

---

# APLICACIÓN DE ZEOLITA EN ROCAS DETRÍTICAS PARA LA REDUCCIÓN DEL TRÁNSITO DE NUTRIENTES HACIA ZONA SATURADA.

**DE LA TORRE SÁNCHEZ, María Luisa; GRANDE GIL, José Antonio y SAINZ SILVÁN, Alfredo**

Grupo de Recursos y Calidad del Agua. Universidad de Huelva, E-21819 Palos de la Frontera. Huelva, SPAIN.

DE LA TORRE, M.L.: E-Mail mltorre@uhu.es. Tel: 959-017345 FAX: 959-017304

## RESUMEN

Una de las causas que dan lugar a la contaminación por nitratos de las aguas subterráneas, es el intenso laboreo sobre medios arenosos permeables, donde los excesos de agua y fertilizantes, producen un rápido descenso hacia la zona saturada de las soluciones nitrogenadas. La aplicación en los suelos agrícolas de zeolita, incrementa la capacidad de retención de amonio y agua, disminuyendo con ello la pérdida de nutrientes. El presente estudio tiene como principal objetivo el diseño experimental de estrategias para mejorar la calidad ambiental mediante la reducción de la contaminación en la zona saturada aplicando zeolita a un cultivo de fresón, junto con la utilización de funciones de correlación cruzada que permitan observar la incidencia de este tratamiento en la circulación de contaminantes a través de la zona no saturada.

**PALABRAS CLAVE:** Zona no saturada, zeolita, nitratos, fresón.

## INTRODUCCION

Uno de los problemas de contaminación de las aguas subterráneas, se debe al intenso laboreo sobre medios arenosos permeables, donde los excesos de agua y fertilizantes, producen un rápido descenso hacia la zona saturada de soluciones altamente nitrogenadas (GRANDE, 1995). La necesidad de preservar el medio subterráneo se hace patente con el desarrollo de técnicas que permitan no sólo su protección, sino que también eviten su deterioro, con el fin de poder seguir siendo utilizado por las generaciones futuras.

Las zeolitas, son aluminosilicatos hidratados (KESRAOUI-OUKI *et al.*, 1994) cuya aplicación sobre suelos incrementa la capacidad de retención de  $\text{NH}_4^+$  y de agua, favoreciendo la actividad biológica y actuando como fertilizante de liberación lenta mediante intercambio iónico y disminuyendo las pérdidas de nutrientes propios del suelo (NOTARIO *et al.*, 1994).

Los principales estudios relativos a las posibles ventajas de la aplicación de zeolitas en suelos se encuentran encabezados por HUANG y PETROVIC, quienes en 1994 propusieron la aplicación de zeolitas para la reducción del lixiviado de nitratos en campos de golf situados en suelos arenosos, y por RODRÍGUEZ *et al*, que en ese mismo año aplicaron zeolita mezclada con estiércol a una pradera, comprobando su relevancia para incrementar la efectividad del abono orgánico. GRANDE *et al*. (1995a) describen una experiencia en la que estudian cómo la zeolita disminuye las pérdidas de nutrientes a través de zona no saturada, comprobando los resultados de la experiencia mediante contraste estadístico (GRANDE *et al*. 1995b).

El presente estudio tiene como principal objetivo el diseño experimental de estrategias para mejorar la calidad ambiental mediante la reducción de la contaminación en la zona saturada aplicando zeolita a un cultivo de fresón, junto con el estudio de la incidencia de estos tratamientos en la circulación de contaminantes a través de la zona no saturada.

La parcela experimental en la que se realizaron las experiencias se encuentra situada en el Recinto de Recogida de Residuos Reciclables perteneciente al Ayuntamiento de Palos de Frontera (Huelva, Spain), en las coordenadas 37° 12' de latitud norte y 6° 53' de longitud oeste (figura 1)

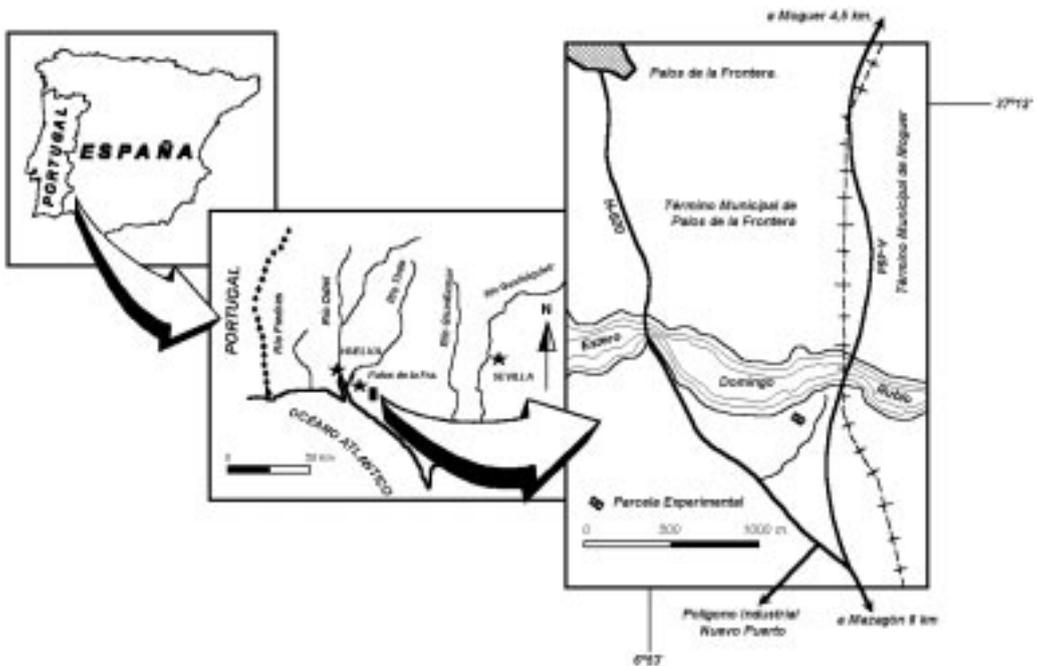


Figura 1. Mapa de situación de la parcela experimental.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### ***Diseño de la experiencia***

La parcela experimental se diseñó y construyó siguiendo las técnicas tradicionales de cultivo de fresón en la zona (plástico negro, microinvernadero y riego por goteo) con cuatro lomos de experimentación, dejando uno de ellos como testigo. Tres de los lomos experimentales, recibieron, cada uno de ellos, aplicaciones de lodo, zeolita (que es el que vamos a estudiar en esta comunicación) y lodo con zeolita, respectivamente, que quedan a una profundidad de 20 cm. Con el fin de controlar las condiciones naturales del terreno se utiliza el lomo testigo, al que no se aplica tratamiento ninguno, y a partir del cual se puede conocer, *a posteriori*, el grado de influencia de las experiencias realizadas sobre dichas condiciones.

A lo largo de la campaña, todos los lomos de la parcela experimental recibieron las mismas dosis de fertirriego. Se distribuyeron lomos sin tratamiento entre los lomos de experimentación y en las cabeceras de la parcela, para evitar las posibles interferencias entre los distintos tratamientos aplicados y desde el exterior de la parcela. La zeolita empleada era una clinoptilolita cargada previamente con nitrógeno, fósforo y potasio y aplicada con una dosis de 50 Tm/ha.

### ***Toma de muestras***

Para el control de la experiencia se diseñó una red de muestreo, abarcando tanto a la zona no saturada como a las acciones realizadas en superficie (fertirriego, aplicación de productos fitosanitarios, etc.). Para el control de la zona no saturada se empleó una batería de 16 cápsulas de succión de teflón, para el muestreo del agua intersticial del suelo y su posterior análisis. En cada lomo se situaron 4 cápsulas de experimentación con una separación horizontal entre ellas de 60 cm bajo la línea de goteo y a unas profundidades de 15, 30, 60 y 100 cm. Cada cápsula se conectó a un Erlenmeyer, en superficie, donde se efectuaba el vacío, recogiendo posteriormente la muestra de agua extraída del suelo. La ventaja de estas cápsulas se fundamenta en que permiten extraer el agua intersticial del suelo sin modificar apenas las condiciones iniciales y sin contaminar la muestra (DE LA TORRE, 2000), en contraste con las cápsulas de cerámica porosa empleadas hasta el momento (SÁNCHEZ-PÉREZ 1993; GRANDE *et al.* 1995c; DE LA TORRE *et al.* 1999). Con el fin de conocer las condiciones iniciales de experimentación se realizaron análisis de zeolita, suelo y agua de riego, previos al inicio de la explotación.

Semanalmente se recogieron, durante dos campañas consecutivas, tanto las muestras de agua procedentes de las cápsulas, como del agua de riego. Cada muestra fue introducida en un vaso de PVC de 100 ml, herméticamente cerrado, depositándose en una nevera portátil y llevándose posteriormente al laboratorio (Servicios Centrales de Investigación de la Universidad de Huelva) en donde se determinaron nitratos, sodio, potasio, fosfatos, calcio, magnesio, cloruros, sulfatos, pH y conductividad.

### Análisis estadístico

Los resultados de las determinaciones de nitratos de las muestras semanales de agua, obtenidas en el lomo con tratamiento de zeolita y el lomo testigo a las distintas profundidades, junto con los relativos a los aportes de nitratos mediante el fertirriego, para las dos campañas de muestreo, se organizaron en una matriz de 62 filas (una por cada semana de muestreo) y 9 columnas (una por cada variable). Para abordar el tratamiento estadístico de los datos teniendo en cuenta la profundidad que representan, se emplearon las funciones de correlación cruzada. Esta función estima la correlación existente entre una serie temporal en un tiempo "t", y una segunda serie en un instante "t+k" como función del retardo o tiempo diferencial "k". Es particularmente útil si dos series temporales están correlacionadas entre si, y en caso de estarlo, para determinar si una de ellas conduce a la otra (GRANDE, 1993). El programa informático empleado para este análisis fue el Statgraphics plus.

Las funciones de correlación cruzada se establecieron entre los nitratos aportados mediante el fertirriego y los analizados en el lomo con tratamiento de zeolita y el lomo testigo en las muestras obtenidas a distintas profundidades.

### RESULTADOS

Los datos de entrada se muestran en la siguiente tabla:

SEMANA	Z15N (mg/l)	Z30N (mg/l)	Z60N (mg/l)	Z100N (mg/l)	T15N (mg/l)	T30N (mg/l)	T60N (mg/l)	T100N (mg/l)	Nap (mg/l)
1	85.2	1540	126	68	40	52	51	54	0
2	148	1950	118	63	42	36	137	86	0
3	113	1350	63	290	51	49	34	80	0
4	214	597	68	50	53	6		78	0
5	130	807	105	60	55	21		70	0
6	114	645	204	86	57	35		70	63
7	117	481	218	79	42	62	48	57	0
8	69	277	141	7	22	24		46	0
9	76	276	166	7	28	20	12	28	82
10	94	270	192	4	45	23	18	30	265
11	77	269	211	9	23	18	14	34	328
12	100	262	233	12	27	20	14	37	199
13	112	262	543	20	49	32	16	40	148
14	103	289	250	276	68	26	20	37	316
15	196	318	287	34	94	35		37	461
16	351	354	286	62	179	24		22	426
17	424	401	265	97	232	21		18	767

SEMANA	Z15N (mg/l)	Z30N (mg/l)	Z60N (mg/l)	Z100N (mg/l)	T15N (mg/l)	T30N (mg/l)	T60N (mg/l)	T100N (mg/l)	Nap (mg/l)
18	908	430	268	103	788	69		16	318
19	522	462	280	132	889	88		14	451
20	136	518	319	168	511	118		5	149
21	75	576	287	191	255	163		12	121
22	51	599	310	208	147	196	194	33	53
23	30	548	307	229	89	162		66	85
24	24	485	303	210	32	123		37	64
25	24	438	287	180	18	76		13	38
26	20	392	201	59	10	44		74	44
27	18	271	239	228	9	30	110	66	44
28	17	151	278	233	12	11		56	18
29	16	130	355	219	13	18	51	58	52
30	12		410	222	10	31		56	52
31			368	196	21	23		73	0
32	18		23		58	51	21	30	0
33	59		23	12	40	20	35	29	0
34	20		36	14	49	23	32	11	0
35	8	189	40	30	46	56	20	12	0
36	26		53	40	13	33	40	22	0
37	7	189	57	54	30	9	19	13	0
38	77	220	49	32	6	6	14	10	22
39	89	196	55	46	39	5	23	25	37
40	165	180	53	43	16	8	33	31	38
41	60	140	59	47	28	9	41	30	10
42	144	156	68	40	49	4	27	23	0
43	80	173	69	50	42	3	41	30	22
44	124	172	68	62	18	4	39	30	62
45	88	140	64	46	80	70	32	11	0
46	113	144	59	68	97	28	44	27	113
47	97	144	54	48	46	24	37	10	77
48	74	149	46		150	91	42	10	0
49	85	150	45	38	69	10	40	11	34
50	97	151	42		59	11	31	12	57
51	76	156	36	20	51	32	21	15	113
52	106	158	65		97	12	21	17	0
53	102	149	22		54	22	24	19	52
54	103	146	52	30	92	10	16	20	16
55	94	135	31		91	15	21	23	54
56	102	126	36		56	7	20	17	8
57	83	103	26		63	15	37	28	0
58	95	104	29	15	65	3	33	26	62
59	103	74	48		57	10	28	28	19
60	80	95	24		54	3	19	20	7
61	66	90	11	13	48	9	94	16	6
62	69	84	28		14	4	19	22	0

En los gráficos obtenidos, para el lomo con tratamiento de zeolita, se puede observar lo siguiente:

Gráfico 1: En este gráfico se representa la función de correlación cruzada entre los nitratos aportados mediante el fertirriego y los determinados en las muestras semanales obtenidas de la cápsula situada a 15 cm de profundidad en el lomo con aplicación de zeolita. Se observa como, en este caso existe una gran correlación entre los aportes y los nitratos determinados. La máxima correlación, con un coeficiente de 0,75, se alcanza 1 semana después de la aplicación, es decir, este análisis nos indica que los nitratos aplicados mediante goteo tardan una semana en llegar a la cápsula situada a 15 cm de profundidad. Este tiempo de retardo se debe considerar como una aproximación, ya que en la velocidad de tránsito a través de zona no saturada intervienen muchos factores que pueden influir, como la existencia de canales preferentes (GRANDE, 1995) que pueden desvirtuar los resultados obtenidos.

Gráfico 2: A 30 cm de profundidad se observa como la gráfica se aparta de la simetría, alcanzándose un coeficiente máximo de 0,7 con un retardo de 15 semanas.

Gráfico 3: A 60 cm de profundidad no se observa que exista una buena correlación, no pudiendo establecerse el retardo sufrido por los nitratos aportados hasta llegar a la citada cápsula.

Gráfico 4: A 100 cm de profundidad, también en este caso no se obtiene una gráfica claramente definida, no pudiéndose establecer con claridad el retardo sufrido.

En los gráficos resultantes del estudio establecido para el lomo testigo, se observa lo siguiente:

Gráfico 5: Se observa un retardo de 2 semanas con un coeficiente de correlación máximo de 0,85 entre los nitratos aportados y los determinados a 15 cm de profundidad en el lomo sin tratamiento (lomo testigo).

Gráfico 6: A 30 cm de profundidad se obtiene una gráfica muy similar a la anterior, aumentando en retardo tan solo a 5 semanas, con una correlación máxima de 0,8.

Gráfico 7: A 60 cm de profundidad se alcanza un coeficiente de 0,7 a la 8 semanas de la aplicación del fertirriego.

Gráfico 8: A 100 cm de profundidad, en el lomo testigo, se alcanza un coeficiente de 0,5 a 13 semanas de retardo.

GRÁFICO 1: Función de correlación cruzada Nsp-212N

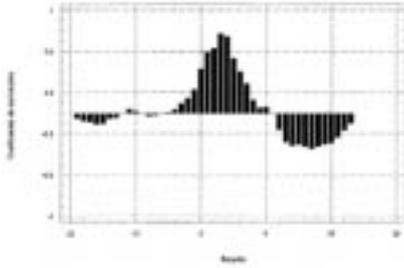


GRÁFICO 2: Función de correlación cruzada Nsp-210N

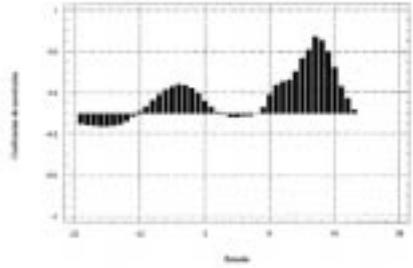


GRÁFICO 3: Función de correlación cruzada Nsp-250N

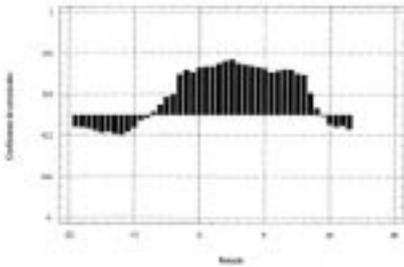


GRÁFICO 4: Función de correlación cruzada Nsp-210N

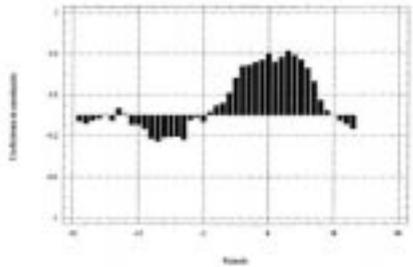


GRÁFICO 5: Función de correlación cruzada Nsp-112N

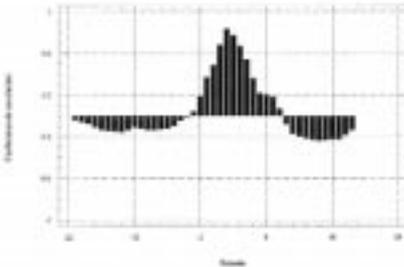


GRÁFICO 6: Función de correlación cruzada Nsp-110N

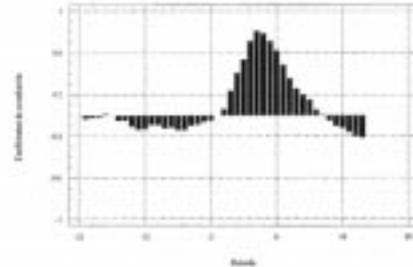


GRÁFICO 7: Función de correlación cruzada Nsp-110N

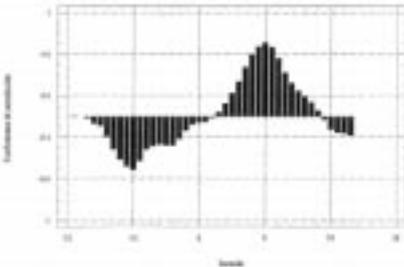
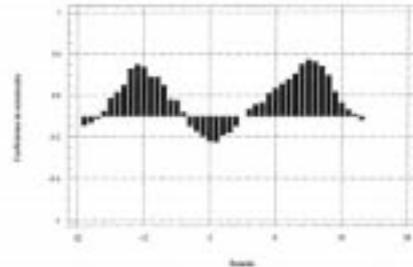


GRÁFICO 8: Función de correlación cruzada Nsp-110N



## CONCLUSIONES

En el lomo con aplicación de zeolita se observa un aumento del retardo a 30 cm de profundidad, pasando de 5 semanas para el lomo testigo a 15 semanas cuando se aplica la zeolita. Este aumento pone en evidencia el efecto de retención de agua que ejerce la zeolita y que influye sobre los nutrientes que utilizan esta agua como vehículo de transporte a través de zona no saturada y que al encontrarse durante más tiempo a disposición de las raíces del cultivo, serán mejor aprovechados por éste y por tanto llegarán en menor medida hasta los acuíferos, produciéndose un efecto beneficioso sobre el consecuente aumento de la contaminación en zona saturada.

A 60 y 100 cm de profundidad, para el lomo con aplicación de zeolita se obtienen unas gráficas algo difusas, en las que no se puede determinar con claridad el retardo sufrido por los nitratos, siendo este fenómeno inducido por la influencia de la zeolita, que mediante la retención que produce hace que el tránsito hacia zonas profundas no ocurra de una forma menos acusada. A este fenómeno hay que añadir el efecto de la zona radicular, que en el cultivo del fresón se encuentra entre los 35 y 45 cm de profundidad, y que se pone de manifiesto por la disminución del coeficiente de correlación observado a 60 y 100 cm en el lomo testigo.

## AGRADECIMIENTOS

Los resultados presentados en esta comunicación son una contribución del Ayuntamiento de Palos de la Frontera, Servicios Centrales de Investigación de la Universidad de Huelva, así como de la Asociación de Industrias Químicas y Básicas de Huelva.

## BIBLIOGRAFÍA

- BISQUERRA, R. (1989). Introducción conceptual al análisis multivariable. Promociones y Publicaciones Universitarias. S.A. Barcelona.
- DE LA TORRE, M.L., GRANDE, J.A., GARRIDO, R, BELTRÁN, R. (1999). Variaciones de pH inducidas por las cápsulas de cerámica porosa en el muestreo de agua en la zona no saturada. Tecnología del Agua. Elsevier. Barcelona.
- DE LA TORRE, M.L. (2000). Aplicación experimental de zeolita cubana y lodos procedentes de depuradora al cultivo del fresón. Reducción de costes y beneficio medioambiental. Tesis Doctoral. Ined.
- GRANDE, J.A. (1993). Problemática medioambiental de la contaminación por nitratos en las aguas subterráneas del sistema acuífero nº 25 entre los ríos Guadiana y Piedras. Tesis Doctoral. Ined.
- GRANDE, J.A. (1995). Contaminación de aguas subterráneas en el sector costero occidental de Huelva. Serv. Pub. Univ. Huelva.
- GRANDE, J.A.; CARMONA, P.; GONZALEZ, A.; DE LA TORRE, M.L. (1995a). Aplicación de sustratos edafológicos minerales como medida de protección ambiental en cultivos intensivos sobre zonas de recarga de acuíferos. In: Gonzalo, J.M., Antigüedad, I. (Eds.). Avances en la Investigación en Zona No Saturada. Serv. Pub. Gobierno Vasco. Vitoria. 381-395.

- GRANDE, J.A.; CARMONA, P.; GONZALEZ, A.; DE LA TORRE, M.L. (1995b). Experiencia con zeolitas en cultivos de fresón. Análisis factorial de los datos de una parcela experimental en Lepe (Huelva). In: Gonzalo, J.M., Antigüedad, I. (Eds.). Avances en la Investigación en Zona No Saturada. Serv. Pub. Gobierno Vasco. Vitoria. 373-3808.
- GRANDE, J.A.; GONZÁLEZ, A.; SANCHEZ-RODAS, D.; DE LA TORRE, M.L. (1995c). Influence of the type of cultivation in the nitrate contamination in a detritic aquifer. Application of the stepwise method to this phenomenon. Solutions'95. Edmonton. Alberta. Canada.
- HUANG, Z.T.; PETROVIC, A.M. (1994). Clinoptilolite zeolite influence on nitrate leaching and nitrogen use efficiency in simulated sand based golf greens. *J. Environ. Qual.* 23(6), 1190-1194.
- KESRAOUI-OUKI, S., CHEESEMAN, C.R., PERRY, R. (1994). Natural zeolite utilisation in pollution control: a review of applications to metals'effluents. *J. Chem. Tech. Biotechnol.* 59, 121-126.
- RODRÍGUEZ, I.; CRESPO, G.; RODRÍGUEZ, M.; AGUILAR, M. (1994). Efecto de diferentes proporciones de excreta-zeolita en el rendimiento y composición química de *pacinum maximum* vc. *Likoni. Re. Cubana. Cienc. Agric.* 28, 113-117.
- SANCHEZ-PÉREZ, J.M. (1993). Precauciones en el uso de los tomamuestras de succión equipados con porcelana porosa. *Jornadas sobre investigación en medio no saturado.* Ed. Ignacio Morell. Castellón.