

ANÁLISIS DE LA VARIANZA (ANOVA) EN ENSAYOS DE LIXIVIACIÓN DE N-PURÍN EN COLUMNAS EXPERIMENTALES

M.I. Montoya¹ y M. Martín²

¹ Departamento de Hidráulica y Medio Ambiente, Universidad Politécnica de Valencia, España; mamoncam@doctor.upv.es

² Departamento de Hidráulica y Medio Ambiente, Universidad Politécnica de Valencia, España; mmartin@hma.upv.es

RESUMEN. La contaminación de aguas superficiales y subterráneas por actividades ganaderas es un problema al cual se le ha puesto interés en los últimos años. Para estudiar las transformaciones del N-purín en la zona no saturada se realizaron una serie de ensayos por medio de columnas de metacrilato de 10 cm de diámetro con longitud, granulometría del suelo y dosificación de purín variables. La dosis total aplicada a cada columna varió entre 170 y 250 kg NT/ha. Se simuló un volumen de lluvia diaria y se analizó periódicamente el nitrógeno (N_{org} , NO_3^- , NH_4^+) en el lixiviado. Finalmente, se desmontaron las columnas en secciones entre 5 y 15 cm de suelo, determinándose el contenido de nitrógeno retenido al final de los ensayos. El experimento se realizó entre febrero y septiembre de 2002.

Para analizar tanto la dependencia del lixiviado de nitrógeno como del retenido en el suelo al final de las experimentaciones a factores controlables en el laboratorio como son la granulometría y las dosis de purín aplicadas, se realizó un diseño experimental llamado L9. Dicho diseño consiste en nueve columnas de suelo para formar un modelo factorial de tres factores (longitud de la columna, granulometría del suelo y dosis de purín) a tres niveles cada uno (alto, medio y bajo). La aplicación de este diseño experimental permite aplicar análisis de la varianza (ANOVA), evitando tener que realizar 27 ensayos para obtener la misma información.

Se realizó el Análisis de la Varianza (ANOVA), teniendo en cuenta los efectos simples, dobles y triples de cada uno de los factores sobre la media de las variables Nitrógeno lixiviado y retenido por medio del Test F, encontrándose que algunas combinaciones de dichos factores tienen efectos significativos tanto sobre la media del lixiviado de nitrógeno como del retenido en el suelo al final de las experimentaciones.

ABSTRACT. The pollution of surface and ground waters by cattle activities is a problem that has acquired a great interest in recent years. To study the transformations of *N-Slurry* in the unsaturated zone, a series of tests were carried out by means of methacrylate columns of 10 cm of diameter having variable length, soil texture and amount of slurry. The total amount of slurry applied to each column varies between 170 and 250 kg NT/ha. Daily rains were simulated.

Periodically, nitrogen (N_{org} , NO_3^- , NH_4^+) of the leaching was analysed. Finally, the soil of the columns was divided in sections of 5 to 15 cm and these were used to determine the nitrogen content retained at the end of the tests. Experiments were performed between February and September 2002.

To analyse the dependence of the nitrogen in the leaching as well as the retained in the soil at the end of the experiments to controllable factors in the laboratory like texture and amount of applied slurry, an experimental design called L9 was carried out. This design consists of nine soil columns which form a factorial model of three factors (column length, soil texture and amount of slurry) with three levels each one (high, medium and low). The application of this statistical design allows applying the Analysis of Variance (ANOVA) avoiding the realisation of 27 essays to obtain the same information.

The ANOVA was done taking into account the simple, double and triple effects of each one of the factors on the average of Nitrogen leached and retained by means of the Test F. The results shows that some combinations of the above mentioned factors have significant effects in the average of the nitrogen leached as well as in the retained in the soil at the end of the experimentations.

1. Introducción

La actividad de ganadería porcina en la Comunidad Valenciana tiene un peso muy importante en su economía, debido al cambio paulatino en los sistemas de producción tradicionales (estructura tipo familiar) hacia sistemas de producción intensivos. El crecimiento de la cabaña ganadera y la intensificación de la producción también tiene gran importancia en el ámbito ambiental, debido a la generación de una mayor cantidad de residuos, con los consiguientes problemas de manejo y generación de riesgos ambientales. Según Sanchis, (1991), la carga de nitrógeno que aporta la ganadería de la provincia es 3118 tN/año.

Ante esta evolución de la cabaña porcina, es evidente el hecho de que pueden existir problemas con los residuos

orgánicos de estos animales, llamados comúnmente purines. En la actualidad estos residuos en su mayoría son aplicados directamente sobre el terreno con mayor o menor grado de control. Si esta actividad se realizara de forma controlada, los suelos y las cosechas se podrían beneficiar de la materia orgánica y los nutrientes aportados, además que se protegerían los cauces de los ríos y las aguas subterráneas.

El presente trabajo, consiste en la realización de una serie de experimentos destinados a evaluar la movilidad y transformación del nitrógeno orgánico, amoniacal y nitratos en un suelo agrícola, por medio de columnas experimentales en las que se varían la longitud de la columna, granulometría del suelo y las dosis de purín aplicadas (siendo la mínima la establecida como tal en la legislación actual), para analizar el efecto de la distancia al nivel piezométrico y las irregularidades del terreno en las transformaciones del nitrógeno tanto contenido en el suelo como el aportado por el purín.

En la actualidad se han realizado muchos diseños de experimentos que aplican el análisis de la varianza para cuantificar efectos de múltiples factores sobre la producción, eficiencia de usos de fertilizantes, etc. Algunos de estos trabajos estudian el efecto del momento de aplicación de nitrógeno sobre la eficiencia del uso de fertilizantes y la concentración proteínica del grano de cebada, Otegui, (2001); el efecto de la presencia o no de árboles en el nitrógeno inorgánico disponible y lixiviado, Kreibich, (2003); el efecto de la adición de nitrógeno en bosques tropicales en la emisión de óxido nitroso y óxido nítrico, Hall, (1999) y muchos más. Sin embargo no se ha utilizado el análisis de la varianza para cuantificar el efecto de factores intrínsecos del terreno como son la granulometría y la longitud de suelo en el ciclo del nitrógeno.

2. Materiales y métodos

El terreno empleado para los estudios fue extraído de una zona de olivar próxima a Albocàsser (Castellón). La profundidad de extracción fue de 0.3 m, con un elevado contenido de humedad inicial (21.85%). Los resultados de los ensayos edafológicos se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 1. Características edafológicas

Humedad a capacidad de campo	(%)	36.08
Contenido de Materia Orgánica	(%)	5.4
Conductividad eléctrica	(μ s/cm)	166
pH		7.54
Arcillas	(%)	56.03
Limos	(%)	34.78
Arenas	(%)	9.19
Densidad con sonda Coopequi	(gr/cm ³)	1.74

Según el diagrama triangular de la clasificación de la U.S.D.A., para un 56% de arcillas, 34% de limos y 9% de arenas, el suelo de estudio se califica de textura Arcillosa.

En la Tabla 2, se muestran los resultados de los ensayos del contenido inicial de las formas nitrogenadas en el suelo.

Tabla 2. Contenido inicial de nitrógeno en el terreno.

	(%)	(mg N/l)
Nitrógeno Total	1.35E+02	754.61
Nitrógeno amoniacal	3.50E-04	1.95
Nitrógeno-nitratos	3.15E-04	1.76
NKT	1.35E-01	752.85
Nitrógeno Orgánico	1.35E+02	750.9

Los porcentajes representan los miligramos de nitrógeno por cada 100 miligramos de suelo húmedo. El expresar el contenido de nitrógeno en forma de concentraciones (mg/L) no significa necesariamente que el nitrógeno esté en forma soluble en el agua. Esto será estrictamente cierto para el nitrógeno en forma de nitratos. Tanto el nitrógeno amoniacal como el nitrógeno orgánico pueden estar adsorbidos en el terreno, por lo que la concentración reflejada en la Tabla 2 es un indicador del contenido total, no de su disponibilidad.

Desde el punto de vista agronómico, la cantidad de nitrógeno total inicial en el suelo puede considerarse normal, mientras el contenido de materia orgánica es alto, la conductividad eléctrica baja y el pH ligeramente alcalino.

Para el análisis del contenido de Nitrógeno Total, Amoniacal y Nitratos, tanto del purín como del lixiviado, se utilizó el espectrofotómetro de Merck SQ modelo 118 V1.70.

En la Tabla 3, se muestran los resultados de la caracterización físico-química del purín.

Tabla 3. Características del purín.

Características físico - químicas del purín		
Conductividad	(μ s/cm)	34100
pH		6.99
O. disuelto	(mg O ₂ /L)	0.8
Salinidad	(g/L)	21.35
ST (g/L)	(g/L)	72.04
STV (g/L)	(g/L)	49.39
STV	(%)	68.57
Amonio	(mg/l)	5700
Nitratos	(mg/l)	3500
N. Total	(mg/l)	16000
N orgánico	(mg/l)	6800
DQO	(mg/l)	100100

La composición del purín, en casi todos los aspectos, está dentro de los rangos de los datos obtenidos de la bibliografía. Con respecto al nitrógeno, este purín presenta una concentración de nitrógeno total y amoniacal mucho mayor que lo registrado en la bibliografía.

3. Ensayos de lixiviación de nitrógeno en columnas experimentales

La experimentación en columnas de infiltración consiste en un conjunto de nueve columnas de metacrilato, con diámetro interno de 0.1 m, longitud (tres columnas de 0.4 m, tres de 1.0 m y otras tres de 1.6 m), granulometría (fina, media y gruesa) y dosis variables (alta, media baja),

ubicadas en el laboratorio de Ingeniería Sanitaria ETSICCP, de la Universidad Politécnica de Valencia.

Cada columna tiene una base de 5 cm de grava que soporta el terreno y 5 cm de superficie libre para facilitar el vertido del agua al simular lluvias. La base de cada columna se aisló del ambiente mediante un sistema de evacuación y aforado del lixiviado, formado por un plástico cerrado en la parte inferior para evitar pérdidas de humedad e introducción de aire. Este dispositivo está unido a un pequeño tubo que conduce el líquido a un recipiente aforado para medir el volumen lixiviado y analizar su composición. Las columnas se cubrieron lateralmente con plástico de color negro para evitar el desarrollo de algas o pequeñas plantas en la zona lateral. Esto hubiera supuesto una distorsión de los resultados al generar materia orgánica a partir de sustancias inorgánicas.

El terreno con el que se rellenaron las columnas, fue una mezcla de los 30 cm extraídos, secado en el laboratorio durante tres semanas y separado en tres diferentes granulometrías: Gruesa (terreno natural, quitando rocas de tamaño superior a 5 cm), Media (terreno tamizado con un tamiz de malla de 2 cm) y Fina (terreno tamizado con un tamiz de malla 2 mm).

La dosificación del purín líquido se realizó en dos aplicaciones, la primera el 8 de febrero de 2002, al inicio de los ensayos, y la segunda el 9 de marzo del mismo año. El volumen del purín a aplicar se calculó a partir del contenido en nitrógeno del mismo y la normativa ambiental sobre protección de aguas (RD 261/1996, de 16 de febrero (91/676/CEE)), la cual establece como límite de aplicación por hectárea la cantidad de estiércol que contenga 170 kg N/año al terreno. Teniendo en cuenta el diámetro de las columnas, las dosis aplicadas se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Dosificación del purín aplicada a las columnas.

	Dosis	Granulometría	Volumen (ml)	Dosis (Kg N/ha)	Adición de NT (mg)
C1	Baja	gruesa	9.54	170.05	133.56
C2	Alta	media	14.02	249.91	196.28
C3	Media	fina	11.78	209.98	164.92
C4	Alta	gruesa	14.02	249.91	196.28
C5	Media	media	11.78	209.98	164.92
C6	Baja	fina	9.54	170.05	133.56
C7	Media	gruesa	11.78	209.98	164.92
C8	Baja	media	9.54	170.05	133.56
C9	Alta	fina	14.02	249.91	196.28

El diseño experimental tiene como uno de sus objetivos, evaluar la significación de la longitud de la columna, el tipo de terreno y la dosis de purín, en los procesos del ciclo del nitrógeno por medio del análisis de la varianza ANOVA. Al igual que Grageda-Cabrera, (2000), que utilizó un modelo factorial de tres parámetros (suelo, humedad y fuente de nitrógeno) y tres repeticiones, analizamos el efecto de nuestros tres factores (longitud columna, granulometría del suelo y dosis de purín) a tres niveles cada uno (alto, medio y bajo), en lo que se conoce como diseño experimental L9. La aplicación de este método estadístico evita tener que realizar 27 ensayos para obtener la misma información.

Además del purín, se aplicó agua desionizada para simular la precipitación total diaria caída en la zona durante el periodo de estudio.

Las columnas estuvieron todo el tiempo bajo condiciones climáticas conocidas. La temperatura del aire en el laboratorio osciló entre 16 y 28 °C. El volumen de lluvia aplicado fue el correspondiente a los datos suministrados por el Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (I.V.I.A.) para la estación climática de Onda a partir del primero de septiembre de 2001 hasta el 2 de enero de 2002, periodo de lluvias de gran importancia en la región. El volumen total de precipitación fue de 303 mm, que corresponde a una dosificación de 2392.4 mL de agua desionizada en las columnas. Por medio de un recipiente aforado lleno de agua destilada, se midió diariamente la pérdida de peso, lo cual es un buen estimativo de la evaporación ocurrida dentro del laboratorio. En la Fig. 1 se muestran los datos experimentales de la evaporación y los datos de precipitación obtenidos de la estación meteorológica.

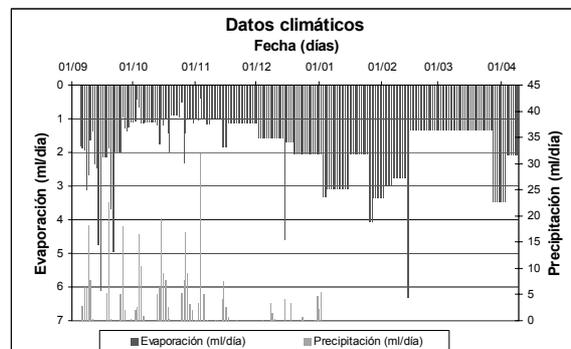


Fig. 1. Datos de lluvia estación climática de Onda (01/09/01 a 02/01/02) y evaporación medida en laboratorio.

4. Análisis de la varianza (ANOVA) para el nitrógeno lixiviado y retenido al final de los experimentos.

El análisis de la varianza se realizó por medio de una hoja de cálculo y no directamente con alguno de los programas estadísticos dispuestos para tal, debido a la necesidad de conocer a fondo los fundamentos del análisis de la varianza ANOVA. El análisis de la varianza analiza la posible influencia de una o varias variables independientes (o factores) sobre una variable dependiente. Las primeras son variables cualitativas, mientras que la segunda debe ser cuantitativa. Este análisis puede realizarse tanto para diseños balanceados (todos los grupos de los distintos factores tienen el mismo número de elementos n) como no balanceados (distinto número de elementos), Calvo, (1993).

Nuestro diseño experimental es no balanceado debido a que la cantidad de eventos de lixiviación de nitrógeno varía para cada columna, debido principalmente a la diferencia de longitud. En la bibliografía (Calvo, 1993; Lindman, 1974; Romero, 1993), se explica con gran énfasis los modelos balanceados para diferente número de factores, sin embargo, para modelos no balanceados se

explica hasta dos factores, debido a la necesidad de emplear las sumas de cuadrados exactas por medio del Modelo Lineal General, el cual para tres factores es más complicado y se sugiere utilizar los programas de ordenador desarrollados para tal propósito.

Para evitar utilizar dichos programas, los cuales sin un conocimiento a fondo de su funcionamiento pueden arrojar resultados erróneos, se procedió a una homogenización, tanto de los datos de lixiviado como los de nitrógeno retenido en el suelo al final de las experimentaciones. Los valores homogenizados representan cada percentil de las cantidades totales lixiviadas y retenidas para cada una de las formas nitrogenadas estudiadas, así:

Tabla 5. Homogenización nitrógeno lixiviado respecto al lixiviado total.

%	Nitratos lixiviados (mg/l)								
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
10	115,6	146,1	150,1	86,6	104,4	111,0	62,0	53,6	51,6
20	231,2	292,1	300,2	173,2	208,8	222,0	124,0	107,3	103,3
30	346,8	438,2	450,2	259,8	313,1	333,0	186,0	160,9	154,9
40	462,5	584,2	600,3	346,4	417,5	444,0	248,0	214,5	206,5
50	578,1	730,3	750,4	433,0	521,9	555,0	310,0	268,1	258,1
60	693,7	876,4	900,5	519,6	626,3	666,0	372,0	321,8	309,8
70	809,3	1022,4	1050,6	606,2	730,6	777,0	434,0	375,4	361,4
80	924,9	1168,5	1200,6	692,8	835,0	888,0	496,0	429,0	413,0
90	1040,5	1314,5	1350,7	779,4	939,4	999,0	558,0	482,6	464,6
100	1156,1	1460,6	1500,8	866,0	1043,8	1110,0	620,0	536,3	516,3
Total	6358,7	8033,2	8254,3	4763,0	5740,6	6105,0	3410,0	2949,4	2839,4

En este tipo de modelo factorial, se considera que los tres factores, en nuestro caso longitud, granulometría y dosis, actúan de forma lineal sobre las variables independientes (nitrógeno lixiviado y retenido). De igual forma se puede analizar tanto las interacciones dobles y triples de los tres factores.

Los efectos principales de los tres factores se calculan por medio de la suma de cuadrados debido al influjo del respectivo factor:

$$SC_A = \frac{1}{rsn} \sum_i x_{i...}^2 - \frac{\left(\sum_{ijkl} x_{ijkl}\right)^2}{trsn} \quad (1)$$

$$SC_B = \frac{1}{tsn} \sum_j x_{.j..}^2 - \frac{\left(\sum_{ijkl} x_{ijkl}\right)^2}{trsn} \quad (2)$$

$$SC_C = \frac{1}{trn} \sum_k x_{.k..}^2 - \frac{\left(\sum_{ijkl} x_{ijkl}\right)^2}{trsn} \quad (3)$$

donde t, r y s son número de grupos de los factores A, B y C respectivamente, que en nuestro caso son iguales a tres y n es igual a diez.

Dada la complejidad de los cálculos es conveniente, como paso previo a la obtención de la tabla de Análisis de la Varianza general, dividir los datos en tres subgrupos: A y B variables y C fijo, A y C variable y B fijo, B y C variables y A fijo. En cada tabla se tendrá la suma de las observaciones respecto al factor fijo, Ruiz, (1977). Las interacciones

dobles de los factores SC_{AB} (análogamente SC_{AC}, C_{SB}), se calculan de la siguiente forma:

$$SC_{AB} = \frac{1}{sn} \sum_{ij} x_{ij..}^2 - SC_A - SC_B - \frac{\left(\sum_{ijkl} x_{ijkl}\right)^2}{trsn} \quad (4)$$

La interacción triple se calcula de la siguiente forma:

$$SC_{ABC} = \frac{1}{n} \sum_{ijk} x_{ijk.}^2 - SC_A - SC_B - SC_C - SC_{AB} - SC_{AC} - SC_{BC} - \frac{\left(\sum_{ijkl} x_{ijkl}\right)^2}{trsn} \quad (5)$$

El cálculo de la suma de cuadrados del error es la siguiente:

$$SC_E = \sum_{ijkl} x_{ijkl}^2 - \frac{1}{n} \sum_{ijk} x_{ijk.}^2 \quad (6)$$

Posteriormente se calcula el cuadrado medio para todos los efectos así:

$$CM_{Efecto} = \frac{SC_{Efecto}}{GL_{Efecto}} \quad (7)$$

Y se calcula el F_Ratio que es valor a comparar con el valor dado por la tabla de distribución F de Fisher (F_{GL_efecto, GL_Residual}), así:

$$F_{Ratio} = \frac{CM_{Efecto}}{CM_{Residual}} \quad (8)$$

En la Tabla 6 se muestran los resultados del Análisis de la Varianza para los ensayos de lixiviación de nitrógeno:

Tabla 6. Resultados Análisis de la Varianza (ANOVA) para los ensayos de lixiviación de amonio

Efectos	GL	CM	F_Ratio	F_Tabla	
SC _{Total}	3772,89	269			
SC _{Longitud}	115,87	2	57,93	13,91	3,04 S
SC _{Dosis}	61,20	2	30,60	7,35	3,04 S
SC _{Granulometría}	86,88	2	43,44	10,43	3,04 S
SC _{Long-Dosis}	109,40	4	27,35	6,57	2,42 S
SC _{Long-Granulometría}	83,71	4	20,93	5,02	2,42 S
SC _{Dosis-Granulometría}	138,39	4	34,60	8,31	2,42 S
SC _{Triple}	3115,92	8	389,49	93,51	1,98 S
SC _{Error}	1012,19	243	4,17		

Tanto los factores simples como las combinaciones de ellos tienen un efecto significativo en el lixiviado de amonio, presentándose, como era de esperar el mayor en la combinación de los tres factores. Analizando los efectos simples, el factor longitud es el que mayor efecto tiene sobre la media del lixiviado de amonio, siguiéndole la granulometría. Debido a que el amonio no es totalmente soluble, una fracción de este es adsorbida por el suelo, esta cantidad depende de características del suelo como la

granulometría. La interacción Dosis-Granulometría es el efecto doble más significativo en el lixiviado de amonio.

Debido a que todos los factores son significativos sobre la variable amonio lixiviado, esta información no es suficiente, queda por investigar si entre todos los grupos hay diferencia o solo entre alguno o algunos y conocer que niveles producen un efecto superior a los otros. Para llevar a cabo estos contrastes, existen múltiples tests. En este trabajo se ha utilizado el método de Scheffé:

$$F_{ij} = \frac{(\bar{X}_i - \bar{X}_j)^2 n}{2CM_{Residual} (r - 1)} \quad (9)$$

Comparando las medias según Scheffé, se corrobora lo anterior, las combinaciones longitud baja, dosis baja y granulometría gruesa (C1), longitud baja, dosis alta y granulometría media (C2) son las combinaciones que se diferencian muy significativamente de las demás, siendo esta última la que mayor efecto tiene sobre la media del lixiviado.

Tabla 7. Resultados Análisis de la Varianza (ANOVA) para los ensayos de lixiviación de Nitratos

Efectos	GL	CM	F Ratio	F Tabla
SC _{Total}	28773791,95	269		
SC _{Longitud}	1008130,6	2	504065,3	7,07 3,04 S
SC _{Dosis}	26473,84	2	13236,92	0,19 3,04 N-S
SC _{Granulometría}	44972,08	2	22486,04	0,32 3,04 N-S
SC _{Long-Dosis}	83371,76	4	20842,94	0,29 2,42 N-S
SC _{Long-Granulometría}	64873,52	4	16218,38	0,23 2,42 N-S
SC _{Dosis-Granulometría}	1046530,3	4	261632,6	3,67 2,42 S
SC _{Triple}	18470332,08	8	2308791,5	32,37 1,98 S
SC _{Error}	8029107,8	243	33041,60	

Con respecto a los nitratos, solo el factor longitud fue significativo como efecto simple, esto debido a que los nitratos son lábiles, por tanto la longitud del recorrido en la columna es proporcional al lixiviado. Sin embargo entre los efectos dobles, sólo la interacción Dosis-Granulometría resultó significativa, esto también refleja el efecto de la hidráulica (granulometría) en el lixiviado de los nitratos. Analizando las medias según Scheffé las combinaciones longitud baja, dosis alta y granulometría media (C2) y longitud baja, dosis media y granulometría fina (C3), son las combinaciones con mayor efecto significativo sobre la media, siendo este último la combinación que mayor efecto tiene sobre el lixiviado de nitratos.

Tabla 8. Resultados Análisis de la Varianza (ANOVA) para los ensayos de lixiviación de Nitrógeno Orgánico

Efectos	GL	CM	F Ratio	F Tabla
SC _{Total}	11338256,13	269		
SC _{Longitud}	1164865,29	2	582432,64	51,45 3,04 S
SC _{Dosis}	258580,25	2	129290,12	11,42 3,04 S
SC _{Granulometría}	192694,33	2	96347,16	8,51 3,04 S
SC _{Long-Dosis}	439489,88	4	109872,47	9,71 2,42 S
SC _{Long-Granulometría}	505375,80	4	126343,95	11,16 2,42 S
SC _{Dosis-Granulometría}	1411660,84	4	352915,21	31,17 2,42 S
SC _{Triple}	6113965,35	8	764245,67	67,51 1,98 S
SC _{Error}	2750899,56	243	11320,57	

El nitrógeno orgánico, al igual que el amonio, tanto los factores simples como las combinaciones de ellos, tienen un efecto significativo en el lixiviado, presentándose, como era de esperar el mayor en la combinación de los tres factores y siguiéndole el factor longitud. Entre los efectos dobles, la interacción Dosis-Granulometría, al igual que en el amonio, es la combinación que mayor efecto tiene sobre la media del lixiviado. El análisis de las medias de Scheffé, la columna de longitud baja, dosis alta y granulometría media (C2) es la que más se diferencia significativamente de las demás.

Finalizado los eventos de lluvia se desmontaron las columnas. Se analizó el contenido de las diferentes formas del nitrógeno retenidas en el suelo, en secciones de 5, 10 y 15 cm de espesor. Al igual que en el lixiviado, dependiendo de la longitud el número de datos es diferente, por esta razón también se procedió a una homogenización respecto al porcentaje de peso de la columna, ver Tabla 9.

Tabla 9. Homogenización nitrógeno Retenido al final de las experimentaciones respecto a los peso total de la columna

%	Nitratos Retenidos (mg)								
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
10	12,51	8,95	13,24	28,63	34,32	14,38	72,69	35,87	16,06
20	14,53	11,06	16,05	39,79	48,74	26,56	87,77	62,84	47,12
30	16,56	13,17	18,85	50,94	63,16	38,73	102,84	89,80	78,18
40	18,58	15,29	21,65	62,10	77,59	50,91	117,92	116,76	109,24
50	20,61	17,40	24,46	73,26	92,01	63,08	132,99	143,72	140,30
60	22,64	19,52	27,26	84,42	106,43	75,25	148,07	170,68	171,36
70	24,66	21,63	30,07	95,58	120,85	87,43	163,14	197,64	202,42
80	26,69	23,74	32,87	106,73	135,27	99,60	178,22	224,60	233,48
90	28,71	25,86	35,67	117,89	149,70	111,78	193,29	251,56	264,54
100	30,74	27,97	38,48	129,05	164,12	123,95	208,37	278,52	295,60
Total	216,22	184,58	258,59	788,38	992,18	691,68	1405,3	1572,0	1558,3

En la Tabla 10 se muestra el análisis de la varianza para el nitrógeno retenido en el suelo.

Tabla 10. Resultados Análisis de la Varianza (ANOVA) para el amonio retenido en el suelo al final de los ensayos.

Efectos	GL	CM	F Ratio	F Tabla
SC _{Total}	891,15	269		
SC _{Longitud}	119,57	2	59,79	155,44 3,04 S
SC _{Dosis}	3,64	2	1,82	4,73 3,04 S
SC _{Granulometría}	11,19	2	5,59	14,54 3,04 S
SC _{Long-Dosis}	16,20	4	4,05	10,53 2,42 S
SC _{Long-Granulometría}	8,65	4	2,16	5,62 2,42 S
SC _{Dosis-Granulometría}	124,59	4	31,15	80,98 2,42 S
SC _{Triple}	703,58	8	87,95	228,66 1,98 S
SC _{Error}	93,46	243	0,38	

El análisis de la varianza para el amonio retenido en el suelo, al igual que en el análisis sobre el lixiviado, indica que todos los factores y sus combinaciones producen efectos significativos sobre el amonio retenido. El efecto doble que más afecta la media del amonio también es Dosis-Granulometría. El análisis de las medias según Scheffé indica que la columna C8 de longitud alta, dosis baja y granulometría media es la que presenta la mayor diferencia significativa respecto a las demás combinaciones de factores.

Respecto a los nitratos retenidos también se presentó sólo efecto significativos simple con el factor longitud, teniendo un valor de significancia mucho mayor que en el lixiviado. Igualmente presentó significancia debido a la interacción dosis-Granulometría. El análisis de Scheffé indica que las columnas C9 de longitud alta, dosis alta granulometría fina y C8 de longitud alta, dosis baja y granulometría media, son las que presentan mayor diferencia significativa respecto a las demás combinaciones de factores, siendo esta última la que mayor efecto tiene sobre la media de los nitratos retenidos.

Tabla 11. Resultados Análisis de la Varianza (ANOVA) para los Nitratos retenidos en el suelo al final de los ensayos.

Efectos	GL	CM	F Ratio	F Tabla	
SC _{Total}	892223,17	269			
SC _{Longitud}	83586,18	2	41793,09	50,95	3,04 S
SC _{Dosis}	182,50	2	91,25	0,11	3,04 N-S
SC _{Granulometría}	674,98	2	337,49	0,41	3,04 N-S
SC _{Long-Dosis}	2048,81	4	512,20	0,62	2,42 N-S
SC _{Long-}	1556,33	4	389,08	0,47	2,42 N-S
Granulometría					
SC _{Dosis-}	84960,01	4	21240,00	25,89	2,42 S
Granulometría					
SC _{Triple}	737618,22	8	92202,28	112,4	1,98 S
SC _{Error}	199321,00	243	820,25		

Tabla 12. Resultados Análisis de la Varianza (ANOVA) para el Nitrógeno Orgánico retenido en el suelo al final de los ensayos.

Efectos	GL	CM	F Ratio	F Tabla	
SC _{Total}	1647077590,1	269			
SC _{Longitud}	126719116,5	2	63359558,3	41,7	3,04 S
SC _{Dosis}	577744,9	2	288872,5	0,2	3,04 N-S
SC _{granulometría}	1570953,1	2	785476,6	0,5	3,04 N-S
SC _{Long-Dosis}	2467407,0	4	616851,7	0,4	2,42 N-S
SC _{Long-granulometría}	1474198,8	4	368549,7	0,2	2,42 N-S
SC _{Dosis- granulometría}	127615570,4	4	31903892,6	21,0	2,42 S
SC _{Triple}	1461220283	8	182652535	120,1	1,98 S
SC _{Error}	369549805,8	243	1520781,1		

Al igual que en los nitratos, el nitrógeno orgánico retenido en el suelo presentó efectos significativos simples con el factor longitud y la combinación dosis-granulometría, también presentó efectos significativos. Las columnas C7 de longitud alta, dosis media y granulometría gruesa y C9 de longitud alta, dosis alta y granulometría baja, son las que mayor diferencia significativa presentan respecto a las demás combinaciones, siendo esta última la que mayor efecto tiene sobre la media del nitrógeno orgánico retenido.

5. Conclusiones

El análisis de la varianza, analiza la posible influencia de uno o varios factores sobre la variable respuesta, en nuestro caso, tanto en el amonio como en el nitrógeno orgánico (lixiviado y en el retenido), todos los factores y sus combinaciones fueron significativas. Realizar solo este análisis no aportaría mucha información a cerca de dicha influencia. Por este motivo es necesario realizar otra prueba posterior a la F de Fisher. El método de comparación de Scheffé, permite determinar, en el caso del amonio, que las

columnas C2 (longitud baja, granulometría media y dosis alta) y C1 (longitud baja, granulometría gruesa y dosis baja), son las que mayor diferencia significativa presentan sobre la media del lixiviado.

En el nitrógeno, tanto en el lixiviado como los retenidos en el suelo presentan una influencia significativa debido a la longitud, sin embargo, al hacer la prueba de Scheffé, resulta, como era de esperar, la longitud pequeña tiene mayor efecto en el lixiviado, mientras que en el retenido la tiene la longitud mayor. Esto se explica porque en el lixiviado cuanto menos longitud de recorrido tenga más rápidamente se lavará tanto el nitrógeno aportado por el purín como el contenido en el suelo, mientras en el nitrógeno retenido lo importante es el tiempo necesario para que se den las transformaciones, por eso cuanto más larga sea la columna, se dispondrá de más nitrógeno para transformarse (principalmente nitrógeno orgánico) y más tiempo para que se den dichas transformaciones.

La interacción doble que mayor efecto tiene, tanto en el lixiviado como en el nitrógeno retenido es la combinación Dosis-Granulometría. En el lixiviado tanto de amonio, como de nitratos y nitrógeno orgánico, la columna C2 de Granulometría media y dosis alta, es la que mayor efecto tiene sobre la media, es decir sin tener en cuenta la longitud, la granulometría media proporciona mejor drenaje que la fina y mayor cantidad de nitrógeno que lavar que las columnas gruesas. En los nitratos y nitrógeno orgánico retenidos, la columna C9 de dosis alta y granulometría fina, es la que mayor efecto tiene sobre la media, debido a que presenta mayor nitrógeno disponible y posee más tiempo para las transformaciones.

El factor dosis solo es significativo en el amonio lixiviado y retenido y el nitrógeno orgánico lixiviado, esto debido a que el contenido de estas formas nitrogenadas en el purín son, comparadas con el de nitratos, altas, sin embargo si se comparan con la cantidad contenida en el suelo son muy bajas, por este motivo factores como la longitud del suelo y la granulometría tienen una mayor significancia que el factor dosis. Si se aplicara un abonado con mayores contenidos de nitratos, dosis que superen la permitida por la normativa ambiental sobre protección de aguas (RD 261/1996, de 16 de febrero (91/676/CEE)), este factor podría ser más significativo que la longitud y la granulometría o al menos del mismo orden de magnitud.

Si se desea profundizar en el conocimiento del ciclo del nitrógeno, se debería realizar un diseño experimental a dos factores (Granulometría-Dosis) a más niveles, debido a que esta interacción doble fue la más significativa en todas las formas de nitrógeno, tanto lixiviadas como retenidas. Fijar una longitud que no sea muy pequeña para evitar que prevalezca el lixiviado frente a las transformaciones del nitrógeno para estudiar el comportamiento de diferentes dosis de nitrógeno en columnas con suelos de diversas clases, daría información de la capacidad que cada clase de suelo tiene como depurador de fuentes de nitrógeno.

Agradecimientos. El trabajo ha sido en parte financiado con fondos de la diputación Provincial de Castellón.

Referencias

- Calvo, F. 1993 “*Técnicas Estadísticas Multivariantes*”, Universidad de Deusto, Bilbao.
- Grageda-Cabrera, O. A., Vermoesen, A., Cleemput, O., Peña Cabriaes J. J., 2000 “Efecto del Tipo de Suelo, Humedad y Fuente de Nitrógeno en las Emisiones de N₂ y N₂O”. Revista TIERRA, Vol 18, número 1
- Hall, S.J., Matson, P.A., 1999 “Nitrogen Oxide emissions after nitrogen additions in tropical forests”, Letters to Natures, Vol 400.
- Kreibich, H., Lehmann, J., Scheufele, G. Kern, J., “Nitrogen availability and Leaching during the terrestrial phase in Várzea forest of central Amazon floodplain”, Short communications, Biology and Fertility of Soils, 39:62-64
- Lindman, H. 2003 “Análisis of Variance in Complex Experimental Designs”, Indiana University, 1974.
- Otegui, O., Zamalvide, J., Goyenola, R., Cerveñanasky, A., 2001 “Momento de aplicación de nitrógeno: efecto en eficiencia de Uso del fertilizante, rendimiento y concentración proteica En grano de cebada cervecera en Uruguay”, TERRA 21:71-80
- Romero, R., Zúñica, L., 1993 “*Estadística, Diseño de Experimentos, Modelos de Regresión*”, Proyecto de Innovación Educativa, Universidad Politécnica de Valencia
- Ruiz, L. 1977 “Métodos estadísticos de Investigación”, Madrid
- Sanchis M. Emilio J., 1991 “Estudio de la Contaminación por Nitratos de las Aguas subterráneas de la Provincia de Valencia. Origen, Balance y Evolución Espacial y Temporal”, Consellería d’Administració Pública de la Generalitat Valenciana, Valencia