

---

# ENSAYOS DE MOVILIDAD DE COMPUESTOS NITROGENADOS EN ZONA NO SATURADA

**ALMENDRO CANDEL, M<sup>a</sup> Belén; NAVARRO PEDREÑO, José; JORDAN VIDAL, Manuel M.; GARCÍA SÁNCHEZ, Ernesto y MATAIX SOLERA, Jorge**

Departamento de Agroquímica y Medio Ambiente. Universidad Miguel Hernández. Avda. El Ferrocarril s/n. 03202 Elche, Alicante. Tfno: 966658416; Fax: 966658417. e-mail: agromedi@umh.es.

## RESUMEN

La deficiente calidad del agua utilizada para el riego, unida al continuo lavado de terrenos en los que se aplica una gran cantidad de fertilizantes, favorece la mineralización de las aguas de los acuíferos. A fin de reproducir a escala de laboratorio la movilidad de estos contaminantes a través del suelo, se han diseñado un conjunto de experimentos que intentan reproducir el comportamiento de algunos contaminantes en la zona no saturada. La experimentación se basó en un estudio controlado usando columnas. Se efectuaron tres tratamientos del suelo con lodo de depuradora y un ensayo en blanco comparativo. Se realizaron análisis de nitratos, nitritos, amonio y nitrógeno Kjeldahl en muestras de suelo correspondientes a intervalos de 15 cm de profundidad, así como en las aguas lixiviadas recogidas al final de las columnas. Los resultados han puesto de manifiesto la existencia de elevadas concentraciones de nitratos y nitritos en los lixiviados, lo que supone un riesgo de contaminación ambiental. Asimismo, se òne de manifiesto el necesario control en la utilización de lodos y fertilizantes químicos en el levante español en otoño para preparar el suelo de cara a la primavera (siembra), ya que la pluviosidad otoñal puede favorecer la movilización de contaminantes nitrogenados.

**PALABRAS CLAVE:** Suelo, lixiviados, nitratos, nitritos, amonio, contaminación, zona no saturada.

## 1. INTRODUCCIÓN

Buena parte de los acuíferos de la provincia de Alicante, se localizan sobre áreas agrícolas. Éstas, desde principios de la década de los sesenta, han experimentado un continuo y fuerte desarrollo; no obstante, durante los últimos años ha habido un descenso de la superficie cultivada, condicionado por la política agraria comunitaria, la escasa productividad debida, en parte, a la mala calidad de las aguas de riego y la inestabilidad del mercado.

La deficiente calidad del agua utilizada para el riego, unida al continuo lavado de suelos en los que se aplica una gran cantidad de fertilizantes, favorece la elevada mineralización de las aguas de estos acuíferos, siendo especialmente destacables las altas concentraciones de nitratos, sulfatos y cloruros que se alcanza en algunos sectores.

El suelo empleado para la realización de esta experiencia corresponde a un suelo procedente de un abancalamiento realizado en una ladera de poca pendiente, a 500 m de altitud, en una zona situada entre el área de Secanos y el alto de Patot de la población alicantina de Cocentaina. Este suelo está alterado estructuralmente por la acción de la maquinaria encargada de la adecuación del terreno, por lo tanto no hay una distinción clara de horizontes y posee de forma aproximada las mismas características físico-químicas o con escasas variaciones de las mismas a lo largo del perfil, pudiendo equivaler a un Xerorthent cálcico (S.S.S., 1998) con textura franco-arcillosa.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### *Diseño de columnas*

La experimentación se basó en un estudio controlado usando columnas. Para ello, a partir de tubería de PVC de 10,5 cm de diámetro interno cortada en trozos de 15 cm de longitud, se construyeron 48 columnas de 60 cm de altura (profundidad que delimita la acción radicular para la mayoría de las plantas de interés agronómico). Cada columna dispone de cuatro secciones diferenciadas de 15 cm: 0-15 cm, 15-30 cm, 30-45 cm y 45-60 cm, similares a las empleadas por Palazzo y Reynolds (1.991) y por Trudgill y col. (1.991) que las utilizaron para estudiar el movimiento de nitratos en el perfil del suelo. Estas secciones nos permitieron el estudio diferenciado de la movilidad de los compuestos nitrogenados a través de los diferentes horizontes del suelo.

Al final de las columnas se situó un recipiente para recoger el agua infiltrada a través del suelo. Se realizaron tres tratamientos con lodo y un ensayo en blanco o tratamiento testigo, según la cantidad de lodo aplicada, como se indica en la tabla.

<b>Cantidad de lodo (kg/ha)</b>	<b>Denominación</b>
0	L0
30.000	LB
90.000	LM
180.000	LA

El lodo fue aplicado superficialmente y mezclado con el suelo, realizando una mezcla homogénea del mismo con los primeros 15 cm del suelo, tal y como realizaron Cao y col. (1.984), Chang y col. (1.984b), Serna y Pomares (1.991) y Xiu y col. (1.991). Esta mezcla se colocó en la parte superior de la columna, sobre los 45 cm inferiores de suelo sin tratar, preparándose 12 columnas por cada tratamiento.

## *Riegos*

Con el fin de establecer el mayor paralelismo entre condiciones reales y el experimento, se sometió a los suelos contenidos en las columnas a un aporte de agua cada siete días, equivalente a un riego de 100 mm semanales.

El aporte de agua se llevó a cabo mediante un dispositivo que simulaba una lluvia de corta duración o un sistema de riego por inundación que cubre la superficie y después percola en el suelo. Durante el experimento se realizaron 17 riegos, correspondientes a un total de 1.700 mm, lo que puede asociarse a la entrada total de agua de riego por inundación en período de cultivo de hortalizas.

## *Toma de muestra*

Se realizaron cuatro tomas de muestra durante la experimentación con un intervalo de tiempo de un mes entre cada una de ellas. En cada uno de los muestreos se escogieron al azar tres columnas por cada tratamiento y por el ensayo en blanco, es decir, un total de 12 columnas que fueron separadas por horizontes objeto de estudio. Al mismo tiempo que las columnas, se recogieron también las aguas lixiviadas de cada una de las 12 columnas correspondientes a cada muestreo.

## *Nitratos y nitritos*

Se usa el método propuesto por Sempere y col. (1.993) para el análisis de nitratos en extractos de suelo y disoluciones de éste. Este tipo de análisis elimina la interferencia debida a la presencia de materia orgánica en el extracto del suelo (Simal y col., 1.985). Los resultados obtenidos son comparables con otros métodos usuales de determinación de nitratos, como HPLC y columna reductora de Cd. Como extractante del suelo se emplea sulfato cálcico en lugar de cloruro potásico o cálcico (Houba y col., 1.986, 1.990; Webster y col., 1.993) para evitar interferencias de los cloruros.

La determinación de nitritos se realiza en el mismo extracto que la de nitratos, por colorimetría con sulfanilamida y N-(1-naftil)-etilendiaminodihidrocloruro (NEDA).

## *Amonio*

El amonio se extrae del suelo con una disolución de cloruro potásico 2M (Honeycutt y col, 1.991) en una relación 1:10 (p/V), aunque otros autores como Serna y Pomares (1.991), emplean una relación 1:5. La determinación cuantitativa se basa en el desarrollo de azul de indofenol por reacción de los iones amonio tratados con una disolución de hipoclorito sódico y fenol, en presencia de nitroprusiato que actúa como catalizador.

*Nitrógeno Kjeldahl*

Para determinar el nitrógeno orgánico conjuntamente con el ion amonio presente en la fracción mineral, se usa el método Kjeldahl. Este método se basa en una digestión por vía húmeda en medio sulfúrico de la muestra para mineralizar el nitrógeno orgánico a ion amonio. Después se realiza la destilación del amonio en medio alcalino, valorándose a continuación con ácido clorhídrico de normalidad conocida (Bremner y Breitenbeck, 1.983).

*Lixiviados*

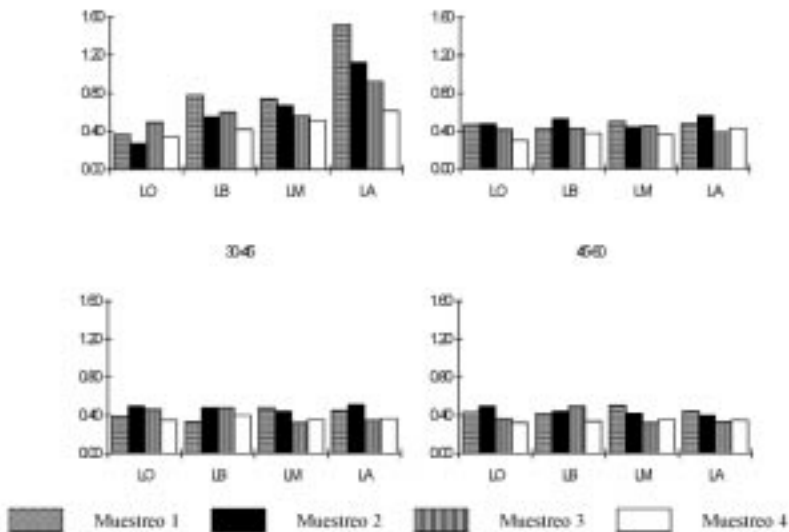
Para la determinación de nitratos, nitritos y amonio en las aguas lixiviadas se emplean los mismos métodos analíticos que en el suelo: La segunda derivada del espectro ultravioleta (Sempere y col., 1.993) para nitratos, colorimetría utilizando sulfanilamida y N-(1-naftil)-etilendiaminodihidrocloruro para nitritos y desarrollo de azul de indofenol para amonio.

**3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

**3.1.- Formas de nitrógeno en el suelo.**

*Nitrógeno Kjeldahl*

Se aprecia aumento del contenido de nitrógeno orgánico y amónico con la aplicación de lodo, proporcional a ésta, principalmente en el horizonte superficial donde se adicionó el residuo (figura 1). Los parámetros estadísticos se muestran en la tabla 1.



**Figura 1.** Contenido de N Kjeldahl (g/kg m.s.) en cada horizonte y tratamiento.

Muestreo	Prof.	Tratamiento								F-ANOVA
		LO		LB		LM		LA		
		Media	I.C.	Media	I.C.	Media	I.C.	Media	I.C.	
1	15	0,37	0,06	0,78	0,26	0,74	0,19	1,52	0,20	119,55 ***
	30	0,47	0,26	0,43	0,23	0,50	0,26	0,48	0,15	0,37 ns
	45	0,39	0,25	0,33	0,05	0,48	0,12	0,45	0,09	3,82 ns
	60	0,43	0,10	0,42	0,09	0,50	0,28	0,44	0,11	0,94 ns
<b>F-ANOVA</b>		0,93 ns		23,03 ***		5,82 *		255,61 ***		
2	15	0,27	0,10	0,55	0,12	0,67	0,11	1,12	0,43	41,74 ***
	30	0,48	0,22	0,53	0,06	0,44	0,09	0,56	0,17	2,22 ns
	45	0,49	0,02	0,48	0,05	0,44	0,04	0,51	0,35	0,50 ns
	60	0,49	0,13	0,44	0,04	0,42	0,07	0,40	0,02	4,39 *
<b>F-ANOVA</b>		10,74 **		9,25 **		42,40 ***		22,95 ***		
3	15	0,49	0,11	0,60	0,06	0,56	0,13	0,92	0,07	73,46 ***
	30	0,42	0,04	0,43	0,27	0,45	0,11	0,39	0,17	0,38 ns
	45	0,46	0,12	0,48	0,11	0,32	0,05	0,35	0,03	14,74 **
	60	0,37	0,06	0,49	0,10	0,32	0,02	0,33	0,12	15,50 **
<b>F-ANOVA</b>		5,83 *		3,91 ns		30,06 ***		123,82 ***		
4	15	0,34	0,05	0,42	0,13	0,51	0,13	0,61	0,19	13,41 **
	30	0,30	0,05	0,38	0,16	0,37	0,13	0,43	0,02	4,74 *
	45	0,35	0,26	0,40	0,20	0,36	0,14	0,37	0,07	0,24 ns
	60	0,32	0,10	0,34	0,09	0,36	0,01	0,35	0,05	0,90 ns
<b>F-ANOVA</b>		0,48 ns		0,91 ns		7,09 *		23,03 ***		

**Tabla 1.** Contenido de N Kjeldahl (g/kg m.s.) en cada horizonte y tratamiento.

En los tratamientos superiores (LM y LA) se aprecian mayores diferencias entre la superficie y los horizontes más profundos.

Hay una tendencia a la disminución del contenido de nitrógeno Kjeldahl con el paso del tiempo, que se observa sobre todo en el horizonte 0-15 cm. Este importante descenso manifiesta una fuerte actividad biológica en el suelo y sin duda es reflejo de procesos de nitrificación, extraordinariamente notables en LA. El período de tiempo transcurrido indica que la mineralización del nitrógeno del lodo es muy rápida (en apenas cuatro meses disminuye su contenido en LA a más de la mitad). Esta disminución es paralela a la observada con la materia orgánica.

### Nitrato

El contenido de este anión aumenta con la aplicación de lodo en todos los horizontes pero de manera más pronunciada en los superiores (figura 2 y tabla 2). En la mayoría de casos de los tres tratamientos (LB, LM y LA) hay disminución del contenido de nitrato con la profundidad, pero se produce un aumento en el último horizonte (45-60 cm). Este hecho muestra la facilidad de lavado de este anión.

En los tratamientos, la tendencia general es a la disminución con el tiempo de la concentración de nitrato, aunque en el paso del segundo al tercer muestreo, algún caso muestra niveles de nitrato que tienden a mantenerse (LA) o a aumentar (LM), mientras que

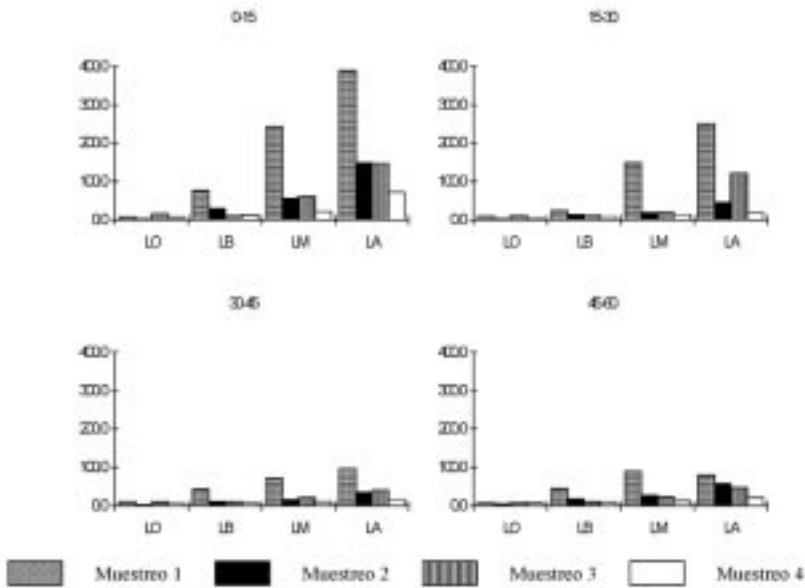


Figura 2. Contenido de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/kg m.s.) en cada horizonte y tratamiento.

Muestreo	Prof.	Tratamiento								F-ANOVA
		LO		LB		LM		LA		
		Media	I.C.	Media	I.C.	Media	I.C.	Media	I.C.	
1	15	6,7	3,1	75,8	65,5	243,5	69,9	388,6	11,9	232,70 ***
	30	8,6	6,5	24,7	11,5	148,8	64,2	248,7	193,6	22,53 ***
	45	9,8	5,6	41,9	36,2	71,2	63,4	96,0	56,4	11,96 **
	60	7,8	5,1	44,4	26,9	89,1	32,5	80,0	43,7	27,48 ***
<b>F-ANOVA</b>		1,11 ns		5,16 *		31,59 ***		36,32 ***		
2	15	1,7	0,5	28,7	5,1	55,2	4,7	147,9	23,8	485,82 ***
	30	2,4	1,1	13,5	1,1	18,1	2,8	45,0	32,5	22,61 ***
	45	3,4	1,0	11,0	2,0	15,3	8,0	35,1	18,5	33,20 ***
	60	4,5	1,0	17,4	7,1	26,7	15,2	57,8	34,0	26,56 ***
<b>F-ANOVA</b>		29,64 ***		55,40 ***		75,10 ***		63,66 ***		
3	15	16,4	4,6	10,6	5,2	61,3	23,6	146,3	59,7	69,54 ***
	30	9,9	15,6	11,4	7,7	19,2	6,7	121,2	60,4	53,94 ***
	45	9,9	13,7	9,3	5,8	20,4	3,0	39,9	3,3	62,10 ***
	60	7,4	4,2	9,5	4,3	23,1	5,0	47,0	18,2	62,32 ***
<b>F-ANOVA</b>		2,32 ns		0,54 ns		47,64 ***		27,65 ***		
4	15	5,9	0,9	12,7	4,8	22,8	8,1	71,8	19,7	136,80 ***
	30	5,8	2,9	7,9	3,7	14,2	2,7	17,7	10,9	15,00 **
	45	5,5	1,1	7,1	1,9	10,7	7,6	16,1	7,9	12,85 **
	60	6,7	4,4	8,7	3,8	13,3	8,3	20,4	4,2	22,55 ***
<b>F-ANOVA</b>		0,61 ns		8,11 **		9,99 **		91,28 ***		

Tabla 2. Contenido de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/kg m.s.) en cada horizonte y tratamiento.

el control varía de forma más irregular, disminuyendo en los dos primeros muestreos, aumentando en el tercero de forma importante y volviendo a disminuir en el cuarto. En este tratamiento (LO), se puede indicar como hecho más destacado que la nitrificación se produce de manera más notable entre el muestreo 2 y 3.

### Nitrito

En los tres primeros muestreos el contenido de nitrito aumenta con el lodo, no apareciendo esta tendencia en el cuarto muestreo (figura 3). A su vez, con el tiempo va aumentando el contenido de este anión en los tres primeros muestreos, disminuyendo en el último (tabla 3), no existiendo en éste apenas diferencias entre el control y los distintos tratamientos con lodo y entre los horizontes.

El aumento del contenido de nitrito observado durante los tres primeros muestreos quizá puede explicarse por una menor velocidad en el segundo paso de la nitrificación, la conversión de nitrito en nitrato con la consiguiente acumulación del nitrito en el suelo. El mayor desarrollo de microorganismos nitrificantes favorecería esta actividad y la acumulación de nitrito. En todos los tratamientos se produce una mayor concentración de  $\text{NO}_2^-$  en el horizonte 30-45 cm. Posiblemente se puede deber a una serie de circunstancias como una menor presencia de microorganismos y ser el horizonte más anaerobio (puesto que el horizonte 45-60 cm tiene mayor contacto con la atmósfera externa a través del filtro final que permite la lixiviación de agua). Todo ello junto con la acción de algunos ácidos orgánicos solubles y que pueden desplazarse por el perfil del suelo, añadidos a éste con el

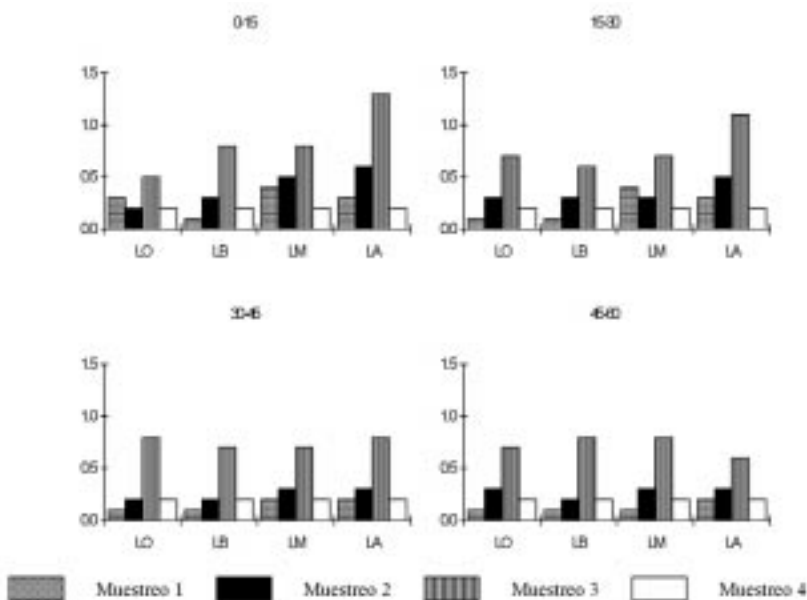


Figura 3. Contenido de  $\text{NO}_2^-$  (mg/kg m.s.) en cada horizonte y tratamiento.

Muestreo	Prof.	Tratamiento								F-ANOVA
		LO		LB		LM		LA		
		Media	I.C.	Media	I.C.	Media	I.C.	Media	I.C.	
1	15	0,3	0,1	0,1	0,0	0,4	0,2	0,3	0,1	14,11 **
	30	0,1	0,1	0,1	0,0	0,4	0,1	0,3	0,2	28,05 ***
	45	0,1	0,0	0,1	0,0	0,2	0,1	0,2	0,0	14,50 **
	60	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,0	10,90 **
<b>F-ANOVA</b>		30,18 ***		0,96 ns		19,29 ***		9,05 **		
2	15	0,2	0,1	0,3	0,1	0,5	0,1	0,6	0,2	34,25 ***
	30	0,3	0,1	0,3	0,1	0,3	0,2	0,5	0,2	7,60 **
	45	0,2	0,0	0,2	0,1	0,3	0,0	0,3	0,1	16,62 ***
	60	0,3	0,2	0,2	0,1	0,3	0,1	0,3	0,1	4,50 *
<b>F-ANOVA</b>		2,30 ns		1,32 ns		8,41 **		15,86 ***		
3	15	0,5	0,1	0,8	0,2	0,8	0,1	1,3	0,0	139,03 ***
	30	0,7	0,5	0,6	0,4	0,7	0,1	1,1	0,7	3,69 ns
	45	0,8	0,6	0,7	0,2	0,7	0,6	0,7	0,3	0,13 ns
	60	0,7	0,2	0,8	0,5	0,8	0,7	0,6	0,4	0,41 ns
<b>F-ANOVA</b>		2,68 ns		1,12 ns		0,22 ns		9,90 **		
4	15	0,2	0,1	0,2	0,0	0,2	0,0	0,2	0,1	4,64 *
	30	0,2	0,0	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	1,36 ns
	45	0,2	0,0	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,3	0,24 ns
	60	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,79 ns
<b>F-ANOVA</b>		1,52 ns		0,21 ns		1,91 ns		0,02 ns		

Tabla 3. Contenido de NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (mg/kg m.s.) en cada horizonte y tratamiento.

lodo, como los ácidos fórmico, acético y fumárico (Karmarkar y Tabatabai, 1.991), puede ser causante de esta acumulación de nitritos.

Un exceso de NO<sub>2</sub><sup>-</sup> puede ser perjudicial para la planta, siendo tóxico para las raíces. La profundidad radicular puede alcanzar fácilmente los 30 cm por lo que sería conveniente considerar este factor a la hora de aplicar lodo junto con el nivel de la capa freática (que marcaría el límite que podría alcanzar la situación de los nitritos en el suelo).

#### Amonio

Se observa un claro aumento de este catión con el tratamiento de lodo, apreciable en los dos horizontes superiores, mientras que en los inferiores no hay variaciones significativas durante el experimento (figura 4). En las columnas en que se adicionó lodo parece haber una tendencia a la disminución con la profundidad. En estas mismas columnas también se da una disminución con el paso del tiempo (tabla 4).

Hay dos circunstancias que han influido en la reducción del amonio del suelo con el tiempo. La primera pueden ser los procesos de nitrificación e inmovilización, que permiten el paso de amonio a nitrito y su incorporación a microorganismos del suelo respectivamente (después de un mayor desarrollo de la actividad biológica del suelo) y en segundo lugar la posible fijación del catión por los coloides inorgánicos del suelo.



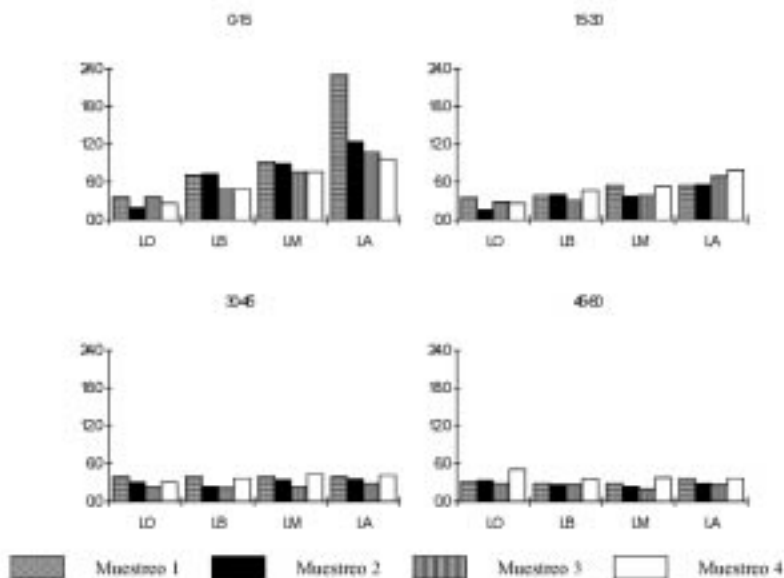


Figura 4. Contenido de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (mg/kg m.s.) en cada horizonte y tratamiento.

Muestreo	Prof.	Tratamiento								F-ANOVA
		LO		LB		LM		LA		
		Media	I.C.	Media	I.C.	Media	I.C.	Media	I.C.	
1	15	3,6	0,9	7,1	3,0	9,3	0,7	23,1	8,8	61,88 ***
	30	3,5	2,2	3,9	0,5	5,5	1,5	5,5	3,2	4,75 *
	45	3,9	2,2	4,0	2,8	4,0	2,2	3,9	2,2	0,01 ns
	60	3,2	0,9	2,8	0,7	2,9	0,5	3,7	1,3	3,54 ns
<b>F-ANOVA</b>		0,55 ns		14,82 **		71,34 ***		69,69 ***		
2	15	1,9	0,6	7,3	0,6	8,9	0,6	12,4	3,6	102,79 ***
	30	1,6	0,6	4,0	0,9	3,8	0,8	5,6	2,7	23,27 ***
	45	3,1	1,9	2,4	0,1	3,4	1,9	3,5	3,0	1,00 ns
	60	3,3	1,3	2,7	0,6	2,4	1,7	2,8	1,8	1,51 ns
<b>F-ANOVA</b>		9,28 **		254,94 ***		81,70 ***		44,73 ***		
3	15	3,6	5,9	4,9	1,5	7,6	4,6	10,7	6,0	7,81 **
	30	2,9	2,8	3,1	1,3	3,9	1,3	6,9	3,8	9,95 **
	45	2,4	1,2	2,2	0,7	2,4	1,4	2,8	0,7	1,27 ns
	60	2,9	1,1	2,6	2,0	1,9	1,2	2,6	1,4	1,47 ns
<b>F-ANOVA</b>		0,36 ns		12,69 **		19,07 ***		20,41 ***		
4	15	2,6	0,9	4,9	4,4	7,6	5,2	9,6	2,3	13,11 **
	30	2,6	0,9	4,7	2,0	5,3	4,2	7,9	2,8	11,71 **
	45	3,1	1,7	3,7	0,1	4,3	0,7	4,2	2,7	1,89 ns
	60	5,1	6,9	3,5	1,2	3,8	0,4	3,7	1,5	0,71 ns
<b>F-ANOVA</b>		1,98 ns		1,41 ns		4,55 *		26,68 ***		

Tabla 4. Contenido de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (mg/kg m.s.) en cada horizonte y tratamiento.

Al igual que sucede con el NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, es mayor la reducción que se produce en el tratamiento LA, siendo superior al 50% del amonio inicial.

### 3.2. Formas de nitrógeno en los lixiviados.

En los lixiviados se analizaron las tres formas inorgánicas del nitrógeno que también fueron analizadas en los suelos: nitratos, nitrito y amonio.

#### Nitrato

Se observa un aumento de la concentración de este anión en las aguas procedentes de suelos tratados con lodo respecto al suelo control (tabla 5). Estos resultados están relacionados con procesos observados anteriormente en el suelo. El primero es la coincidencia entre disponibilidad de nitrógeno y aparición de nitratos en los lixiviados. Los tratamientos LM y LA son los que aportan un mayor contenido de  $\text{NO}_3^-$  a las aguas. Un segundo dato de interés es la aparición de la mayor concentración de  $\text{NO}_3^-$  en los lixiviados en el muestreo 3; esto es un reflejo claro de la intensidad de los procesos de mineralización de la materia orgánica entre los muestreos 2 y 3.

Tratamiento	Muestreo							
	1		2		3		4	
	Media	I.C.	Media	I.C.	Media	I.C.	Media	I.C.
LO	37	17	38	29	30	16	37	31
LB	89	47	98	5	67	31	64	26
LM	118	4	71	87	135	58	115	56
LA	74	62	103	26	148	18	100	27
<b>F-ANOVA</b>	12,85 **		7,14 *		46,77 ***		16,41 ***	

**Tabla 5.** Contenido de  $\text{NO}_3^-$  (mg/L) en los lixiviados.

#### Nitrito

Se da un claro aumento de nitrito en las aguas de suelos tratados con lodo, las diferencias entre los tratamientos y el control disminuyen con el paso del tiempo (tabla 6). No existe como sucedía con los nitratos una correlación clara entre cantidad de lodo aplicado y  $\text{NO}_2^-$  como sucedía para los nitratos. Este anión se puede considerar como especie de transición hacia la forma más oxidada de nitrógeno.

Tratamiento	Muestreo							
	1		2		3		4	
	Media	I.C.	Media	I.C.	Media	I.C.	Media	I.C.
LO	0,2	0,2	0,3	0,5	0,3	0,1	0,3	0,2
LB	0,7	0,6	0,6	0,5	0,4	0,2	0,3	1,0
LM	1,3	0,6	0,2	0,3	0,3	0,5	0,6	0,7
LA	1,1	0,4	0,1	0,1	0,9	0,4	0,6	0,4
<b>F-ANOVA</b>	18,69 ***		7,10 *		15,11 **		1,18 ns	

**Tabla 6.** Contenido de  $\text{NO}_2^-$  (mg/L) en los lixiviados.

### Amonio.

Hay aumento de este catión con la dosis de lodo, disminuyendo las diferencias con el tiempo (tabla 7). La presencia de amonio en los lixiviados es más notable en el muestreo 2 y 3. El lavado de esta fracción nitrogenada es por tanto más importante en el segundo y tercer mes pudiendo también, como sucedía con el NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, estar relacionada con los procesos degradativos de la materia orgánica.

Tratamiento	Muestreo							
	1		2		3		4	
	Media	I.C.	Media	I.C.	Media	I.C.	Media	I.C.
LO	55	51	30	33	27	13	55	37
LB	22	10	52	71	54	67	48	56
LM	71	22	48	7	59	39	51	29
LA	55	24	80	47	80	19	61	14
<b>F-ANOVA</b>	8,62 **		3,78 ns		5,42 *		0,41 ns	

**Tabla 7** Contenido de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (µg/L) en los lixiviados.

Las cantidades de amonio son inferiores a las obtenidas para NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, y ello es debido a la mayor fijación del NH<sub>4</sub><sup>+</sup> en el suelo y a su participación en el proceso de nitrificación para dar las formas más oxidadas del nitrógeno en el suelo.

Con excepción de amonio, tanto nitrato como nitrito han dado lugar en todos los tratamientos a valores superiores a los recomendados para aguas de consumo humano: 50 mg/L; 0,1 mg/L y 0,5 mg/L para NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup> y NH<sub>4</sub><sup>+</sup> respectivamente como concentraciones máximas admisibles según la normativa europea de la Comisión de la CEE para Medio Ambiente, Seguridad Nuclear y Protección Civil (1.993b).

## 4. CONCLUSIONES

El presente trabajo ha permitido poner de manifiesto que una de las principales fuentes de contaminación difusa determinada en los lixiviados es nitrogenada. Aparecen concentraciones considerables de nitratos y nitritos que pueden suponer un riesgo de contaminación ambiental.

Los resultados corroboran la idea de no aconsejar la utilización de lodo, sin un estricto control, en periodos de gran entrada de agua al suelo, en zonas como la ensayada, donde el clima y la pluviosidad otoñal favorecen la mineralización y pérdida por lavado de N.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

Andreu, J. 1.997. Contribución de la sobreexplotación al conocimiento de los acuíferos kársticos de Crevillente, Cid Cabeço d'Or (provincia de Alicante). Tesis doctoral. Universidad de Alicante. 447 p.

- Bremner, J. M.; G. A. Breitenbeck. 1983. A simple method for determination of ammonium in semimicro-kjeldahl analysis of soils and plant materials using a block digester. *Commun. in Soil Sci. Plant Anal*, 14 (10), 905-913.
- Cao, H. F.; A. C. Chang; A. L. Page. 1984. Heavy metal contents of sludge-treated soils as determined by three extraction procedures. *J. Environ. Qual.* 13(4):632-634.
- Chang, A. C.; A. L. Page; J. E. Warneke; E. Grgurevic. 1984b. Sequential extraction of soil heavy metals following a sludge application. *J. Environ. Qual.* 13(1):33-38.
- Comisión de la CEE para Medio Ambiente, Seguridad Nuclear y Protección Civil. 1993b. Legislación comunitaria relativa al medio ambiente. Vol. 7: Agua. Ed. Oficina de Publicaciones de la CEE, Bruselas (Bélgica).
- Emmerich, W. E.; L. J. Lund; A. L. Page; A. C. Chang. 1982a. Movement of heavy metals in sewage sludge-treated soils. *J. Environ. Qual.* 11(2):174-178.
- Honeycutt, C. W.; L. J. Potar; W. A. Halteman. 1991. Predicting nitrate formation from soil, fertilizer, crop residue, and sludge with thermal units. *J. Environ. Qual.* 20(4):850-856.
- Houba, V. L. G.; Y. Navozamsky; T. M. Lexmond; L. L. Van der Lee. 1990. Applicability of 0,01 M  $\text{CaCl}_2$  as a single extraction solution for the assessment of the nutrient status of soils and other diagnostic purposes. *Commun. Soil Sci. Plant. Anal.* 21:2.281-2.290.
- Karmarkar, S. V.; M. A. Tabatabai. 1991. Effects of biotechnology byproducts and organic acids on nitrification in soils. *Biol. Fertil. Soils* 12:165-169.
- Palazzo, A. J.; S. M. Reynolds. 1991. Long-term changes in soil and plant metal concentrations in an acidic dredge disposal site receiving sewage sludge. *Water Air Soil Pollut.* 57-58:839-848.
- Sempere, A.; J. Oliver; C. Ramos. 1993. Simple determination of nitrate in soils by second-derivative spectroscopy. *J. Soil Sci.* 44:633-639.
- Serna, M. D.; F. Pomares. 1991. Nitrogen mineralization of sludge-amended soil. *Bioresource Technology* 39:285-290.
- Simal, J.; M. A. Lage; I. Iglesias. 1985. Second derivative ultraviolet spectroscopy and sulfamic acid method for determination of nitrates in water. *J. Assoc. Of Anal. Chem.*, 68:962-964.
- Soil Survey Staff. 1998. *Keys to Soil Taxonomy* 8<sup>nd</sup> ed. USDA-NRCS.
- Trudgill, S. T.; T. P. Burt; A. L. Heathwaite; B. P. Arkell. 1991. Soil nitrate sources and nitrate leaching losses, Slapton, South Devon. *Soil Use Manag.*, 7 (4), 200-206.
- Xiu, H.; R. W. Taylor; J. W. Shuford; W. Tadesse; D. C. Adriano. 1991. Comparison of extractants for available sludge-borne metals: a residual study. *Water Air Soil Pollut.* 57-58:913-922.