

APLICACIÓN DE SUSTRATOS EDAFOLÓGICOS MINERALES COMO MEDIDA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL EN CULTIVOS INTENSIVOS SOBRE ZONAS DE RECARGA DE ACUÍFEROS

GRANDE, J.A.⁽¹⁾; CARMONA, P.⁽²⁾; GONZÁLEZ, A.⁽¹⁾; DE LA TORRE, M.L.⁽¹⁾

⁽¹⁾ Grupo de Hidrogeología y Medio Ambiente. E.P.S.

Universidad de Huelva. Ctra. 21819. Palos de la Frontera. Huelva.

⁽²⁾ Mancomunidad Islantilla. Apdo.151. 21410 Isla Cristina. Huelva.

Resumen

Los excesos de fertilizantes nitrogenados en la agricultura intensiva, se traducen, por lo general, en la presencia de elevadas concentraciones de nitratos en las aguas subterráneas por encima de los límites de potabilidad vigentes, lo que limita la utilidad de estas aguas para otros usos no agrícolas.

El cultivo del fresón es uno de los principales factores de desarrollo económico de la provincia de Huelva, al verse favorecido por unas excelentes condiciones climáticas y por la, hasta ahora, disponibilidad de agua para el riego.

Para conocer y cuantificar los procesos de contaminación por nitratos, se ha realizado una experiencia en zona no saturada en una parcela experimental en donde frente a una parcela testigo se ha estudiado el comportamiento de la adición de zeolita al suelo para dosis de abonado y profundidades diferentes.

El tratamiento estadístico de los datos ha permitido conocer los procesos de intercambio suelo-agua-plantas. La conclusión principal del estudio es que la presencia del sustrato zeolítico ejerce un efecto amortiguador del descenso de nutrientes hacia zona saturada y produce un retardo en el tránsito de los mismos a través de la zona radicular.

Introducción

El sector estudiado se localiza en el paraje "El Campú", municipio de Lepe (Huelva), entre las coordenadas 37° 15' 50" Latitud Norte y 7° 13' 20" Longitud Oeste (figura 1). Geológicamente se encuadra en el límite suroccidental de la Depresión del Guadalquivir en la provincia de Huelva.

Desde el punto de vista hidrogeológico nos encontramos dentro del Sistema Acuífero nº 25 "Ayamonte-Huelva" (ITGE, 1983). La estructura y funcionamiento del mismo son típicas de un acuífero multicapa en un sistema semiconfinado complejo (González, 1986) que se caracteriza por una alternancia de arenas y gravas con margas arenosas semipermeables, de edades comprendidas entre el Andaluciense y el Holoceno y limitado por un sustrato impermeable formado por margas azules (Andaluciense) o localmente pizarras (Viseense; González, op. cit.).

Los materiales permeables presentan una geometría monoclinal de norte a sur (González *et al.*, 1991; Grande *et al.*, 1991) con overlap

transgresivo y potencias que aumentan de 8 metros en el sector septentrional a 40 metros en el meridional. La superficie piezométrica se encuentra a una profundidad que oscila de 10 a 28 metros (González *et al.*, op. cit.).

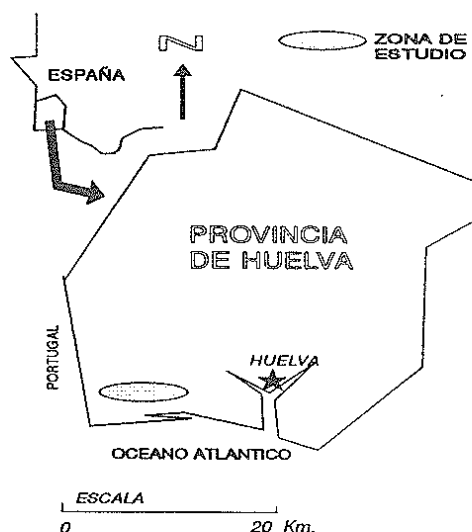


Figura 1. Localización geográfica.

El cultivo del fresón constituye un importante factor de desarrollo económico en la provincia de Huelva, estableciéndose como primer productor de fresón en fresco a nivel europeo (B.I.A., 1983). El Sistema Acuífero nº 25 abastece a un área de regadío de 9.000 ha, siendo el cultivo del fresón uno de los más relevantes, debido a las óptimas condiciones agroclimáticas y a la disponibilidad de aguas subterráneas para el riego. El extraordinario auge de este cultivo ha ocasionado el exceso de aporte de fertilizantes dando lugar a una contaminación por nitratos de las mismas (Grande *et al.*, 1995; Grande, 1995).

La problemática ambiental que estos cultivos están provocando sobre las aguas subterráneas, nos ha llevado a plantear la adición de zeolita al suelo de labor. Se ha elegido este sustrato mineral porque sus propiedades físico-químicas la hacen apta para la agricultura (Munmpton, 1983; Sheppard, 1983; Weber *et al.*, 1983; Barbarick & Pirela, 1983).

Objetivos y método

El objetivo de las experiencias realizadas es el estudio del comportamiento de los suelos tratados con zeolita, para disminuir tanto el aporte de fertilizantes nitrogenados como el agua de riego. Se ha estudiado el efecto que ocasiona el sustrato mineral sobre la velocidad de tránsito de los nitratos en zona no saturada.

Las principales características físicas a destacar de la zeolita, son la estabilidad en el terreno debido a su alta resistencia a la pulverización y

baja a la abrasión, que le confieren una alta durabilidad a través del tiempo (Mumpton, 1983), así como una alta higroscopicidad, que le permite retener agua hasta en un 50% de su peso y cederla lentamente a medida que lo demande la planta (Mumpton, 1977; 1983); por otra parte la principal característica química de la zeolita es su elevada capacidad de intercambio catiónico, pudiendo llegar hasta 230 meq/100g (Ames, 1960; Minato y Utada, 1971). Además reseñar su alta afinidad por el amonio, potasio y calcio (Mumpton, 1983; Barbarick & Pirela, 1983; Semmens, 1983).

ACTUACIONES	J	A	S	O	N	D	E	Fe	M	A	Ma	Ju	J
Preparación terreno	■												
Desinfección		■	■										
Abonado de fondo				■									
Levantamiento de lomos				■									
Aplicación de zeolita				■									
Acolchado plástico negro					■								
Plantación					■								
Colocación cáp. succión						■							
Plástico de cubrición						■							
Fertirrigación					■	■	■	■	■	■	■	■	■
Tratamientos fitosanitarios					■	■	■	■	■	■	■	■	■
Recolección					■	■	■	■	■	■	■	■	■
Retirada del cultivo												■	■
Muestreos						■	■	■	■	■	■	■	■

Tabla 1. Cronograma de las actuaciones del cultivo (periodo 1994-1995).

La alta afinidad de la zeolita por el amonio en los procesos de intercambio catiónico (Mumpton, 1982) evita parcialmente la pérdida de este ión por lixiviación e impide la nitrificación del amonio retenido en los microcanales de 10 Å (Breck, 1974) impidiendo así la actuación de las bacterias nitrificantes, que por su mayor tamaño no pueden acceder a los citados microcanales (Barbarick, 1983).

La plantación de fresón se ha realizado en lomos de 50 cm. de ancho, colocándose 10 plantas por metro lineal, una vez añadida la cantidad de 24 Tm/ha de zeolita cubana (figura 2). La descripción de las acciones y el calendario de ejecución desarrollado durante el cultivo se reflejan en la tabla 1, aplicándose un sistema de riego por goteo de tipo T-tape, aportándose 3.500 m³/ha. durante todo el cultivo. El abonado de

fondo ha consistido en 500 Kg. de estiércol granulado y el de cobertera en 180 U.F. de Nitrógeno./ha., 43 U.F. de Fósforo/ha., 90 U.F. de Potasio/ha y 84 U.F. de Calcio/ha. en forma de fosfato monoamónico, nitrógeno 35,5%, nitrato cálcico y nitrato potásico.

Para el estudio de la evolución espacio-temporal de los nitratos en la zona no saturada en condiciones naturales y con aporte de zeolita se ha recurrido a la utilización de las cápsulas de succión de cerámica porosa.

Se ha elegido el método de las cápsulas de succión por ser el más utilizado desde finales de los ochenta (Ramos *et al.*, 1987) para estudiar la contaminación por nutrientes y modelos de mecanismos de transporte en zona no saturada por diferentes autores, Carrera *et al.* (1990), Fernandez Uría *et al.* (1991), Sanchis (1991), Candela (1991), Virgos y Varela (1993), Guimera (1992), Coletto y Gómez (1992), Alberto *et al.* (1993), Morell *et al.* (1993; 1994), Hernández (1993), Sánchez-Pérez *et al.* (1993; 1994), Grande (1993) y Grande *et al.* (1993; 1994; 1995).

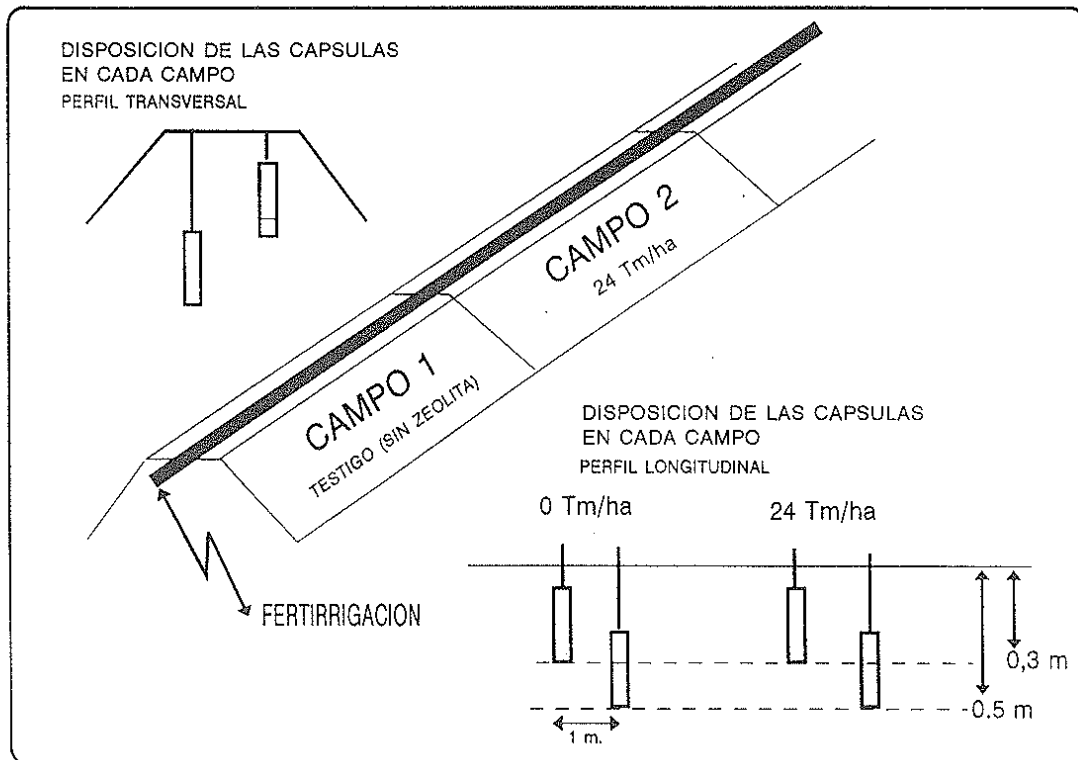


Figura 2. Esquema ilustrativo de la distribución de las cápsulas de succión en la parcela experimental.

Se instalaron un total de cuatro cápsulas de succión de cerámica porosa (figura 2), siguiendo para el montaje de éstas el método de Grande (1995). Dos de ellas fueron instaladas en la zona del lomo sin aporte de zeolita (testigo) y las otras dos en el área que se aportó la zeolita. De estas dos cápsulas, la primera se colocó en el límite de zona de influencia radicular, considerada a 0.30 m., y la segunda cápsula fuera de éste área, a 0.50 m.

Para la extracción de las muestras de agua, se practicó el vacío hasta 70 centibares, con una bomba manual de tipo IRROMETER, extrayéndose a la semana siguiente el agua retenida en la cápsula mediante succión con una jeringuilla; una vez tomada la muestra, se efectuaba el vacío de nuevo.

El muestreo fué realizado con una periodicidad semanal, iniciándose a finales de Diciembre de 1994 (aproximadamente un mes después de la plantación) y finalizándose con la retirada del cultivo (primera semana de Junio de 1995). La analítica de nitratos se efectuó mediante el método colorimétrico a $K = 420 \text{ nm}$ (APHA-AWWA-WPCF, 1989).

SEMANA	N T/30	N T/50	N 24/30	N 24/50
1	382.97	211.55	231.33	167.597
2	328.03	191.772	248.912	213.749
3	174.19	178.585	279.68	119.247
4	262.098	196.167		218.144
5	250.011	162.102	245.616	267.593
6	236.825	233.638	96.1711	357.699
7	262.098	196.167	117.049	310.448
8	130.236	257.703	92.8745	402.752
9	173.091	210.452	100.567	442.311
10	297.262	79.6883	152.213	328.03
11	169.794	196.167	84.0837	317.041
12	92.2089	198.365	36.8329	404.95
13	118.983	165.949	33.2726	173.926
14	86.0177	127.774		242.055
15	131.335	124.741	69.7985	198.104
16	56.6123	63.2054		140.125
17	51.036	55.2556	124.036	84.2654
18	35.734	48.9203	63.3157	152.213
19	35.734	57.71	81.886	147.817
20	20.35	35.734	53.3157	165.399
21	25.8443	45.6237	164.3	203.859
22	13.7039	15.6067	22.2481	39.6539
23	19.8468	76.39	422.972	442.312
24	3.41	59.23		187.364

Tabla 2. Serie de concentraciones de Nitratos (0 Tm/ha de zeolita a 30 cm. de profundidad, 0 Tm/ha a 50 cm. de profundidad, 24 Tm/ha de zeolita a 30 cm. de profundidad, 24 Tm/ha de zeolita a 50 cm. de profundidad).

Las series de evolución temporal correspondientes a las concentraciones de nitratos a profundidades de 0.3 m y 0.5 m para cada uno de los tratamientos observados (con y sin zeolita, figura 2) a lo largo

de las 24 semanas de muestreo, aparecen recogidas en la tabla 2. Los datos de la analítica se han sometido a tratamiento gráfico-estadístico con aplicaciones del programa STATGRAPHICS (STSC, Inc., 1987).

Resultados

Sumario Estadístico

El sumario estadístico de las variables estudiadas que notamos como NT30, NT50, N2430 y N2450 haciendo referencia a las series de nitratos en condiciones naturales (testigo) y con zeolita a razón de 24 Tm/ha a 0.3 y 0.5 m respectivamente se muestra en la tabla 3.

VARIABLE	N T/30	N T/50	N 24/30	N 24/50
Tamaño Muestra	24	24	20	24
Media	139.893	132.271	136.024	238.611
Mediana	124.609	139.862	98.3691	208.804
Moda	262.098	196.167	92.8745	198.104
Media Geom.	85.3909	106.829	104.504	209.484
Varianza	12712.1	5518.71	10451	12874
Desviación Típ.	112.748	74.288	102.23	113.463
Error Estándar	23.0146	15.164	22.8594	23.1606
Mínimo	3.41	15.6067	22.2481	39.6539
Máximo	382.97	257.703	422.972	442.312
Rango	379.56	242.096	400.724	402.658
Low. quartile	35.734	58.47	66.5571	158.806
Upp. quartile	243.418	196.167	197.815	322.536
Interq. range	207.684	137.697	1131.258	163.73
Skewness	0.583456	-0.0255891	1.36671	0.400081
Stan. skewn	1.16691	-0.0511781	2.49525	0.800161
kurtosis	-0.785274	-1.5281	1.8107	-0.742394
Stan.kurtosis	-0.785274	-1.5281	1.65293	-0.742394

Tabla 3. Sumario estadístico

En relación con los máximos y mínimos puede observarse cómo hay más agua gravífica disponible en presencia de zeolitas, siendo mayor por debajo de la zona de influencia radicular (entendemos que sólo este tipo de agua puede ser recogido por las cápsulas, y en ella medida la concentración de nitratos).

Con respecto a la varianza, para la parcela testigo, este estadístico muestra una mayor dispersión de la variable en la cápsula más superficial como consecuencia de los procesos de intercambio suelo-agua-plantas en el nivel superior de la zona no saturada (Grande *et al.*, 1995). En presencia de zeolitas la varianza cambia de sentido, siendo ahora mayor en la zona más profunda, este hecho se interpreta como consecuencia de la propia heterogeneidad del medio que provoca la aparición de factores de retención/circulación e intercambio iónico diferentes en un medio claramente más heterogéneo, ya que a esa profundidad el suelo presenta una composición y textura no modificada.

Redondeado Polinómico de las series

El redondeado polinómico de estas series (figura 3), sugiere las siguientes las precisiones:

-. En la parcela testigo la cápsula situada a 0.30 m. presenta una curva de concentración decreciente en el tiempo que comienza a amortiguarse al final de la campaña, mientras que la ubicada a 0.50 m. muestra un incremento hasta la quinta semana a partir de la cual decrece hasta la semana 23. El descenso progresivo de las concentraciones en esta cápsula se interpreta como consecuencia de dos fenómenos superpuestos: la presencia de nitratos a ese nivel anormalmente alta resultado de usos anteriores del suelo, que en ausencia de lluvias importantes en los últimos 5 años habría provocado la acumulación de fertilizantes nitrogenados en la zona de estudio. Este hecho unido a una racional aplicación de nitratos durante la experiencia y a la demanda de nutrientes que en este tramo la planta exige al suelo, conducen a una repuesta en este nivel claramente diferente a la del inferior, en el que el máximo se observa ahora 5 semanas más tarde consecuencia del retardo en la llegada a esta profundidad de los lixiviados del nivel superior.

-. En presencia de zeolitas, el comportamiento es similar pero amortiguado por la influencia de este sustrato; la amplitud de la onda es en este caso menor y los máximos y mínimos aparecen ahora contenidos en un rango menor (obsérvese como en zona radicular y en la parcela testigo los nitratos son casi totalmente extraídos por las plantas, mientras que en presencia de zeolitas no se alcanzan mínimos tan extremos).

Admitiendo la existencia de una zonación vertical de la Z.N.S. en lo relativo al comportamiento del flujo de nutrientes (Grande *et al.*, 1995), la presencia de zeolitas, disminuye la velocidad de tránsito hacia zona saturada, como consecuencia, de la elevada capacidad de intercambio catiónico que presenta este sustrato.

Función de Correlación Cruzada

El fenómeno expuesto anteriormente puede contrastarse tratando los datos correspondientes a los aportes por fertirrigación y las

concentraciones en las cápsulas superficial y profunda de cada tratamiento, mediante la correlación cruzada, comprobando de hecho la existencia de una relación de dependencia entre ambas.

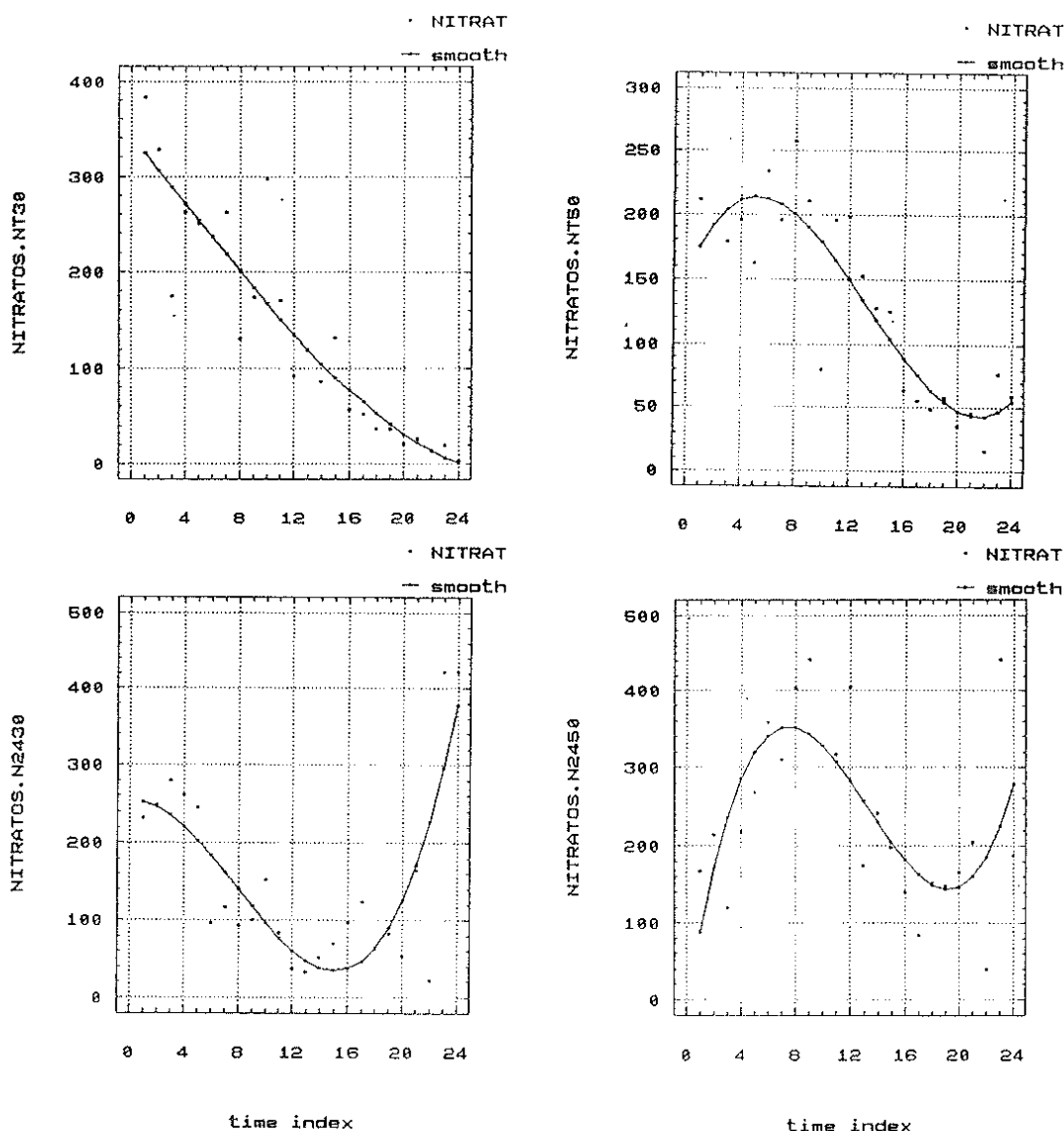


Figura 3. Redondeado polinómico de las series.

La FCC estima la correlación existente entre una serie temporal en un tiempo "t" y una segunda serie en un tiempo "t + k", como función del retardo o tiempo diferencia "k". Es particularmente útil si dos series temporales correlan entre sí y en ese caso para determinar si una de ellas conduce a la otra (Bisquerra, 1989).

Considerando como serie de entrada las concentraciones de nitratos a 0.3 m y como datos de salida las concentraciones a 0.5 m son obseables los siguientes fenómenos. La velocidad de tránsito es notablemente superior en ausencia de zeolitas como demuestran las graficas (figura 4). El máximo de correlación observado entre NT30/NT50

alcanza un valor r próximo a 0.8, desfasado 14 días hacia la derecha. Si consideramos el espacio de separación vertical entre cápsulas (0.2 m), encontraremos que la velocidad de flujo es tres veces menor en la parcela testigo en comparación con la parcela de zeolitas, donde, de entrada la correlación es menor ($r < 0.5$) y desfasado 49 días.

En este caso, es observable un aumento anómalo de la correlación en " t " = 0, interpretable como resultado de la presencia de canales de descenso preferentes inherentes al propio sistema de muestreo, ya que la instalación de los tomamuestras de succión conducen en algunos casos a la existencia de zonas no compactadas alrededor de la propia cápsula. Este fenómeno va acompañado del subsiguiente efecto rebote a partir del cual la tendencia se estabiliza.

Resulta llamativa la existencia de correlaciones cruzadas altas y negativas entre el aporte total de Nitrógeno y la concentración de nitratos en la parcela testigo, probablemente ocasionadas como consecuencia de haberse alcanzado el límite de capacidad de retención de nitratos por los suelos sin zeolitas, por lo que los nitratos descienden con el agua. Como el caudal de riego es proporcional a la cantidad de nitrato aportado, no por añadir más fertilizantes nitrogenados conseguiremos dejarlo retenido a las profundidades comprendidas entre 30 y 50 cm., con lo que a partir de un determinado instante, la correlación será inversa.

En relación al total de aportes de nitrógeno con la concentración de nitratos en el tratamiento con zeolitas, la correlación es inversa por la misma razón, pero, ahora se tarda más en alcanzar el límite de saturación. El coeficiente de correlación es menor a causa de encontrarse más tiempo en zona radicular, con lo que las plantas extraen más cantidad de nitratos.

Conclusiones

Los ensayos realizados permiten concluir las siguientes cuestiones:

-. Evidencia de la influencia positiva del sustrato como intercambiador catiónico, puesta de manifiesto en unos valores máximos y mínimos más contenidos que en la parcela testigo, y contrastable con los valores que ofrece la varianza, de cuya observación en la parcela testigo se deduce una mayor dispersión de la variable "concentración de nitratos" en la cápsula superficial que en la profunda, consecuencia de los procesos de intercambio suelo-agua-planta. El cambio de sentido de la varianza en presencia de zeolitas se interpreta como consecuencia de la propia heterogeneidad del medio.

-. El redondeado polinómico de las series de concentración temporal de nitratos en las diversas cápsulas, sugiere también el efecto amortiguador del descenso de nutrientes hacia zona saturada, consecuencia de la alta capacidad de intercambio catiónico del sustrato.

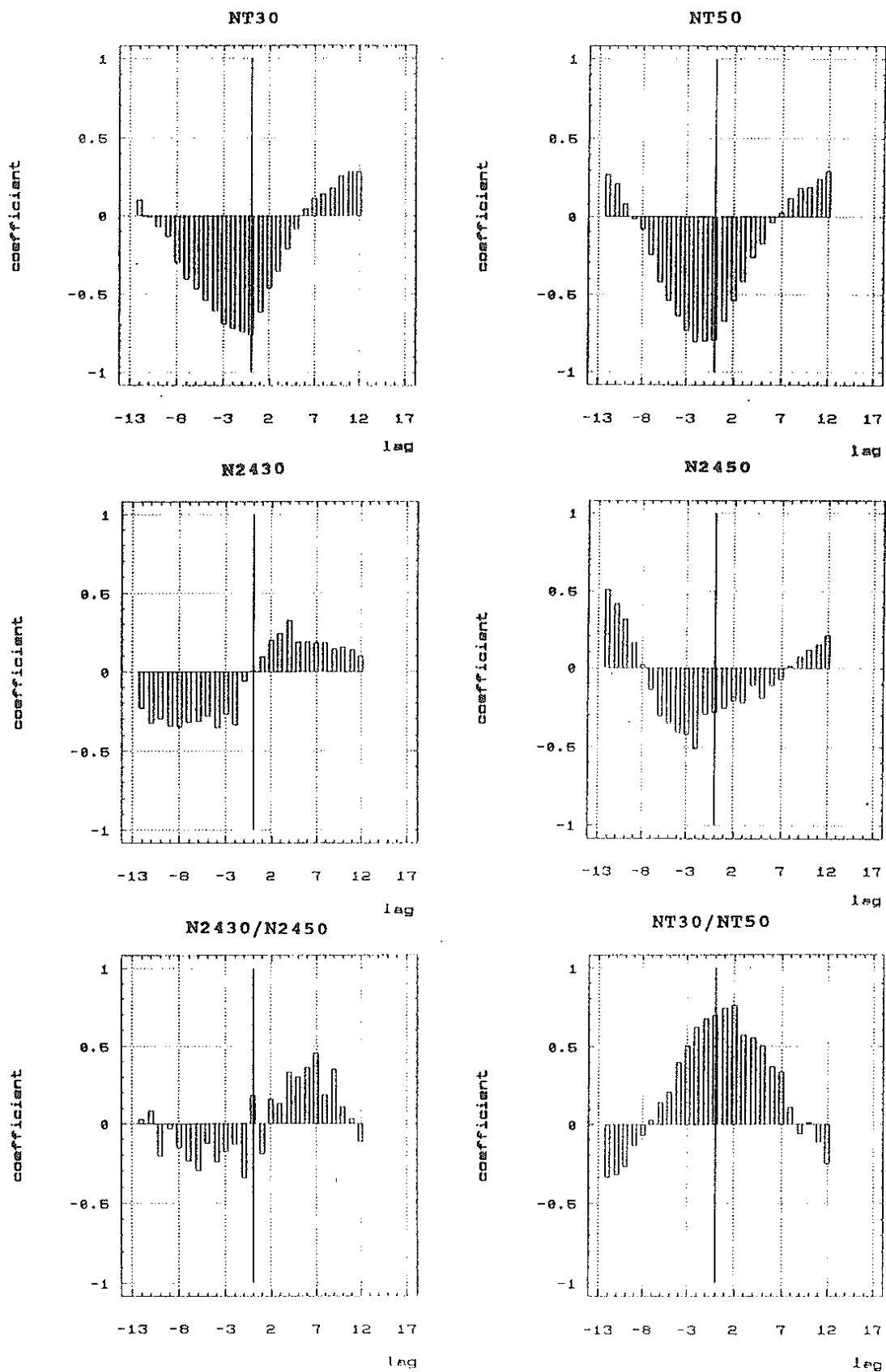


Figura 4. Gráficas correspondientes a la Función de Correlación Cruzada (Aportes por fertirrigación - Concentraciones en las cápsulas superficial y profunda).

-. La función de correlación cruzada permite contrastar la hipótesis anterior e informa además de los tiempos de tránsito del frente de avance de la onda. La existencia de elevados coeficientes de correlación negativos entre el nitrógeno aportados y el determinado en ambas cápsulas de la parcela testigo es interpretado como consecuencia de haberse alcanzado el límite de capacidad de retención de nitratos por los suelos, con lo que los excedentes descienden con el agua de infiltración. El mismo factor de correlación en la parcela tratada con zeolitas presenta un valor menor como consecuencia del mayor tiempo de tránsito de los nutrientes en zona radicular lo que permite una mayor extracción de nitratos por las plantas.

Referencias

- AMES, L. L. (1960). The cation sieve properties of clino-ptilolite. *Amer. Mineral.* 45, 689-700.
- APHA-AWWA-WPCF. (1989). Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Ed. *Diaz de Santos, S.A.* Madrid.
- ALBERTO, J. M.; PADILLA, F.; MORELL, I. (1993). Aplicación del modelo MELEF-5v de simulación de flujo y transporte de contaminantes de origen agrícola a través de la zona no saturada. In: *Investigación en Zona No Saturada*. pp. 135-156. Ed. I. Morell. Universitat Jaume I. Castellón.
- BARBARICK, K. A. & PIRELA, J. (1983). Agronomic and horti-cultural uses of zeolites. *International Committe on Natural Zeolites*. 93-103.
- B.I.A. (1993). Estadísticas agrícolas. *Boletín de Información Agrario Cons. Agric. y Pesca*. Junta de Andalucía, 69: 12-34
- BISQUERRA, R. (1989). Introducción conceptual al análisis multivariable. *Promoc. Public. Universit. S.A.* Barcelona.
- BRECK, D.W. (1974). Zeolite Molecular Sieves. *John Wiley*, New York, pp. 3, 537.
- CARRERA, J.; ALFAGEME, H.; GALARZA, G.; MEDINA, A. (1990). Estudio de la infiltración a través de la cobertera de la F.U.A. *Informe del CIMNE IT - 312*. Barcelona.
- CANDELA, L. (1991). Toma de muestras de agua en la zona no saturada: Solución del suelo, succión con cápsulas de cerámica. *CIHEAM*. Barcelona.
- FERNANDEZ URIA, A.; CASTANO, S.; MEASTRO, M. T. (1991). Experiencias para la caracterización del flujo y transporte de compuestos nitrogenados mediante el uso de modelos en una parcela experimental en San Fernando de Henares (Madrid). *CIHEAM*. Barcelona.
- GONZÁLEZ, A. (1986). Hidrogeología de la Región SW de la Provincia de Huelva. Tes. *Doc. Ser. Publ. Univ. Granada*.
- GONZÁLEZ, A. Y ROMERO, E. (1991). Fast transmission of nitrate into a detritic aquifer (Lepe. Huelva. Spain). *Wat. Sci. Tech.* vol. 24. nº 11. Oxford. England.
- GRANDE, J.A. (1993). Problemática medioambiental de la contaminación por nitratos en las aguas subterráneas de Sistema Acuífero 25 entre los ríos Guadiana y Piedras. Tesis Doctoral. 453 pp. *Univ. Sevilla*. Ined.

- GRANDE, J.A. (1995). Contaminación de aguas subterráneas en el sector costero occidental de Huelva. *Serv. Publ. Univ. Huelva*. 354 pp.
- GRANDE, J.A., ROMERO, M.J., MUÑOZ, F. Y GONZÁLEZ, A. (1991). Caracterización litoestratigráfica de los materiales postmezóicos comprendidos entre los ríos Guadiana y Piedras. *Actas Cong. Ing. Tec. Min. León*.
- GRANDE, J. A., GONZÁLEZ, A. Y SANCHIS, E. (1993). Contaminación por nitratos en zona no saturada del sector occidental del acuífero Ayamonte-Huelva. *In: Investigación en Zona No Saturada*. pp. 67-76. Ed. I.Morell. Universitat Jaume I. Castellón.
- GRANDE, J.A., GONZÁLEZ, A. Y ORIHUELA, D. (1995). Transfer of nitrogen contaminants across the unsaturated zone in an experimental site (Western region Almonte-marshes, province of Huelva, Spain). *Acta Universitatis Carolinae Geologica* 39: 49-61. Praga. Rep. Checa.
- GUIMERA, J. (1992). Análisis experimental de los procesos de flujo y comportamiento del ion nitrato en la zona no saturada y su influencia en el agua subterránea. Tesis Doctoral. *Univ. Politécnica Cataluña*.
- HERNANDEZ, F. (1993). Determinaciones analíticas en muestras de la zona no saturada. *In: Investigación en Zona No Saturada*. pp. 29-51. Ed. I.Morell. Universitat Jaume I. Castellón.
- ITGE (1983). Hoja 998 (Ayamonte) del Mapa Geológico de España a escala 1:50.000. *Ser. Publ. Min. Ind. Madrid*.
- MINATO, H. & UTADA, M. (1971). Clinoptilolite from Japan: in Molecular Sieve Zeolites. R.F. Gould, ed., *Advances in Chemistry Series* 101, Amer. Chem. Soc., Washington, D.C. 535-539.
- MUNMPTON, F.A. (1977). Utilization of natural zeolites: in Mineralogy and Geology of Natural Zeolites, F.A. Munmpton, ed. *Short Course Notes 4 Mineralogical Society of America*, Washington, D.C., 177-196.
- MUNMPTON, F.A. (1983). Natural Zeolites: in *Zeo-Agriculture: Use of Natural Zeolites in Agriculture and Aquaculture*, W. G. Pond and F. A. Munmpton, eds., Westview Press, Boulder, Colorado, 33-43.
- MORELL, I.; ESTELLER, M. V.; DURAN, A. (1994). Efecto depurador de la zona no saturada sobre efluentes urbanos utilizados para riego. *In: Investigación en Zona No Saturada*. pp. 77-98. Ed. I.Morell. Universitat Jaume I. Castellón.
- RAMOS, C.; DOMINGO, R.; OLIVER, J. (1987). Nitrate leaching under two nitrogen fertilization managements. *CEC workshop management system to reduce impact of nitrates*. Brussels.
- SÁNCHEZ-PÉREZ, J. M.; ANTIGÜEDAD, I.; ARRATE, I.; RUIZ, M., MORELL, I. (1993). La zona no saturada y la contaminación por nitratos de las aguas subterráneas en el acuífero cuaternario de Vitoria-Gasteiz (País Vasco). *In: Investigación en Zona No Saturada*. pp. 53-66. Ed. I.Morell. Universitat Jaume I. Castellón.
- SÁNCHEZ-PÉREZ, J. M.; MORELL, I. (1994). Precauciones de uso de los tomamuestras de succión equipados con porcelana porosa. *In: Investigación en Zona No Saturada*. pp. 9-15. Ed. I.Morell. Universitat Jaume I. Castellón.
- SANCHIS, E. (1991). Estudio de la contaminación por nitratos de las aguas subterráneas de la provincia de Valencia. Origen, Balance y evolución espacial y temporal. Tesis Doctoral *Universidad de Barcelona*. Ed. *Graficuatre*. Valencia.

- STSC, Inc., (1987). Statgraphics v.3.0. statistical graphics system. *Plus Ware Products Help Line*. Maryland-USA.
- SEMMENS, M. J. (1983). Cation-exchange propereties of natural zeolites. *International Committe on Natural Zeolites*. 45-53.
- SHEPPARD, R. A. (1983). Characterization of zeolitic mate-rials in agricultural research. *International Committe on Natural Zeolites*. 79-87.
- VIRGOS, L.; VARELA, M. (1991). Vinazas y bacterias en Daimiel (Ciudad Real). *CIHEAM*, Barcelona.
- WEBER, M. A., BARBARICK, K.A. & WESTALL, D.G. (1983). Application of clinoptilolite to soil amended with municipal sewage slude. *International Committe on Natural Zeolites*. 263-271.

