

# Distribución espacial de índices factoriales de ACP aplicado a parámetros fisicoquímicos de aguas subterráneas (Castell de Ferro, Granada)

*Spatial distribution of the PCA factors applied to groundwater physicochemical parameters (Castell de Ferro, Granada)*

P. Pulido-Leboeuf <sup>(1)</sup>, A. Pulido-Bosch <sup>(2)</sup>, M.L. Calvache<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Dep. Hidrogeología y Q.A. Universidad de Almería, 04120 La Cañada (Almería). E-mail: apulido@val.es

<sup>(2)</sup> Dep. Geodinámica Universidad de Granada, 18071 Granada

## ABSTRACT

*Plotting the results of the Principal Components Analysis by means of ordinary kriging allows the detection of preferential flowpathways and the identification of the advances of the pollution by seawater intrusion and agricultural activities.*

**Key words:** Hydrogeochemistry, PCA, ordinary kriging, seawater intrusion

*Geogaceta, 31 (2002), 79-81  
ISSN:0213683X*

## Introducción

Los acuíferos costeros de la vertiente mediterránea presentan una problemática compleja, debido a la irregular distribución de las precipitaciones, a la fuerte explotación derivada de las actividades dominantes en estos sistemas (cultivos bajo plástico, turismo) y a las fuentes de contaminación introducidas por estas mismas actividades. El sistema acuífero de Castell de Ferro constituye un ejemplo claro de esta problemática. Este sistema acuífero se encuentra en la costa SE de la provincia de Granada. Se trata de un acuífero detrítico formado por los depósitos de dos ramblas y que ocupa una superficie de unos 3 km<sup>2</sup>.

Además, existen unos afloramientos de mármoles karstificados en contacto con este acuífero detrítico y con el mar que juegan un papel muy importante en el funcionamiento del sistema, ya que actúan como vías de flujo preferencial en el intercambio de agua con el mar (Calvache y Pulido-Bosch, 1994). En uno de estos afloramientos el Grupo de Investigación «Recursos Hídricos y Geología Ambiental» realizó cuatro perforaciones (figura 1) con el objeto de profundizar en el conocimiento del

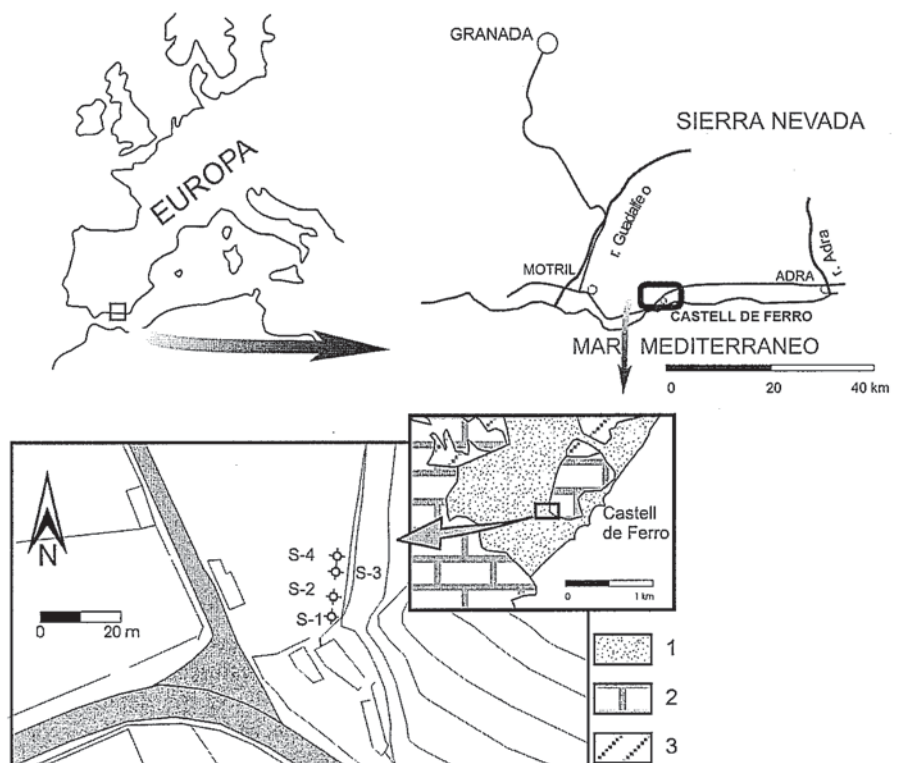


Fig. 1.- Situación geográfica y geológica de los sondeos utilizados en este estudio. 1: materiales aluviales cuaternarios; 2: mármoles alpujarrides; 3: metapelitas alpujarrides.

*Fig. 1.- Geographical and geological location of the boreholes used in this study. 1: quaternary alluvial materials; 2: alpujarride marbles; 3: alpujarride metapelites.*

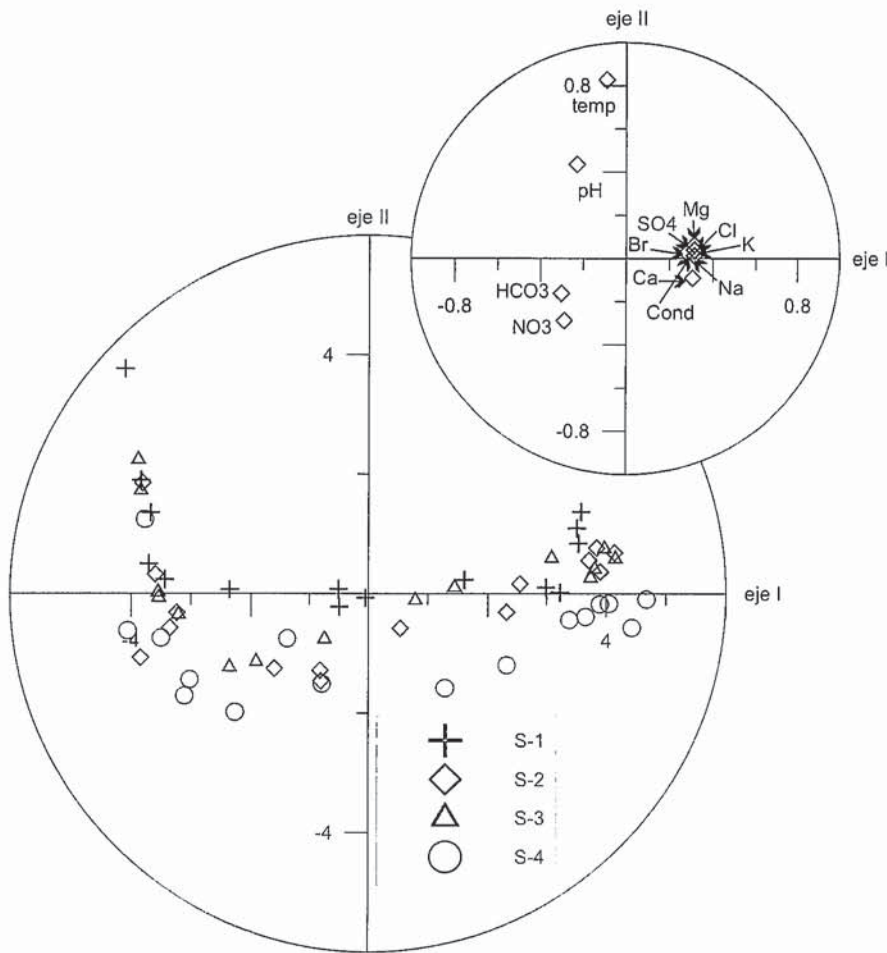


Fig. 2.- Representación de las variables y de las muestras en el plano definido por los factores I y II del ACP.

Fig. 2.- Variables and samples plotted in the plane defined by the factors I and II of the PCA.

funcionamiento de este sistema acuífero (Pulido-Bosch *et al.*, 1999). Los cuatro sondeos atraviesan mármoles en toda su columna. En algunos puntos se encuentran depósitos de arcillas, normalmente coincidentes con fracturas abiertas, identificadas mediante video-grafías.

**Métodos**

El 23 de julio de 1998 se tomaron 61 muestras distribuidas a lo largo de los 4 sondeos del Grupo de Investigación, «RHyGA», mediante un hidrocaptor de cierre controlado. La profundidad a la que se tomaron las muestras fue decidida a partir de registros de conductividad eléctrica y temperatura previos. La temperatura, el pH y la conductividad eléctrica fueron medidos *in situ*. Se tomaron dos alcuotas de agua, una para analizar los cationes y otra para los

aniones; a la primera se le añadieron 0.25 ml/l de HNO<sub>3</sub> para evitar posibles precipitaciones. Además, las muestras fueron conservadas a 4°C hasta la realización de las determinaciones. Los bicarbonatos fueron determinados en el laboratorio de Hidrogeología y Química Analítica de la Universidad de Almería mediante valoración con naranja de metilo y NO<sub>3</sub>H. Los cationes (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>) fueron analizados en el laboratorio del Departamento de Ingeniería Química de la Universidad de Alicante mediante un ICP-MS, así como el ion Cl<sup>-</sup>, que fue valorado con AgNO<sub>3</sub>, y el NO<sub>3</sub><sup>-</sup>; el SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> y el Br<sup>-</sup>, determinados mediante espectrofotometría.

El Análisis de Componentes Principales (ACP) es una técnica factorial que permite la visualización de datos multivariantes en planos gráficos definidos por dos ejes ortogonales para el estudio de las principales similitudes y diferen-

cias entre variables y muestras. Esto se hace mediante el cálculo de factores que explican la varianza entre los atributos a través de la reducción del número de dimensiones de la nube de datos inicial, minimizando la pérdida de información. La cartografía de los factores obtenidos mediante este ACP se denomina kriging factorial y es de gran utilidad para la identificación e interpretación de anomalías geoquímicas (Jiménez-Espinosa y Chica-Olmo, 1999; Batista *et al.*, 2001).

**Resultados**

Mediante el ACP sólo han sido necesarias dos componentes para explicar más del 90% de la varianza. En la proyección de las variables sobre el plano definido por los factores I y II (figura 2) se observa una agrupación compacta de variables en el sector positivo del eje I (conductividad eléctrica, Cl<sup>-</sup>, Na<sup>+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup> y Br<sup>-</sup>). En el sector negativo de los dos ejes se encuentran HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> y NO<sub>3</sub><sup>-</sup>; mientras que temperatura y pH se encuentran en el sector positivo del segundo eje. El primer factor explica el 83,3% de la varianza, mientras que el segundo explica el 9,5%.

Las observaciones se distribuyen paralelamente al factor I, reflejando la gradación de salinidades de las muestras tomadas. En el extremo izquierdo de la distribución, las muestras se disponen paralelamente al factor II, mostrando la mayor variabilidad de la temperatura en las muestras menos salinas, debido a que son las muestras menos profundas.

Los variogramas obtenidos para los dos factores del ACP han sido modelados mediante modelos esféricos utilizando el código Surfer 7 (Golden Software, 1999); en el caso del factor I parecía más fácil adaptar un modelo exponencial, pero la inestabilidad de este tipo de modelo nos ha llevado a usar el modelo esférico. Los parámetros usados en los modelos están detallados en la tabla 1. Al representar la variación espacial de los dos ejes a lo largo de los cuatro sondeos se observa que el factor I adquiere sus valores más altos en las profundidades más altas, pero sorprende que sea en los sondeos más alejados del mar (figura 3). La causa de esto es que en los sondeos 3 y 4 se atravesaron algunas fracturas transmisivas no encontradas en los otros sondeos. En el caso del sondeo 4, esto es más evidente, ya que este sondeo termina en una cue-



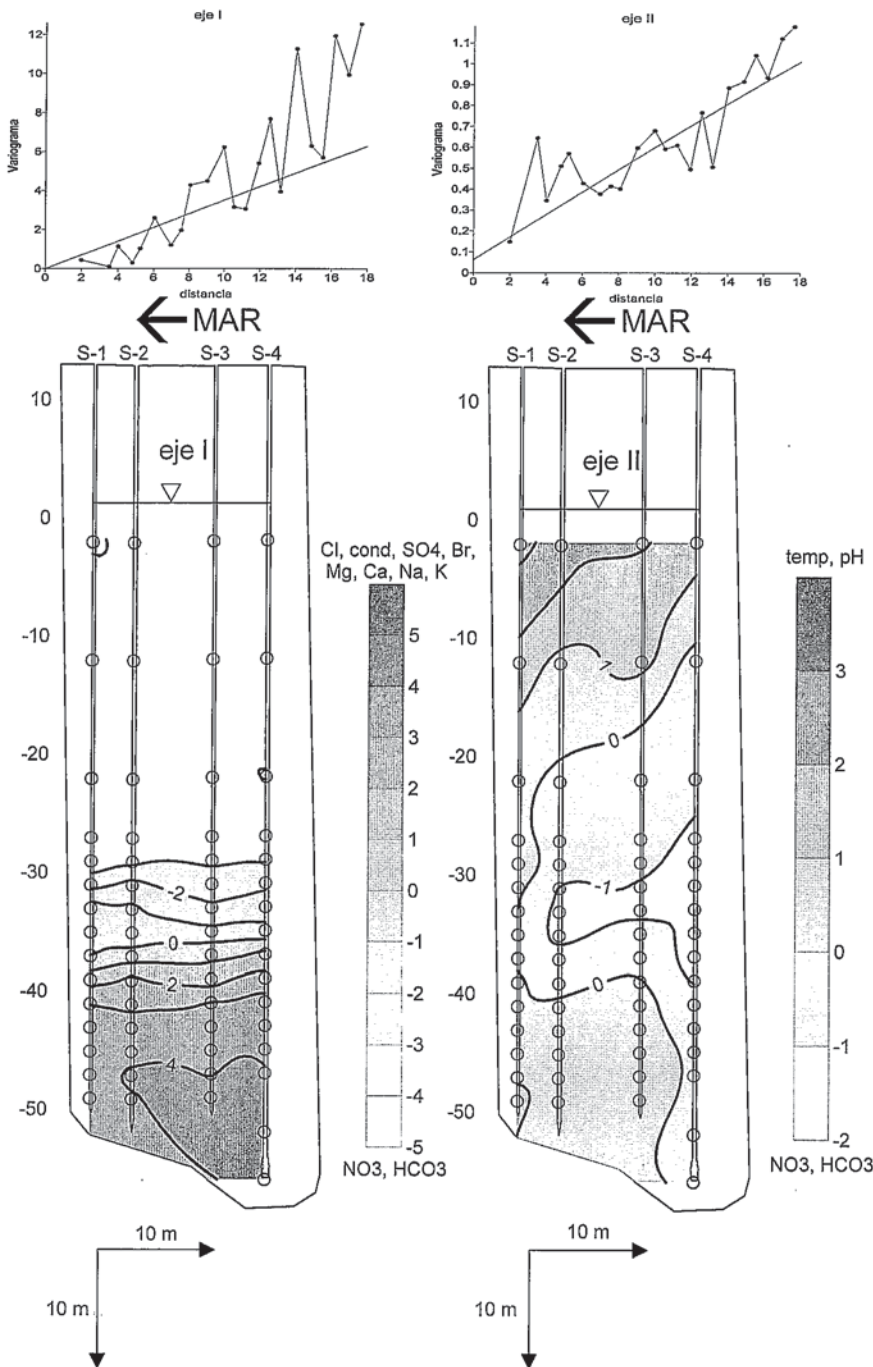


Fig. 3.- Distribución espacial de los factores I y II del ACP en el perfil realizado a partir de los sondeos del G.I. "RHyGA" y variogramas usados para el kriging.

Fig. 3.- Spatial distribution of the PCA factors I and II in the cross-section along the «RHyGA» R.G. boreholes and the variograms used for kriging.

Parámetro	Factor I	Factor II
Efecto pepita	5,183x10-10	0,06233
Alcance	97,26	73,18
Meseta	22,8	2,156
Anisotropía	Radio	2
	Ángulo	177,8
		1,527
		38,17

Tabla 1.- Parámetros usados en la modelización de los variogramas de los factores I y II del ACP.

Table 1.- Model parameters for the PCA factors I and II variograms.

va de amplitud superior al medible mediante la sonda caliper (Pulido-Leboeuf, 2000). En cambio, el factor II muestra sus valores más altos a profundidades intermedias en los sondeos más alejados del mar. Ello se debe a la existencia de una franja de circulación de aguas más frías y con mayor contenido en NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. De esta forma, mediante el uso conjunto del ACP y del kriging ordinario se han detectado las vías preferenciales de propagación de la contaminación por intrusión marina y por aplicación excesiva de fertilizantes a través de este perfil kárstico de un acuífero costero complejo.

**Conclusiones**

La cartografía de los ejes principales del ACP ha permitido detectar de forma rápida y eficaz las zonas de influencia de los diferentes problemas de contaminación observados en cuatro sondeos de investigación del sistema acuífero de Castell de Ferro. En la zona más profunda de los sondeos se detecta la entrada de agua marina a través de los sondeos más alejados del mar. También se detecta la entrada de agua más frías y con síntomas de contaminación agrícola a una cota cercana a los 40 m b.n.m.

**Agradecimientos**

Esta investigación ha sido realizada en el marco de los proyectos AMB 095-0495 y HID99-0597-CO2-O2 de la CICYT y constituye una contribución al IGCP-488 de UNESCO.

**Referencias**

Batista, A.C., Sousa, A.J., Batista, M.J. y Viegas, L. (2001): *Appl. Geochem.*, 6, 921-929.  
 Calvache, M.L. y Pulido-Bosch, A. (1994): *Ground Water* 32 (5), 767-777.  
 Golden Software (1999): *Surfers 7 User's Guide*. Golden Software Inc., 619 pp.  
 Jiménez-Espinosa, R. y Chica-Olmo, M. (1999): *Appl. Geochem.*, 14, 133-145.  
 Pulido-Bosch, A., Pulido-Leboeuf, P., Vallejos, A., Calvache, M.L., Gisbert, J., Andreu, J.M., Sánchez Martos, F. y Molina, L. (1999): *Geogaceta* 25, 167-169.