

## EXPERIENCIA CON ZEOLITAS EN CULTIVOS DE FRESÓN. ANÁLISIS FACTORIAL DE LOS DATOS DE UNA PARCELA EXPERIMENTAL EN LEPE (HUELVA).

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

<sup>(1)</sup> Grupo de Hidrogeología y Medio Ambiente.

E.P.S. Universidad de Huelva. 21819. Palos de la Frontera. Huelva.

<sup>(2)</sup> Mancomunidad Islantilla. Apdo.151. 21410 Isla Cristina. Huelva.

### Resumen

En este trabajo se discuten mediante contraste estadístico los resultados de la experiencia en zona no saturada desarrollada por Grande et al. (1995a) con aplicación de zeolitas a un cultivo de fresas en las proximidades de Lepe (Huelva).

El análisis factorial pone de manifiesto la existencia de un proceso de contaminación de las aguas subterráneas consecuencia de los excesos en los aportes de fertilizantes nitrogenados, proceso que queda amortiguado con el tratamiento del suelo de cultivo con zeolitas.

### Introducción

El tratamiento de los datos procedentes de la analítica de una parcela experimental en fresas con aplicación de zeolita al suelo de cultivo, en Lepe (Huelva), descrito por Grande et al. (1995a), a partir del cual proponen un paquete de conclusiones, sugiere, ante el elevado volumen de datos a explorar, el contraste de estas conclusiones mediante la aplicación de tratamientos gráfico-estadísticos paralelos, y en ello se centra el objetivo del presente trabajo.

### Metodología de campo

Los aspectos relativos tanto a las técnicas de muestreo, análisis, características geológicas del sector en estudio así como a las dosis y tipo de abonado en la explotación, aparecen detalladas en el trabajo de referencia (Grande et al., 1995a).

### Tratamiento estadístico

El análisis factorial es una técnica que permite resumir la información contenida en una matriz de datos con un número "n" de variables. Para ello se identifican un reducido número de factores "f" de forma que  $f < n$ . Este número reducido de factores representan a las variables originales con una pérdida mínima de información.

El desarrollo del proceso se inicia con el cálculo de la matriz de correlación entre todas las variables a partir de la matriz de datos originales. Tras el examen de la misma se extraen los factores necesarios para representar los datos y se rotan los factores con objeto de facilitar su interpretación y representación gráfica.

En este caso hemos procedido al análisis factorial de las variables que definen las características del agua en zona no saturada a diferentes profundidades y en un pozo vecino. Las variables consideradas son: concentración de nitratos, pH, T, conductividad y unidades de fertilizante de diferentes nutrientes, todo ello en dos campos de experimentación simultáneos, una parcela testigo y otra tratada con zeolitas.

Los valores relativos a la matriz factorial original se han mejorado rotando los ejes por el método de rotación Varimax (Kaiser, 1958), que en realidad maximiza la varianza de los factores. Este método tiende a minimizar el número de variables que presentan saturaciones altas en un factor, con lo que resulta más sencilla la interpretación.

La rotación factorial pretende seleccionar la solución más sencilla e interpretable. En síntesis consiste en rotar los ejes de coordenadas que representan a los factores hasta conseguir que se aproximen al máximo a las variables en que están saturados (Grande *et al.*, 1995b).

La matriz factorial rotada es una combinación lineal de la primera y explica la misma cantidad de varianza inicial (Bisquerra, 1989). Como resultado obtendríamos la matriz rotada.

El Análisis en Componentes Principales (ACP) es uno de los métodos pioneros del análisis multivariable, y consiste en una reducción de la información disponible condensando la matriz de correlación entre las variables en unos "componentes principales" de la variabilidad total. Dicho de otra forma, el ACP es una técnica estadística que permite transformar un conjunto de variables intercorrelacionadas en otro conjunto de variables no correlacionadas, denominadas componentes (factores), de tal forma que éstas son combinación lineal de las variables originales.

## **Resultados y discusión**

### **Matriz de correlación**

El examen de la matriz de correlación (figura 1), en la que se han considerado como representativos los coeficientes de correlación mayores o iguales a 0,7 en valor absoluto, sugiere las precisiones que comentamos a continuación.

Las Unidades de Fertilizantes de Nitrógeno aportadas durante el cultivo (variable NITROACUMU) presentan la siguiente correlación:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
1	1																								
2	-0.5	1																							
3	0.72	-0.7	1																						
4	-0.3	0.19	-0.5	1																					
5	0.61	-0.8	0.69	-0.3	1																				
6	0.58	-0.1	0.16	0.11	0.21	1																			
7	0.18	0.00	0.28	-0.4	0.1	0.08	1																		
8	0.31	-0.1	0.43	-0.5	0.18	0.16	0.70	1																	
9	0.43	-0.2	0.24	0.00	0.56	0.49	0.19	-0.1	1																
10	0.53	-0.8	0.76	-0.3	0.75	0.24	0.00	0.17	0.59	1															
11	-0.3	-0.2	0.19	-0.1	0.07	-0.5	0.18	0.14	-0.3	0.03	1														
12	0.69	-0.7	0.89	-0.4	0.82	0.37	0.29	0.56	0.31	0.22	0.13	1													
13	0.18	-0.5	0.63	-0.3	0.62	-0.2	0.24	0.41	0.00	0.49	0.7	0.68	1												
14	-0.3	0.5	-0.5	-0.1	-0.4	-0.1	-0.3	-0.5	0.01	-0.4	-0.2	-0.5	-0.6	1											
15	-0.1	-0.4	0.51	-0.3	0.37	-0.3	0.27	0.37	-0.1	0.30	0.21	0.49	0.29	-0.5	1										
16	-0.4	0.58	-0.6	0.01	-0.5	-0.1	-0.3	-0.6	0.07	-0.4	-0.3	-0.6	-0.7	0.89	-0.5	1									
17	-0.0	-0.5	0.58	-0.2	0.52	-0.4	0.15	0.20	-0.1	0.41	0.76	0.56	0.95	-0.6	0.93	-0.6	1								
18	-0.2	0.59	-0.6	0.09	-0.4	-0.1	-0.2	-0.5	0.03	-0.4	-0.2	-0.6	-0.6	0.85	-0.5	0.97	-0.6	1							
19	-0.1	-0.4	0.45	-0.4	0.24	-0.5	0.31	0.39	-0.3	0.21	0.84	0.37	0.82	-0.5	0.84	-0.5	0.88	-0.5	1						
20	-0.2	0.63	-0.7	0.37	-0.4	0.09	-0.3	-0.2	-0.1	-0.7	-0.4	-0.6	-0.6	0.71	-0.5	0.73	-0.6	0.78	-0.5	1					
21	-0.2	0.40	-0.5	-0.5	-0.4	0.01	-0.3	-0.4	0.05	-0.3	-0.3	-0.5	-0.6	0.97	-0.5	0.98	-0.6	0.97	-0.5	0.75	1				
22	-0.6	0.97	-0.8	0.34	-0.8	-0.2	-0.1	-0.2	-0.3	-0.9	-0.2	-0.9	-0.6	0.55	-0.4	0.62	-0.5	0.56	-0.4	0.63	0.53	1			
23	-0.5	0.95	-0.8	0.25	-0.2	-0.2	-0.1	-0.3	-0.2	-0.9	-0.2	-0.9	-0.7	0.61	-0.5	0.70	-0.6	0.62	-0.4	0.69	0.55	0.97	1		
24	-0.6	0.87	-0.8	0.35	-0.7	-0.2	-0.3	-0.5	-0.1	-0.8	-0.1	-0.8	-0.6	0.61	-0.4	0.73	-0.5	0.61	-0.4	0.59	0.54	0.91	0.9	1	

Figura 1. Matriz de correlación. 1: Npozo; 2: U.F. de N; 3: NT30; 4: Conduc. pozo; 5: NT50; 6: Conduc. Zeo 50; 7: N Zeol 50; 8: Conduc. Zeol 30; 9: N Zeol 50; 10: Conduc. T 50; 11: pH pozo; 12: Conduc. T 30; 13: pH T 30; 14: Tª Zeol 50; 15: pH T 50; 16: Tª Zeol 50; 17: pH Zeol 30; 18: Tª T 50; 19: pH Zel 50; 20: Tª pozo; 21: Tª T 30; 21: 22: U.F. de Calcio ; 23: U.F. de potasio; 24: U.F.de Fósforo

-0,76 con la variable NT30 (Concentración de Nitratos a 0.3 m sin zeolita).

-0,79 con la variable NT50 (Concentración de Nitratos a 0.5 m sin zeolita).

Siendo significativos en valor absoluto ambos coeficientes, el signo negativo se explica como consecuencia del lavado de nitratos que tiene lugar en el suelo al aplicar cantidades excesivas de U.F. de nitrógeno que no pueden ser aprovechadas por las plantas (Grande *et al.*, 1995). De igual manera sucede con las aportaciones del resto de nutrientes, correlacionándose negativamente en los dos casos en que el sustrato no presenta zeolita. Sin embargo con el sustrato mineral esta correlación deja de ser significativa, consecuencia, en gran parte, de la elevada capacidad de intercambio catiónico de la zeolita que repercute en la velocidad de transporte de los iones (Munmpton, 1977).

La misma variable NITROACUMU muestra los siguientes índices:

0.88 con FOSFOACUMU (Aporte de U.F. de Fósforo).

0.97 con CALCIACUMU (Aporte de U.F. de Calcio).

0.95 con POTASACUMU (Aporte de U.F. de Potasio).

Esta correlación queda justificada claramente por estar combinados en distintas fórmulas de fertilizantes los nutrientes aportados al cultivo.

Los valores de conductividad presentan altos coeficientes de correlación con los de concentración de nitratos en cada cápsula.

A 0.3 m y 0.5 m en la parcela testigo encontramos coeficientes de 0.89 y 0.82 respectivamente y con zeolitas a 0.3 m de 0.72, disminuyendo para las cápsulas ubicadas a 0.5 m a 0.49. Puede justificarse la alta correlación en la parcela testigo como resultado de no ser captada por la raíces la elevada concentración de nitratos disponible, lo que se traduciría en un proceso de salinización. La presencia de zeolitas, al inducir una disminución en la velocidad de tránsito de los nutrientes (Grande *et al.*, 1995a), implica que la planta pueda disponer de más tiempo para captar estos nutrientes, por lo que la cantidad de nitratos captados en la cápsula situada a 0.5 m sería menor.

Los valores de pH, correlacionan de manera significativa entre sí con y sin zeolita y a ambas profundidades. Parece lógico que en un principio el agua intersticial mantenga un pH similar en cada uno de los casos al haber estado sometido todo el campo de muestreo a un mismo tratamiento.

La correlación que presenta el pH con la concentración de nitratos para el tratamiento con zeolitas a 0.3 m, puede justificarse como consecuencia de la alta afinidad que presenta la zeolita por el calcio (Weber *et al.*, 1983), por lo que en esta zona es probable que este nutriente quede retenido más tiempo, de manera que a los 50 cm con zeolitas esta concentración haya disminuido por el consumo de las plantas, de forma que ya no puede relacionarse con el pH.

La temperatura, al igual que sucede con el pH, presenta coeficientes significativos entre todas las muestras de los distintos tratamientos. El efecto que ocasiona la zeolita sobre la temperatura (Munmpton, 1983), no se ha podido observar ya que esto ocurre cuando la temperatura desciende hasta el punto de congelación del agua, caso que no ha ocurrido durante la campaña de cultivo.

### **Análisis factorial**

Sometidas las variables a rotación factorial por el método Varimax, puede observarse lo siguiente (figura 2):

- El Factor I agrupa tres conjuntos de variables, independientes entre sí, tales como la concentración de nitratos, relacionada a su vez en cada tratamiento con la conductividad, y en el extremo opuesto el aporte de fertilizantes durante la campaña y la temperatura de las distintas muestras.

A este factor I se le define como "Contaminación Agrícola", y corresponde a un aporte excesivo de fertilizantes, en este caso el nitrógeno, que conlleva un lavado de este nutriente a través de la zona no saturada, por no poder ser extraída esta elevada concentración por las plantas. Este efecto de contaminación queda amortiguado con la aplicación de zeolitas que retrasa la velocidad de tránsito (Grande *et al.*, 1995a). Por otra parte la temperatura influye en la contaminación, ya que a bajas temperaturas la actividad fisiológica de las plantas disminuye implicando un descenso en su tasa metabólica, con lo cual la planta no necesita tal cantidad de nutrientes, y en tal caso éstos se lavan a través de la zona no saturada.

- En cuanto al Factor II, está definido principalmente por el pH de todos los tratamientos y aparece acompañado por la concentración de nitratos que presenta el suelo tratado con zeolitas a 0.3 m, que a su vez se relaciona con la conductividad de este caso. Este efecto de acompañamiento, corrobora el explicado anteriormente de la alta afinidad de la zeolita por el calcio, que implica su relación con el pH.

En definitiva, este factor se denomina "pH" siendo las muestras que más se ajustan las tomadas a 0.5 m tratadas o no con zeolitas.

### **Análisis en componentes principales**

Al aplicar este tipo de análisis se distinguen claramente cuatro agrupaciones diferentes de variables (diagrama biplot, figura 3).

- Por un parte, el pH de los distintos tratamientos, que corresponde al Factor II del análisis anterior, junto a la concentración de nitratos correspondiente a la cápsula situada a 0.3 m con tratamiento de zeolitas, lo que explica la estrecha relación descrita anteriormente.

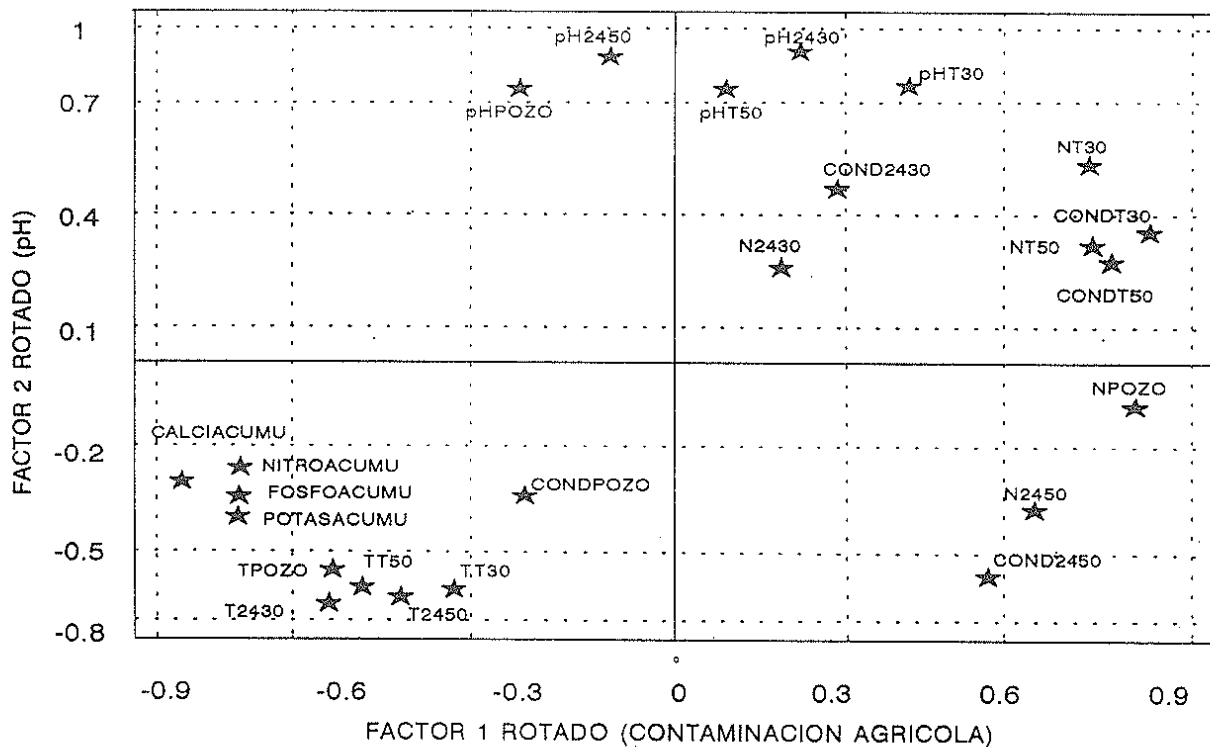


Figura 2. Factores rotados mediante Varimax.

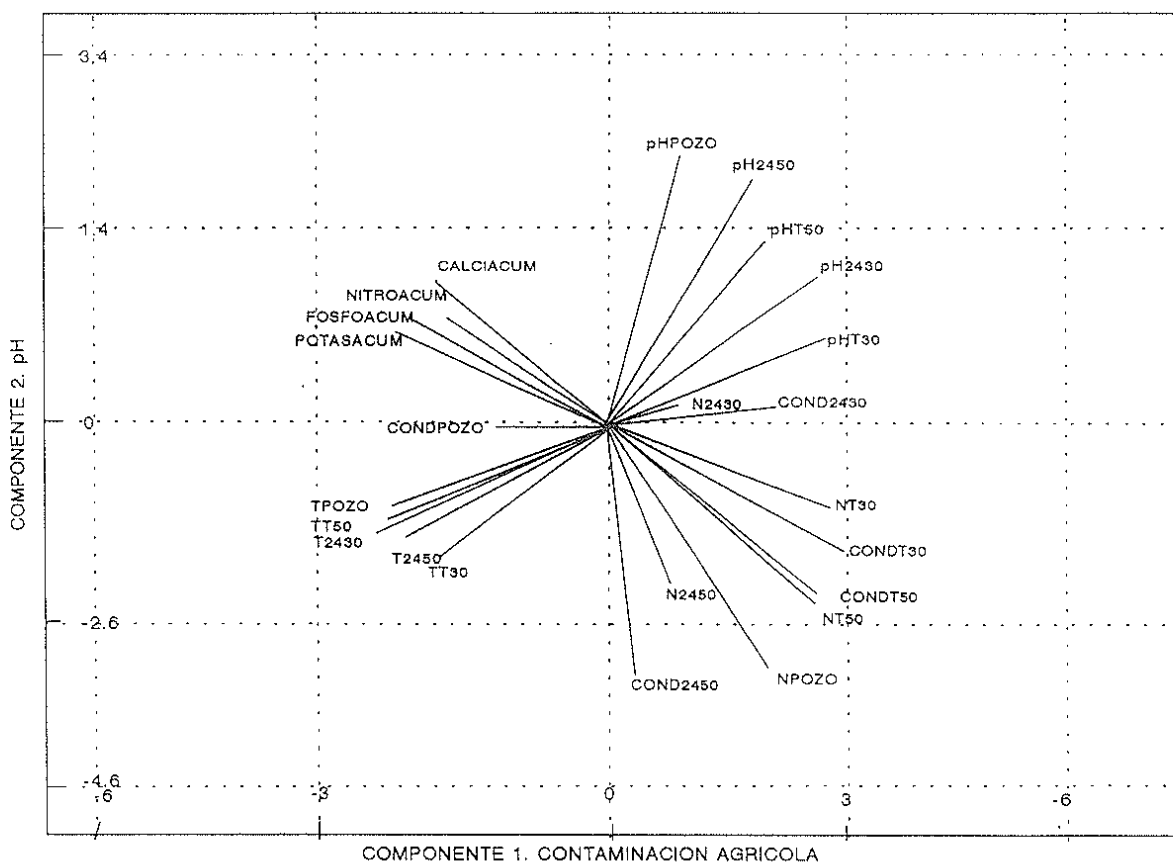


Figura 3. Gráfico "biplot" de Componentes Principales.

- Un segundo grupo está constituido por las concentraciones de nitratos, estrechamente relacionados con la conductividad, excepto para la concentración del agua del pozo. Este hecho indica que la conductividad está relacionada con la concentración de este nutriente en zona no saturada, pero no funciona de igual forma en zona saturada, pudiéndose a su vez relacionar con el aporte excesivo de fertilizantes en zonas puntuales que ocasionan esta salinidad y que queda enmascarada en las aguas subterráneas por dilución de estas sales.

- El tercer grupo se identifica con las temperaturas, las cuales ejercen una acción directa sobre la fisiología de las plantas como se ha indicado anteriormente. En este grupo se encuadra a su vez la conductividad del agua de la zona saturada (agua del pozo). Estas relaciones temperatura-conductividad podrían quedar definidas esencialmente por la temperatura, puesto que de ella depende el que la planta aumente o disminuya la tasa metabólica, lo que implica un mayor o menor tránsito de sales hacia la zona saturada.

- El último grupo corresponde a los aportes de unidades de fertilizantes, que como ya se ha indicado, están fuertemente relacionados por la formulación de los distintos nutrientes en el proceso de abonado.

## **Conclusiones**

De la experiencia se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- 1ª) La elevada capacidad de intercambio catiónico de la zeolita repercute en la velocidad de transporte de los iones en la zona no saturada, lo que se traduce en una disminución significativa del coeficiente de correlación de las variables relacionadas con el aporte de nutrientes en la parcela con substrato de zeolita frente a la parcela testigo.

- 2ª) El análisis factorial pone de manifiesto la existencia de un proceso de contaminación de las aguas subterráneas consecuencia de los excesos en los aportes de fertilizantes nitrogenados, proceso que queda amortiguado con el tratamiento del suelo de cultivo con zeolitas.

- 3ª) Se ha definido un factor I (contaminación agrícola), agrupa variables tales como la concentración de nitratos, relacionada a su vez en cada tratamiento con la conductividad, y en el extremo opuesto el aporte de fertilizantes durante la campaña y la temperatura de las distintas muestras. Este efecto de contaminación queda amortiguado con la aplicación de zeolitas que retrasa la velocidad de tránsito.

- 4ª) Asimismo, el factor II (pH) aparece acompañado por la concentración de nitratos que presenta el suelo tratado con zeolitas a 0.3 m, que a su vez se relaciona con la conductividad de este caso. Este efecto de acompañamiento corrobora la alta afinidad de la zeolita por el calcio, que implica su relación con el pH.

## Referencias

BISQUERRA, R. (1989). Introducción conceptual al análisis multivariable. Promoc. Public. Universit. S.A. Barcelona.

GRANDE, J.A.; CARMONA, P.; GONZÁLEZ, A.; DE LA TORRE, M.L. (1995a). Aplicación de sustratos edafológicos minerales como medida de protección ambiental en cultivos intensivos sobre zona de recarga de acuíferos. In: *Avances en la Investigación en Zona No Saturada*. Ed. J.M. Gonzalo e I. Antiguada. Vitoria-Gasteiz.

GRANDE, J.A.; GONZÁLEZ, A.; BELTRÁN, R.; SÁNCHEZ, P. (1995b). Application of Factor Analysis to the study of contamination in the Aquifer System Ayamonte-Huelva. *Groundwater*. (in press.).

KAISER, H.J. (1958). The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. *Psychometrika*, 23,187-200.

MUNMPTON, F.A. (1977). Utilization of natural zeolite. 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.

WEBER, M. A., BARBARICK, K.A. & WESTALL, D.G. (1983). Application of clinoptilolite to soil amended with municipal sewage sludge. *International Committee on Natural Zeolites*. 263-271.