobre un acuífero aluvial. En la columna O2 (blanco) se producen ciertas oscilaciones de niveles debido a la evolución de las moléculas de NO_3^- del propio suelo.

En NÚÑEZ *et al.* (1991) se describe una evolución similar a la comentada, para el conjunto de moléculas de amonio y nitratos, tras la aplicación de purín de vacuno en una pradera asentada sobre anfíbolitas.

Determinaciones de parámetros bacteriológicos

En la Tabla IV se muestran los resultados de los recuentos de microorganismos en percolados obtenidos de las columnas tras aplicar el purín.

TABLA IV. Recuento de microorganismos indicadores de contaminación fecal en los percolados, según el método del número más probable (NMP)

Primer día del ensayo		NMP/100 cm ³	
		Coliformes fecales	Estreptococos fecales
Salida para percolados			
Columna P2	LS	>1100	>1100
	LI	0	0
	EM	0	0
Columna O2	LS	0	0
	LI	0	0
	EM	0	0
Ultimo día del ensayo		NMP/100 cm ³	
		Coliformes fecales	Estreptococos fecales
Salida para percolados			
Columna P2	LS	93	240
	LI	0	0
	EM	0	15

LS= lateral superior (20 cm); LI= lateral inferior (45 cm); EM= embudo terminal (70 cm)

Se observa que en el primer muestreo las bacterias fecales son detectadas sólo en la zona superior del perfil, aunque en número importante. Tras 6 días de lluvia simulada aún aparecían cantidades respetables de estreptococos a 70 cm de profundidad, mientras que los coliformes presentaban recuentos inferiores y a la vez su capacidad de penetración era menor (no hubo positivos ni a 45 ni a 70 cm). A otro nivel de escala, en una experiencia de campo descrita en LOPEZ *et al.* (1994b) se destaca la presencia de estreptococos y coliformes fecales, a 90 cm de profundidad, entre 15 y 38 días tras el vertido de purín de vacuno sobre el suelo que cubre un acuífero libre. Por otro lado, en un estudio sobre el grado de contaminación de pozos de agua en la Terra Cha (Lugo), con intensa actividad ganadera, LOPEZ *et al.* (1994a) encontraron como

principal problema la contaminación por coliformes y estreptococos fecales en un 55,3% de los pozos. Dentro de las sustancias químicas analizadas, la más preocupante era el NO₃⁻, que en un 10,8% de los pozos superaba la concentración de 50 mg L⁻¹.

Atenuación de concentraciones y masas

En la Tabla V se muestran los cocientes entre los niveles de concentración -o de $\mu\text{S cm}^{-1}$, en el caso de la C.E.-, presentes en el purín al inicio de la experiencia, y los niveles detectados en los percolados. En la Tabla VI se han plasmado los porcentajes de atenuación que experimentan tales niveles en los percolados, con respecto igualmente a los medidos inicialmente en el purín. En general son valores de atenuación muy elevados

TABLA V. Cocientes entre los valores de distintos parámetros en el purín y los correspondientes a los percolados

		día 1	día 2	día 3	día 4	día 5	día 6
C.E.							
P1	LS	9,42	48,54	57,36	97,08	78,88	90,14
	LI	68,22	25,49	24,99	61,56	—	81,42
	EM	140,22	140,22	78,88	29,69	31,55	70,11
P2	LS	19,87	38,24	54,87	66,42	74,24	93,48
	LI	40,06	31,95	56,09	76,48	87,03	90,14
	EM	132,84	87,03	32,78	42,78	74,24	97,08
AMONIO							
P2	LS	57,29	93,63	68,70	58,89	129,02	206,10
	LI	206,10	206,10	128,50	206,10	345,00	520,33
	EM	345,00	206,10	103,05	171,57	293,89	345,00
NITRATOS							
P2	LS	—	0,28	0,66	0,10		
	LI	1,98	0,99	0,99	—		
	EM	1,98	0,99	0,66	0,33		
POTASIO							
P1	LS	33,36	114,11	250,63	312,89	384,17	500,00
	LI	1631,15	1228,40	710,71	1228,40	—	1631,15
	EM	1228,40	1228,40	995,00	621,88	829,17	1228,40
P2	LS	119,59	263,93	333,89	333,89	416,32	416,32
	LI	1228,40	995,00	1631,15	1631,15	1631,15	1631,15
	EM	1631,15	1631,15	1228,40	1228,40	1631,15	1631,15

TABLA VI. Porcentajes de atenuación de la concentración ($\mu\text{S cm}^{-1}$ para la C.E.) en los percolados, respecto a los niveles presentes en el purín

		día 1	día 2	día 3	día 4	día 5	día 6
C.E.							
P1	LS	89,38	97,94	98,26	98,97	98,73	98,89
	LI	98,53	96,08	96,00	98,38	—	98,77
	EM	99,29	99,29	98,73	96,63	96,83	98,57
P2	LS	94,97	97,39	98,18	98,49	98,65	98,93
	LI	97,50	96,87	98,22	98,69	98,85	98,89
	EM	99,25	98,85	96,95	97,66	98,65	98,97
AMONIO							
P2	LS	98,25	98,93	98,54	98,30	99,22	99,51
	LI	99,51	99,51	99,22	99,51	99,71	99,81
	EM	99,71	99,51	99,03	99,42	99,66	99,71
NITRATOS							
P2	LS	100	-253,81	-51,43	-910,95		
	LI	49,52	-0,95	-0,95	—		
	EM	49,52	-0,95	-51,43	-203,33		
POTASIO							
P1	LS	97,00	99,12	99,60	99,68	99,74	99,80
	LI	99,94	99,92	99,86	99,92	—	99,94
	EM	99,92	99,92	99,90	99,84	99,88	99,92
P2	LS	99,16	99,62	99,70	99,70	99,76	99,76
	LI	99,92	99,90	99,94	99,94	99,94	99,94
	EM	99,94	99,94	99,92	99,92	99,94	99,94

TABLA VII. Masas (mg) de las distintas sustancias que atravesaron las columnas con los percolados, tras el abonado

		día 1	día 2	día 3	día 4	día 5	día 6
AMONIO							
	LS	1,42	0,47	1,58	0,30	0,39	1,31
P2	LI	0,81	0,42	0,55	0,31	0,13	0,15
	EM	1,09	0,71	1,46	1,28	0,41	0,58
Masa total que atraviesa la columna: 13,37							
NITRATOS							
	LS	0,00	1,03	1,09	1,17		
P2	LI	0,56	0,57	0,47	—		
	EM	1,26	0,98	1,50	4,42		
Masa total que atraviesa la columna: 13,05							
POTASIO							
	LS	4,12	0,78	0,82	0,34	0,20	0,40
P1	LI	0,04	0,01	0,15	0,07	—	0,30
	EM	0,55	0,19	0,48	0,83	0,43	0,81
Masa total que atraviesa la columna: 10,52							
	LS	2,14	0,52	1,02	0,16	0,38	2,03
P2	LI	0,43	0,27	0,14	0,12	0,09	0,15
	EM	0,72	0,28	0,38	0,56	0,23	0,39
Masa total que atraviesa la columna: 10,01							

(los cocientes indican el número de veces que era menor el nivel en el percolado respecto al del purín), aunque hay que tener en cuenta que el vertido de abono tuvo lugar en una sola ocasión, mientras que la generación de percolados con agua destilada se produjo a lo largo de seis días; de esta forma, teniendo en cuenta la dilución correspondiente, la importancia de la eficacia atenuadora del suelo se relativiza. Por otra parte, llaman la atención los porcentajes negativos de atenuación que afectan a los nitratos. En relación con esto, MONTSERRAT (1991), comentando experiencias lisimétricas, indica que la lixiviación de nitratos se encuentra fuertemente condicionada por la cantidad de agua aportada sobre el terreno.

En la Tabla VII se muestran las cantidades de masa de las distintas sustancias que atravesaron las columnas. En cuanto a los nitratos, se comprueba que salen mayores cantidades en los niveles inferiores de los perfiles (salidas EM).

Los porcentajes de atenuación correspondientes a cada salida para percolados, día a día, teniendo en cuenta las masas aplicadas y colectadas de las sustancias analizadas, oscilaron en-

tre el 95,23% y el 99,69% en el caso del amonio; para el potasio variaron entre el 96,87% y el 99,99%; para los nitratos las atenuaciones fueron por lo general negativas. Los porcentajes de atenuación globales para la experiencia completa, por columnas individuales, fueron los siguientes:

	Atenuación global (%)		
	Amonio	Nitratos	Potasio
Columna P2	68,08	-4607,80	92,38
Columna P1			91,99

En definitiva, para el amonio se produjeron atenuaciones netas, aunque es conveniente tener en cuenta que parte de él simplemente se oxida a nitratos -lo que se manifiesta en las atenuaciones negativas de estos-. Los porcentajes de atenuación de las masas de potasio son los mayores observados entre las sustancias analizadas; incluso para las columnas consideradas globalmente, a lo largo de toda la experiencia, no bajan del 92%.

CONCLUSIONES

El grado de atenuación -evaluado tras la comparación de las concentraciones en los percolados que atravesaron las columnas, respecto a las del purín de vacuno que se aplicó sobre ellas- es elevado (superior al 89% en todos los casos, y casi siempre mayor del 95%), salvo para los nitratos, que vieron aumentados sus niveles debido a la oxidación de parte del amonio. Las atenuaciones son fruto tanto de las interacciones con el medio edáfico (adsorción, cambio catiónico, etc) como de la dilución producida con la lluvia simulada que se aplicaba sobre las columnas.

En cuanto a las masas de los contaminantes, los porcentajes de atenuación respecto a los niveles del purín, en los episodios diarios y teniendo en cuenta las distintas salidas de percolados, también fueron importantes: mayores del 95% para el amonio y del 96% para el potasio; sin embargo los nitratos sufrieron aumentos de niveles. Atendiendo al balance global de masas de cada columna, se aprecia que la masa total de amonio en los percolados disminuyó un 68% con respecto a la aplicada con el abono, y la de potasio decreció un 92%; pero la masa total de nitratos aumentó, mostrando un importante grado de penetración de esta sustancia a través del perfil de suelo. Este hecho ha sido reflejado igualmente en experiencias llevadas a cabo a mayor escala, tras la aplicación de purín de vacuno sobre un suelo (LOPEZ *et al.*, 1994b).

En lo referente a parámetros *bacteriológicos*, después de 6 días de lluvia simulada (con una precipitación acumulada equivalente a unos 1600 mm) los estreptococos todavía se detectaban en los percolados del embudo terminal, con valores que alcanzaron los 15 por cada 100 cm³. Esto permite concluir que, incluso a 70 cm de profundidad, las aguas susceptibles no se encontrarían suficientemente protegidas de la contaminación de tipo biótico, si se aplicase un purín de estas características sobre un suelo análogo al empleado. Algunos de nuestros trabajos de campo (LOPEZ *et al.*, 1994a, b) apoyan esta consideración.

En definitiva, se observaron atenuaciones notables de concentraciones y masas, en los

episodios diarios, para todos los parámetros físico-químicos analizados, salvo los nitratos; sin embargo, llevando a cabo los balances de masas de las experiencias completas, considerando el total en cada columna, los resultados de eficacia atenuadora decaen de forma generalizada, e incluso llegan a ser negativos, con lo cual se pone en evidencia (junto con los resultados de los estudios bacteriológicos) que de un sistema de estas características sólo se podría esperar una eficiencia limitada como barrera protectora, y que es recomendable combinarlo con otros medios para asegurar el tratamiento de las aguas cargadas de contaminantes que lo atraviesen.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ACKERMAN, E.O. & TAYLOR, A.G. (1985). Ten reasons why livestock waste management systems fail. *In: Agricultural Waste Utilization and Management: 705-711*. A.S.A.E., St. Joseph.
- AMBERGER, A. (1987). Utilization of organic wastes and its environmental implications. *In: Welte, E. & Szablocs, I. (Eds.), Agricultural Waste Management and Environmental Protection. Vol. 1: 37-54*. C.I.E.C., F.A.R.C., Braunschweig-Voelkenrode.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. (1975). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater Analysis*. 14th ed., Washington, DC.
- ARDAKANI, M.S., REHBOCK, J.T. & McLAREN, A.D. (1974). Oxidation of ammonium to nitrate in a soil column. *Soil Sci. Amer. Proc.*, **38**: 96-99.
- BLACK, S.A., GRAVELAND, D.N., NICHOLAICHUCK, W., SMITH, D.W., TOBIN, R.S., WEBBER, M.D. & BRIDLE, T.R. (1984). *Manual for Land Application of Treated Municipal Wastewater and Sludge*. Environmental Protection Service, Environment Canada, Ottawa.
- BOLETIN OFICIAL DEL ESTADO. (1983). *Orden del Ministerio de Sanidad y Consumo, de 27 de julio de 1983, por la que se establecen métodos oficiales de análisis microbiológicos de aguas potables de consumo público*. B.O.E. Núm. 193, pp. 22393-22400.
- BOLT, G.H., DE BOODT, M.F., HAYES, M.H.B. & McBRIDE, M.B. (1991). *Interactions at the soil colloid-soil solution interface*. NATO ASI Series. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- BOUTIN, P., TORRE, M., SERCEAU, R. & RIDEAU, P.J. (1988). Atmospheric bacterial contamination from

- landspreading of animal wastes: evaluation of the respiratory risk for people nearby. *J. Agric. Engng. Res.*, **39**: 149-160.
- BREMNER, J.M. & KEENEY, D.R. (1965). Steam distillation methods for determination of ammonium, nitrate and nitrite. *Anal. Chim. Acta*, **32**: 485-495.
- CARBALLAS, T., DIAZ-FIERROS, F., ACEA, M.J., CABANEIRO, A., CARBALLAS, M., GIL, F., LEIROS, M.C., LOPEZ, E., NUÑEZ, A. & VILLAR, M.C. (1990). *El Purín de vacuno en Galicia. Caracterización, poder fertilizante y problemas ambientales*. Consellería de Ordenación do Territorio e Obras Públicas, Santiago de Compostela.
- DIAZ-FIERROS, F., NUÑEZ DELGADO, A. & LOPEZ PERIAGO, E. (1993). *As conchas fluviais de Galicia. Características e riscos de contaminación difusa*. Univ. de Santiago. Servicio de Publicacións e Intercambio Científico, Santiago de Compostela.
- D'ITRI, F.M. (1982). *Land treatment of municipal wastewater. Vegetation selection and management*. Ann Arbor Science, Michigan.
- FARQUHARSON, F.A.K. (1978). Estimation of run-off potential of river catchments from soil survey. *Soil Surv. Special Survey No. 11*, 29 pp.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. (1988). *Soil map of the world, revised legend*. World Soil Resources Report 60, FAO, Rome.
- GUITIAN OJEA, F. & CARBALLAS FERNANDEZ, T. (1976). *Técnicas de Análisis de Suelos*. Editorial Pico Sacro, Santiago de Compostela.
- KOWALEWSKY, H.H., SCHEU, R. & VETTER, H. (1980). Measurement of odour emissions and immissions. In: Gasser, J.K. (Ed.), *Effluents from livestock*: 609-634. Appli. Sci. Publ., London.
- LEA, J. W. (1979). Slurry acceptance. *Soil Surv. Technical Monograph*, **13**: 83-100.
- LOPEZ, E., NUÑEZ, A. & DIAZ-FIERROS, F. (1994a). Contaminación biótica y abiótica de pozos en una zona ganadera. In: Rebollo, L.F. (Ed.), *Análisis y Evolución de la Contaminación de las Aguas Subterráneas, T. I.*: 379-391. Asociación Internacional de Hidrogeólogos. Grupo Español. Alcalá de Henares (Madrid).
- LOPEZ, E., NUÑEZ, A. & DIAZ-FIERROS, F. (1994b). Estudio piloto de la transmisión en la zona de vadosa de contaminantes procedentes del purín de vacuno. In: Rebollo, L.F. (Ed.), *Análisis y Evolución de la Contaminación de las Aguas Subterráneas, T. I.*: 393-407. Asociación Internacional de Hidrogeólogos. Grupo Español. Alcalá de Henares (Madrid).
- MONTERRAT, F.X. (1991). Evolución y comportamiento de sustancias nitrogenadas procedentes de fertilizantes agrícolas, en un acuífero libre. *Bol. Geol. Min.*, **102**(2): 247-259.
- NUÑEZ, A., LOPEZ, E. & DIAZ-FIERROS, F. (1991). Contaminación das augas por escorremento superficial en pradeiras en pendente tratadas con purín de vacuno. *Cuad. Area Cienc. Agr.*, **11**: 163-182.
- NUÑEZ DELGADO, A. (1993). *Riesgos de contaminación de las aguas continentales por aplicación de purín sobre praderas en pendiente*. Tesis doctoral (inéd.). Universidad de Santiago de Compostela, Santiago.
- RUBIO ARMESTO, B. (1993). *Dinámica del potasio en suelos gallegos*. Tesis doctoral (inéd.). Universidad de Santiago de Compostela, Santiago.
- SHAVIV, A., JURY, W.A. & PRATT, P.F. (1986). Exchange, fixation, and precipitation of cations during leaching of soils amended with manure: 1. Column experiments. *Soil Sci.*, **141**(3): 237-243.
- SOTO, B., BENITO, E. & DIAZ-FIERROS, F. (1991). Heat-induced degradation processes in forest soils. *Int. J. Wildland Fire*, **1**(3): 147-152.
- VAN GENUCHTEN, M.T. & WIERENGA, P.J. (1986). Solute dispersion coefficients and retardation factors. In: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Part 1*: 1025-1054. A.S.A. & S.S.S.A. Publisher, Madison.