

**III SIMPOSIO DE HIDROGEOLOGÍA**

**ALGUNOS EJEMPLOS DE APLICACION DEL ANALISIS FACTORIAL  
AL TRATAMIENTO DE DATOS HIDROQUIMICOS**

J. Benavente Herrera\*

C. da Costa Almeida\*\*

A. Castillo Martin\*

M. Oliveira da Silva\*\*

**RESUMEN**

Se presentan tres ejemplos, localizados en la vertiente mediterránea de la provincia de Granada, de aplicación del análisis factorial al tratamiento de matrices de datos hidroquímicos, tanto en lo relativo a identificación de la distribución espacial de las principales características hidroquímicas, como en lo que respecta a evolución de las mismas a lo largo de un determinado periodo de tiempo. En ambos casos, los resultados obtenidos complementan, y confirman, hipótesis anteriores, establecidas por métodos hidroquímicos convencionales, relativas al funcionamiento hidrogeológico de los acuíferos considerados.

**INTRODUCCION**

Frecuentemente, el hidrogeólogo ha de ocuparse del análisis de listas de datos, a veces de dimensiones considerables. Tal aspecto es práctica usual en el caso del tratamiento de datos hidroquímicos, en que se dispone de una serie de resultados analíticos, registrados para cierto número de puntos en un determinado entorno. También puede ocurrir que, para un punto concreto, se disponga de un conjunto de determinaciones a lo largo del tiempo. En ambos casos, el análisis de tales datos por métodos hidroquímicos convencionales, aunque prácticamente indispensable para una correcta interpretación, puede resultar excesivamente prolijo, debido al elevado número de muestras a tratar.

Bajo un punto de vista más amplio, ese conjunto de datos puede ordenarse y tratarse en forma de matriz (Mc INTYRE, 1969). El principal objetivo del análisis factorial estriba en determinar si esa tabla de números puede simplificarse de alguna manera. El establecimiento de las bases teóricas y operativas de dicha metodología escapa a los objetivos de esta nota, aunque en numerosas revistas especializadas y tratados estadísticos, muchos de ellos aplicados al

\* Departamento de Hidrogeología, Universidad de Granada y Sección de Hidrogeología del Centro Coordinado del C.S.I.C., Granada.

\*\* Centro de Geología, Faculdade de Ciencias, Universidad de Lisboa.

tratamiento de datos geológicos, puede encontrarse detallada información al respecto (CATTEL, 1952, 1962; ANDERSON, 1958; MILLER y KAHN, 1962; LAWLEY y MAXWELL, 1963; KENDALL, 1965; NARMAH, 1967; MATALAS y REITHER, 1967; Mc CAMMON, 1969; COOLEY y LOHNES, 1971; KOCH y LINK, 1971; LAFFITE, 1972; OVERALL y KLETT, 1972; DAVIS, 1973; KLOVAN, 1975).

De manera general, el análisis factorial se utiliza para transformar relaciones complejas, entre una serie de variables registradas sobre un conjunto de muestras, por relaciones más sencillas entre un número sensiblemente más reducido de variables, sin que ello implique una pérdida significativa de información. Estas nuevas variables están relacionadas linealmente con las variables originales medidas y explicarían la mayor parte de la varianza muestral (TILL, 1974).

Dentro de las diferentes técnicas de análisis factorial, hemos empleado la denominada "modo R", con objeto de obtener información sobre las relaciones entre las características analizadas (KLOVAN, 1975). Tal asignación resulta fácilmente visualizable al representar, de manera gráfica, dichas características hidroquímicas en función de las nuevas variables ("factores") obtenidas mediante el proceso de cálculo. A su vez, la representación gráfica de cada una de las muestras, frente a los correspondientes factores, contribuye a ilustrar sobre la presencia de grupos de aguas caracterizados por poseer rasgos hidroquímicos similares.

#### EJEMPLO 1: DEPRESION DE PADUL (DISTRIBUCION ESPACIAL)

La depresión de Padul, localizada unos 20 km al Sur de la ciudad de Granada, es una fosa tectónica, limitada septentrional y meridionalmente, por materiales carbonáticos triásicos; en el borde Oeste, bajo un espesor reducido de sedimentos aluviales cuaternarios, afloran materiales limosos miocénicos, con frecuentes intercalaciones evaporíticas. El borde oriental (edad: Neógeno-Cuaternario) es de naturaleza conglomerática, con abundante fracción fina; en la parte Norte de este último sector se han desarrollado, sobre los materiales carbonáticos, importantes conos de deyección cuaternarios.

Esta depresión constituye un área de drenaje de los acuíferos carbonáticos antes mencionados; la baja permeabilidad de los materiales cuaternarios de relleno de la misma (depósitos de turba y arcilla, con algunas intercalaciones de gravas y arenas), supone una barrera hidrogeológica que aparece jalonada por una treintena de manantiales, que totalizan una descarga comprendida entre 250 y 500 l/s. Del mismo orden de magnitud es la descarga subterránea oculta, que se efectúa a través de los horizontes detríticos, de granulometría más favorable, intercalados en la formación turbo-arcillosa. Los sondeos que captan tales niveles son artesianos. En ambos casos (manantiales de borde y sondeos surgentes) las aguas presentan facies bicarbonatada magnésico-cálcica y mineralización reducida. La misma facies caracteriza la escasa recarga procedente del borde oriental, aunque con valores más elevados de mineralización, debido a la menor permeabilidad de la formación conglomerática, que supone un flujo más lento a través de ella. En el borde Oeste, de carácter impermeable en general, existe una ligera infiltración, a través de los aluviones cuaternarios que limitan con la depresión, caracterizada por aguas de salinidad relativamente elevada y facies fundamentalmente clorurada sódica, que corresponde al lavado superficial de los materiales miocénicos.

Más detalles, relativos a las características hidrogeológicas e hidroquímicas de la depresión de Padul, pueden encontrarse en los trabajos de CASAS (1975), CASAS y FERNANDEZ-RUBIO (1975), FERNANDEZ-RUBIO y PULIDO BOSCH (1978), PULIDO BOSCH (1980), CASTILLO (1982) y CASTILLO et al. (en prensa).

Las variables hidroquímicas consideradas en este ejemplo, aparecen representadas en el cuadro I, correspondiente a la matriz de los coeficientes de correlación entre las mismas. Los datos utilizados para el cálculo proceden de CASTILLO (1982), y corresponden a un muestreo efectuado en Julio de 1981, en 27 puntos distribuidos a lo largo de diferentes sectores de la depresión.

	pH	CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>
pH	1								
CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup>	-0,12	1							
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	-0,32	0,50	1						
Cl <sup>-</sup>	-0,33	0,17	0,34	1					
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0,50	0,06	0,08	0,52	1				
Na <sup>+</sup>	-0,16	0,27	0,27	0,91	0,28	1			
K <sup>+</sup>	0,00	-0,09	0,42	0,54	-0,15	0,53	1		
Ca <sup>++</sup>	-0,26	0,42	0,73	0,24	0,24	0,12	0,23	1	
Mg <sup>++</sup>	-0,35	0,78	0,32	0,36	0,24	0,31	0,11	0,48	1

Cuadro I.- Matriz de los coeficientes de correlación para las variables del ejemplo 1.

En primer lugar conviene señalar la poca representatividad que ofrecen los valores de pH, ya que dicha característica ha sido determinada varios días después de la toma de muestras; no es de extrañar, por tanto, que no muestre ninguna correlación significativa con el resto de los atributos considerados. Al contrario de lo que cabría suponer, dado que las aguas que alimentan la depresión proceden, en su gran mayoría, de acuíferos calizo-dolomíticos, los cationes Mg<sup>++</sup> y Ca<sup>++</sup> no aparecen bien correlacionados. Ello puede reflejar la incidencia de fenómenos de intercambio catiónico, en los materiales arcillosos de la depresión y sus bordes, que actúen desigualmente frente a cada uno de dichos iones, según su proporción relativa. La misma salvedad que hicimos para el pH debe reflejarse en las medidas de alcalinidad; así, la correlación entre CO<sub>3</sub>H<sup>-</sup> y Ca<sup>++</sup> es baja, siendo algo más representativa la que muestra respecto al Mg<sup>++</sup>. Estos dos últimos cationes muestran, sin embargo, una correlación relativamente elevada con el SO<sub>4</sub><sup>=</sup>; este último ión está relacionado, en los materiales carbonáticos de borde, con procesos de oxidación de sulfuros que aparecen como mineralizaciones frecuentes en tales materiales. Otro posible origen del SO<sub>4</sub><sup>=</sup> está en los yesos, que pueden existir como intercalaciones en la parte superior del sustrato de los acuíferos carbonáticos triásicos; tales evaporitas son muy abundantes en los materiales limosos miocénicos del borde occidental de la depresión, en donde localmente existen importantes mineralizaciones de celestina. La posibilidad de un intercambio entre Sr<sup>++</sup> y Ca<sup>++</sup> o Mg<sup>++</sup>, a partir de las aguas superficiales que lixivian parte de tales

vacimientos, es un aspecto que requeriría un estudio más detallado. Por último, el  $\text{Cl}^-$  y  $\text{Na}^+$  denotan una correlación altamente significativa, como corresponde a su origen común, ligado a disolución de evaporitas miocénicas, mientras que  $\text{K}^+$  y  $\text{NO}_3^-$  apenas muestran correlación alguna con el resto de las variables consideradas.

En la figura 1 hemos representado las variables estudiadas en función de los tres factores que explican el 78 % de la varianza muestral. El factor I responde fundamentalmente de las variaciones en  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3\text{H}^-$ ,  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$ , iones que caracterizan la descarga de los acuíferos carbonáticos, en oposición a  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$  que, de manera general, tendrían otro origen. La posición del pH resulta difícil de interpretar, por las causas antes aducidas. El factor II parece distinguir, por tanto, entre los iones procedentes de alimentación subterránea mayoritaria, frente a aquellos derivados de infiltración más superficial. El factor III opone  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$ , al resto de los iones. Ello supone una definición de los iones que caracterizan el quimismo de las aguas del borde occidental, respecto a los otros límites de la depresión (el  $\text{NO}_3^-$  está profusamente distribuido a lo largo de numerosos puntos de la misma, debido a contaminación agrícola y urbana; CASTILLO et al., en prensa). El factor I opone, de manera neta, a  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{K}^+$ . Ambos deben la mayor parte de su origen al laboreo agrícola, con la diferencia de la relativa movilidad, del primero, dentro del terreno y la tendencia, del segundo, a ser fijado por la fracción arcillosa del mismo. Conviene reseñar que la selección de un número más elevado de factores no ha ofrecido excesiva información hidroquímica adicional. Así, considerados 5 factores (95 % de la varianza total), tanto el IV como el V, responden a características puntuales, relativas a la concentración de un determinado ión ( $\text{K}^+$  y  $\text{NO}_3^-$ , respectivamente).

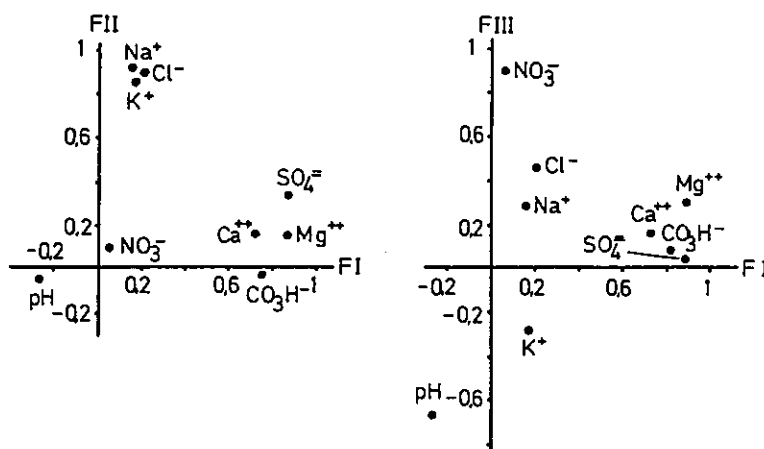


Figura 1.- Representación, sobre los ejes de los factores I, II y III, de las variables utilizadas en el ejemplo 1.

Como se desprende de la figura 2, en que hemos representado las 27 muestras utilizadas sobre el sistema coordinado de los factores I y II, el primero de tales factores permite distinguir, entre las aguas procedentes del acuífero carbonático, las caracterizadas por un flujo "rápido" (manantiales de borde y sondeos artesianos del centro de la depresión), de aquellas que transitan, en parte, a través de sedimentos de menor permeabilidad (borde oriental). El factor II contribuye a distinguir entre los anteriores grupos de aguas y aquellas que proceden del borde occidental.

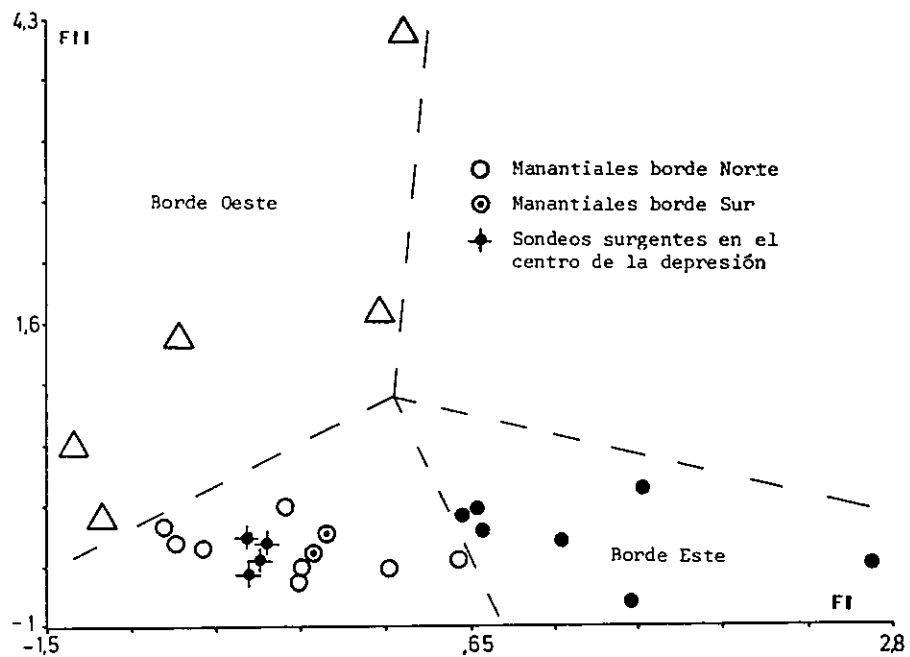


Figura 2.- Representación, sobre los ejes de los factores I y II, de las muestras consideradas en el ejemplo 1.

#### EJEMPLO 2: VEGA DE ALMURECAR (DISTRIBUCION ESPACIAL)

El acuífero de la vega de Almuñécar, en el litoral de la provincia de Granada, corresponde a los depósitos aluviales de los ríos Verde y Seco. Su alimentación mayoritaria procede de la infiltración, directa o por retorno de riegos, a partir del primero de tales cursos de agua. Las aguas del acuífero, en el sector del río Verde, presentan facies bicarbonatada magnésico-cálcica y mineralización reducida (comprendida, de manera general, entre 300 y 450 mg/l).

En el sector del río Seco, las aguas subterráneas presentan valores más elevados de mineralización (generalmente entre 400 y 550 mg/l) y mayor propor-

ción relativa en  $\text{Cl}^-$  y  $\text{Na}^+$ , debido a la menor recarga y a la mayor influencia de materiales metamórficos de borde (DAVIS y DE WREST, 1971); no obstante, en el área de cabecera, se advierte la incidencia hidroquímica de procesos de mezcla con aguas subterráneas captadas en la cuenca del río Verde. Este último aspecto es mucho más patente en su extremo litoral, debido a la infiltración de excedentes de regadíos, efectuados a partir de acequias que derivan parte del caudal del río Verde. Existen algunos puntos con valores de mineralización (superiores, por lo general, a 700 mg/l), relativamente anómalos respecto al resto del acuífero. Ello se interpreta como influencia, marcada y puntual, de los materiales metamórficos de borde, según se desprende de su localización y/o de las características de las correspondientes columnas litológicas.

Más información, relativa a aspectos hidrogeológicos e hidroquímicos del área, puede encontrarse en los trabajos de ESQUITINO y FERNANDEZ-RUBIO (1975), BENAVENTE y CLAVACHE (1981), BENAVENTE et al. (1981), BENAVENTE (1982) y BENAVENTE y FERNANDEZ-RUBIO (en prensa).

En este ejemplo hemos utilizado datos hidroquímicos correspondientes a 47 puntos (13 en la cuenca del río Seco y 34 en la del río Verde), procedentes del IGME, obtenidos a partir de un muestreo efectuado en Octubre de 1974 (ENADIMSA, 1977).

En el cuadro II presentamos la matriz de los coeficientes de correlación para las variables consideradas, ocho en total. Para los valores del pH es válida la misma salvedad que hicimos en el ejemplo anterior. Para el resto de los iones las correlaciones más elevadas corresponden, como era lógico esperar, a aquellos que presentan un origen hidroquímico similar. Así,  $\text{CO}_3\text{H}^-$  con  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Cl}^-$  con  $\text{Na}^+$ . El  $\text{SO}_4^{=}$  registra un coeficiente significativo, tanto con  $\text{Mg}^{++}$  como con  $\text{K}^+$ ; ello responde a su doble origen, ligado a oxidación de sulfuros en los materiales dolomíticos de cabecera, por una parte, y derivado del laboreo agrícola, por otra.

	pH	$\text{Ca}^{++}$	$\text{Mg}^{++}$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{=}$	$\text{CO}_3\text{H}^-$
pH	1							
$\text{Ca}^{++}$	-0,44	1						
$\text{Mg}^{++}$	-0,29	0,56	1					
$\text{Na}^+$	-0,35	0,46	0,26	1				
$\text{K}^+$	-0,26	0,56	0,65	0,61	1			
$\text{Cl}^-$	-0,32	0,43	0,28	0,97	0,59	1		
$\text{SO}_4^{=}$	-0,47	0,69	0,78	0,64	0,75	0,58	1	
$\text{CO}_3\text{H}^-$	-0,43	0,32	0,70	0,44	0,59	0,43	0,72	1

Cuadro II.- Matriz de los coeficientes de correlación para las variables del ejemplo 2.

De acuerdo con los cálculos, tres factores explican el 87 % de la varianza muestral. De éstos, no consideraremos al factor III por estar fuertemente condicionado por los valores del pH. En la figura 3 presentamos la distribución de las variables en el plano coordenado de los factores I y II. Las variables con más peso sobre el factor I ( $\text{SO}_4^{=}$  y  $\text{Mg}^{++}$ ) son las que presentan menor variabilidad a lo largo del muestreo, mientras que en las de menor peso ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{Ca}^{++}$ ) dicha característica es mucho más acusada. A su vez, muestras que presenten contenidos relativamente elevados, en la mayoría de los iones analizados, tendrán más peso sobre el factor I, que otras en las que sólo predominan dos o tres de ellos. Conviene retener, por tanto, al factor I como índice de variabilidad en la concentración iónica y, de acuerdo con lo último expuesto, también de la mineralización total. El factor II distingue entre iones cuya concentración se debe, fundamentalmente, a disolución de los acuíferos carbonáticos que originan el río Verde ( $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{CO}_3\text{H}^-$ ), de los que proceden del ataque superficial a materiales metamórficos y/o cuya concentración responde, de manera general, a procesos de reciclaje superpuestos al flujo subterráneo ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$  y, en menor proporción,  $\text{SO}_4^{=}$ ).

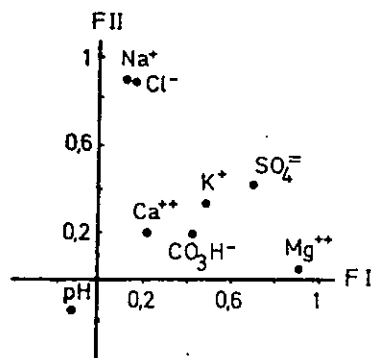


Figura 3.- Representación, sobre los ejes de los factores I y II, de las variables utilizadas en el ejemplo 2.

En la figura 4, en que hemos representado las 47 muestras originales en función de los factores I y II, el primero de éstos permite diferenciar claramente entre los puntos (cinco en total), que antes calificamos como anómalos en función de sus características hidroquímicas (facies y, fundamentalmente, mineralización), y el resto de los puntos del acuífero, caracterizados por la influencia, más o menos marcada, de la infiltración procedente del río Verde. De este último conjunto de muestras, el factor II distingue entre las correspondientes a la cuenca del río Verde y las del río Seco, y, en éstas, permite diferenciar a su vez las que se localizan en los sectores de cabecera y costero, de acuerdo con la influencia hidroquímica relativa de la recarga mayoritaria, según expusimos anteriormente.

### EJEMPLO 3: VEGA DE MOTRIL-SALOBREÑA (EVOLUCION EN EL TIEMPO)

En los ejemplos anteriores, hemos utilizado el análisis factorial como metodología de aproximación al estudio de la distribución espacial de las caracte-

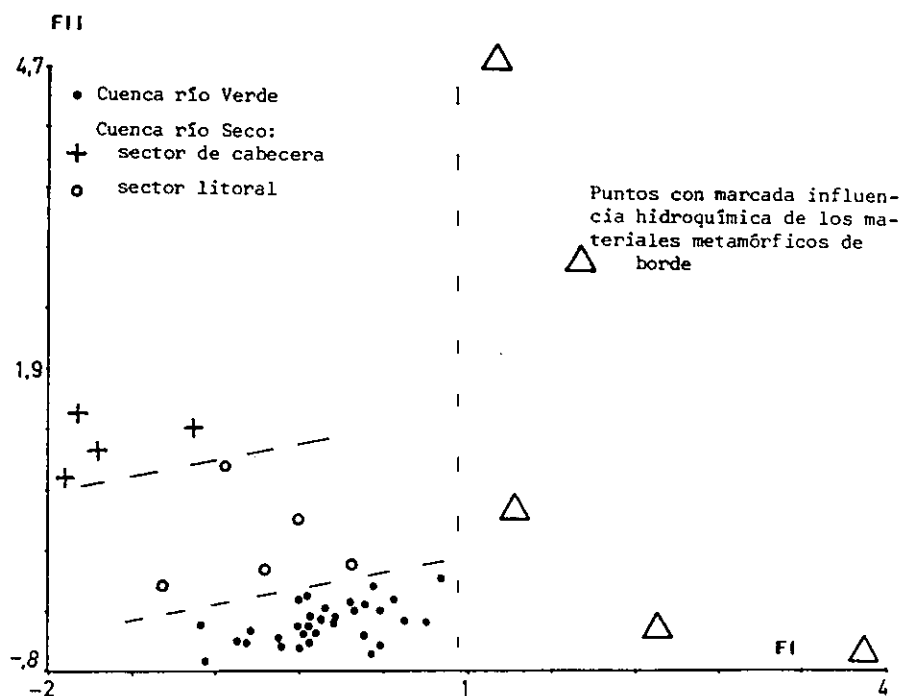


Figura 4.- Representación, sobre los ejes de los factores I y II, de las muestras consideradas en el ejemplo 2.

terísticas hidroquímicas en un determinado entorno. A manera de contraste, en este ejemplo consideraremos la aplicación de dicho método al análisis de las variaciones hidroquímicas que, a lo largo del tiempo, se registran en un determinado punto. Los datos hidroquímicos, obtenidos con periodicidad aproximadamente mensual, desde Marzo de 1980 a Mayo de 1981, proceden de CALVACHE (1981) y corresponden a un pozo, de funcionamiento estacional, situado en las inmediaciones del río Guadalfeo, en su entrada al acuífero pluvio-deltaico de la vega de Motril-Salobreña. También se han incluido, en el análisis, las variaciones en la profundidad del nivel piezométrico registradas en dicho pozo.

Desde un punto de vista hidroquímico, la situación de niveles altos (Febrero a Junio) se caracteriza, de manera general, por mayores concentraciones relativas en iones procedentes del lavado de la franja no saturada, sometida a intensa irrigación ( $\text{Cl}^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$ , fundamentalmente), mientras que, durante el estiaje (Agosto a Octubre), se registra un enriquecimiento en  $\text{CO}_3\text{H}^-$ , aunque existen notables variaciones puntuales del quimismo, superpuestas a dicha tónica general, de acuerdo con las características que, a tal respecto, muestra el río Guadalfeo, principal fuente de recarga al acuífero.



Información complementaria, relativa a aspectos hidrodinámicos e hidroquímicos del acuífero de Motril-Salobreña, puede encontrarse en los trabajos de CASTILLO (1975), CASTILLO y FERNANDEZ-RUBIO (1976, 1970), PULIDO BOSCH et al. (1980), BENAVENTE (1981, 1982), BENAVENTE y CALVACHE (1981) y BENAVENTE et al. (1981, 1982).

En el cuadro III presentamos la matriz de los coeficientes de correlación para las variables consideradas. Como parece lógico suponen, debido a su origen ligado a disolución de materiales carbonáticos, que el  $\text{CO}_3\text{H}^-$  muestre buena correlación con el  $\text{Ca}^{++}$ . También existe una cierta relación entre  $\text{Cl}^-$  y  $\text{SO}_4^{=}$  con  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ . Aunque no demasiado elevada, es bastante ilustrativa la correlación inversa entre concentración de  $\text{Cl}^-$  y profundidad del nivel piezométrico, que corrobora lo anteriormente expuesto relativo al origen de dicho anión.

	PNP	$\text{CO}_3\text{H}^-$	$\text{SO}_4^{=}$	$\text{Cl}^-$	$\text{Ca}^{++}$	$\text{Mg}^{++}$	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$
PNP	1						
$\text{CO}_3\text{H}^-$	0,38	1					
$\text{SO}_4^{=}$	-0,25	-0,10	1				
$\text{Cl}^-$	-0,58	-0,35	0,27	1			
$\text{Ca}^{++}$	0,37	0,90	0,13	-0,22	1		
$\text{Mg}^{++}$	0,23	0,36	0,11	0,21	0,26	1	
$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	-0,17	0,13	0,42	0,48	0,40	0,18	1

Cuadro III.- Matriz de los coeficientes de correlación para las variables del ejemplo 3. (PNP: profundidad del nivel piezométrico).

Cinco factores responden del 97 % de la varianza, para las catorce muestras analizadas. De ellos, sólo los dos primeros parecen ofrecer información hidroquímica suficientemente contrastable con el parámetro hidrodinámico considerado para el estudio de la evolución, y son los que hemos seleccionado para representar la distribución de las variables (figura 5). De manera general, e independientemente de la profundidad del nivel piezométrico, el factor I opone iones procedentes de concentración y lixiviado en la franja no saturada ( $\text{Cl}^-$  y  $\text{SO}_4^{=}$ , en buena parte derivados del laboreo agrícola), frente a los que tienen un origen más directamente relacionado con el flujo subterráneo en la zona saturada ( $\text{CO}_3\text{H}^-$  y  $\text{Ca}^{++}$ ). El factor II ilustra sobre las principales modificaciones hidroquímicas que caracterizan a situaciones hidroquímicas extremas ( $\text{Cl}^-$ , frente a profundidad del nivel piezométrico). Es, por tanto, un indicador de la evolución hidroquímica, a diferencia del anterior que respondía, más bien, a una perspectiva genética.

En la figura 6 hemos representado las muestras en función de los dos primeros factores. La situación de niveles altos (recarga) aparece claramente diferenciada de la de estiaje, a lo largo del eje que representa el factor II; también existe un ligero desplazamiento, entre ambas situaciones, según el factor I, que señala una menor incidencia hidroquímica de infiltración superficial.

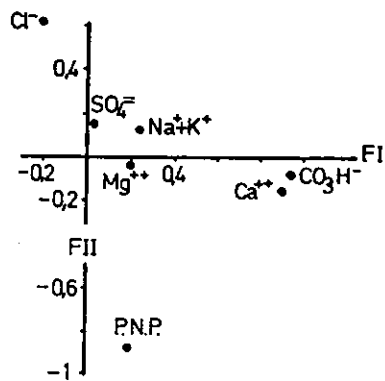


Figura 5.- Representación, sobre los ejes de los factores I y II, de las variables utilizadas en el ejemplo 3.

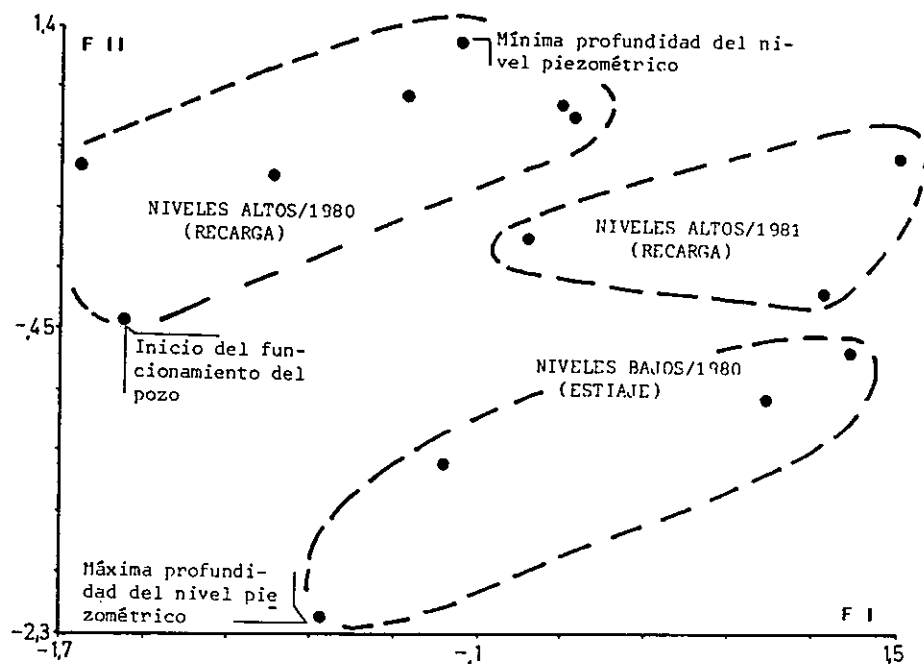


Figura 6.- Representación, sobre los ejes de los factores I y II, de las muestras consideradas en el ejemplo 3.

En la figura 7 hemos sintetizado, mediante una serie de vectores, la evolución hidroquímica, registrada en el punto considerado, en función de los factores I y II. El paso de A (Marzo) a B (Mayo), prácticamente sin variación significativa en la profundidad del nivel piezométrico, traduce un incremento en la proporción de  $\text{CO}_3\text{H}^-$  y  $\text{Ca}^{++}$ . Tal característica también se acusa en las aguas de recarga, debido a la influencia del deshielo en el río Guadalfeo, junto con el efecto de dilución que provocan las lluvias de primavera (BENAVENTE, 1982). La puesta en funcionamiento del pozo (punto C, Julio), además de una disminución de nivel, trae como consecuencia el aporte de aguas relativamente concentradas en  $\text{Cl}^-$  y  $\text{SO}_4^{--}$ . La prolongación de los bombeos hasta Septiembre (punto D) hace que se alcance la máxima profundidad del nivel. El vector D-E refleja el efecto de las precipitaciones de otoño que introducen aguas de relativa agresividad frente a los carbonatos y suponen una elevación del nivel piezométrico. Si el período muestreado hubiese sido de características hidrometeorológicas normales, el paso siguiente debería de corresponder a un estadio cercano al punto A. Sin embargo, la pertinaz sequía, que se prolongó durante todo el año 1981, supuso una drástica reducción en la recarga al acuífero. Ello implica, por una parte, la no recuperación de los niveles característicos de la época invernal, y, por otra, una menor influencia de infiltración de regadíos y lixiviado superficial, como se pone de manifiesto por la situación del punto F. El significado del vector F-G es, a grandes rasgos, similar al A-B, lo que parece denotar una continuación del ciclo, ligeramente desplazado hacia valores crecientes en el factor I, y decrecientes en el II, cuya significación hidroquímica e hidrodinámica ha sido suficientemente comentada con anterioridad.

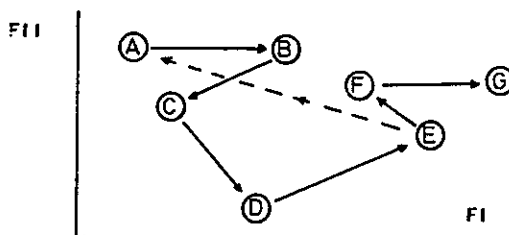


Figura 7.- Esquema ilustrativo de la evolución en el tiempo, de las muestras correspondientes al ejemplo 3, sobre los ejes de los factores I y II.

#### CONCLUSIONES

El análisis factorial, de matrices de datos hidroquímicos, se revela como una metodología de fácil interpretación y representa un complemento de utilidad para el estudio de la distribución espacial del quimismo de las aguas subterráneas, así como de su evolución en el tiempo. También permite establecer relaciones genéticas entre variables hidroquímicas, de indudable interés en la clasificación de diversos tipos de aguas, afectados en diferente proporción por determinados procesos modificadores, dentro de un determinado entorno.

Dicha metodología nos ha permitido diferenciar entre los diferentes grupos de aguas que afluyen a la depresión tectónica intramontañosa de Padul (Granada); también ha contribuido a ilustrar las relaciones hidroquímicas, impuestas por diversas situaciones relacionadas con la recarga mayoritaria, a la vez que identificar puntos de quimismo relativamente anómalo, en el acuífero litoral de Almuñécar (Granada); su utilización ha permitido, además, efectuar una aproximación a los diferentes factores que condicionan la evolución hidroquímica en un punto situado en el área de recarga (inmediaciones del río Guadalfeo) en el sector de cabecera del acuífero pluvio-deltáico de Motril-Salobreña (Granada).

#### BIBLIOGRAFIA

- ANDERSON, T.W. (1958). An introduction to multivariate statistical analysis. Wiley, New York.
- BAKALOWICZ, M. (1979). Contribution de la géochimie des eaux a la connaissance de l'aquifere karstique et de la karstification. These d'Etat, Univ. P. et M. Curie, Paris. 269 p. CNRS (Moulis).
- BENAVENTE, J. (1981). Nuevos datos hidrodinámicos en el acuífero de Motril-Salobreña (Granada). Simp. Agua Andalucía, 11: 579-587. Granada.
- BENAVENTE, J. (1982). Contribución al conocimiento hidrogeológico de los acuíferos costeros de la provincia de Granada. Tesis Doctoral, Univ. Granada (inédita). 571 p. Granada.
- BENAVENTE, J. y CALVACHE, A. (1981). Aspectos hidrogeoquímicos de algunos acuíferos detríticos costeros en la provincia de Granada. Simp. Agua en Andalucía, 11: 731-753. Granada.
- BENAVENTE, J.; CALVACHE, A.; FERNANDEZ-RUBIO, R. y PULIDO, A. (1981). Calidad de las aguas subterráneas en los acuíferos detríticos costeros de la provincia de Granada. Jorn. Anal. Evol. Contamin. Aguas Subterráneas España: 553-564. Barcelona.
- BENAVENTE, J.; CALVACHE, A. y FERNANDEZ-GUTIERREZ, R. (1982). Evolución hidrogeoquímica en un acuífero detrítico costero (delta del río Guadalfeo, Granada). Bol. Geol. Min., XCIII-11: 157-164. Madrid.
- BENAVENTE, J. y FERNANDEZ-RUBIO, R. (en prensa). Hidrogeología del acuífero de la vega de Almuñécar (Granada). Bol. Geol. Min. Madrid.
- CALVACHE, A. (1981). Estudio hidroquímico del acuífero de Motril-Salobreña (Granada). Tesis de Licenciatura (inédita), Univ. Granada. 125 p.
- CASAS, D. (1975). Estudio hidrogeológico del Valle de Lecrín. Tesis de Licenciatura, Univ. Granada (inédita). 165 p. Granada.
- CASAS, D. y FERNANDEZ-RUBIO, R. (1975). Consideraciones hidrogeológicas sobre el Alto Valle de Lecrín (Granada). V Jorn. Min. Met. T. III, pp 163-192. Bilbao.
- CASTILLO, A. (1982). Estudio hidroquímico de la depresión de Padul (Granada). Tesis de Licenciatura Univ. Granada (inédita). 227 p. Granada.
- CASTILLO, A.; BENAVENTE, J.; FERNANDEZ-RUBIO, R. y PULIDO, A. (en prensa). Evolución y ámbito hidrogeológico de la Laguna de Padul (Granada). Jorn. Andal. zonas húmedas. Sevilla.
- CASTILLO, A.; CANADA, P. y SANCHEZ-FRESNEDA, V. (en prensa). Un ejemplo de contaminación urbana y agrícola en el acuífero de la vega alta de Padul (Granada). III Simp. Nac. Hidrog. Madrid.
- CASTILLO, E. (1975). Hidrogeología de la vega de Motril-Salobreña y sus bordes. Tesis de Licenciatura, Univ. Granada (inédita). 184 p. Granada.

- CASTILLO, E. y FERNANDEZ-RUBIO, R. (1971). Hidroquímica de los acuíferos del río Guadalfeo y sectores adyacentes (Motril, Granada). I Simp. Nac. Hidrogeología: 951-964. Valencia.
- CASTILLO, E. y FERNANDEZ-RUBIO, R. (1978). Hidrogeología del acuífero de la vega de Motril-Salobreña. Bol. Inst. Geol. Min. T. LXXXIX: 39-48. Madrid.
- CATTEL, R.B. (1952). Factor Analysis. Harper and Bros., New York.
- CATTEL, R.B. (1965). Factor Analysis: An introduction to essentials. Biometrics, 21: 190-215 y 403-435.
- COOLEY, W. y LOHNES, P.R. (1971). Multivariate data analysis. Wiley, New York.
- DAVIS, J. C. (1973). Statistics and Data Analysis in Geology Wiley, New York.
- DAVIS, S.N. y DE WIEST, R. (1971). Hidrogeología. Ed. Ariel. 563 p. Barcelona.
- ENADIMSA (1977). Estudio hidrogeológico de la Cuenca Sur. Acuíferos costeros. Informe técnico (inédito). IGME. Madrid.
- ESQUITINO, F. y FERNANDEZ-RUBIO, R. (1975). Contribución al conocimiento hidrogeológico de los ríos Verde y Seco (Almuñécar, Granada). V Jorn. Min. Met., III: 145-161. Bilbao.
- FERNANDEZ-RUBIO, R. y PULIDO-BOSCH, A. (1978). Problemas hidrogeológicos que afectan a la explotación de la Turbera de Padul (Granada, España). Estudio preliminar. SIAMOS, 1: 125-132. Granada.
- HARMAN, H.H. (1967). Modern Factor Analysis. University of Chicago Press. Chicago.
- KENDALL, M.G. (1965). A course in multivariate statistics. Chas. Griffin and Co., London.
- KLOVAN, J.E. (1975). R and Q mode Factor Analysis. in Concepts in Geostatistics (Mc Cammon, R.B., ed.). Springer, New-York.
- KOCH, G.S. y LINK, R.F. (1971). Statistical Analysis of Geological Data. Wiley, New York.
- LAFFITE, P. (1972). Traité d'informatique géologique. Masson et Cie. Paris.
- LAWLEY, D.N. y MAXWELL, A.E. (1963). Factor Analysis as a statistical method. Butterworths and Co. London.
- Mc CAMMON, R.B. (1969). Multivariate methods in Geology. in Models of geological processes (Fenner, P. ed.). An. Geol. Inst.; Washington, D.C.
- Mc INTYRE, D.B. (1969). Introduction to the study of data matrices. in Models of geological processes (Fenner, P., ed.). Amer. Geol. Inst.; Washington, D.C.
- MATALAS, N.C. y REITHER, B.J. (1967). Some comments on the use of factor analysis. Wat. Resour. Res. 3: 213-223.
- MILLER, R.L. y KAHN, J.S. (1962). Statistical analysis in the geological sciences. Wiley, New York.
- OVERALL, J.E. y KLETT, C.J. (1972). Applied Multivariate Analysis. Mc Graw-Hill, New York.
- PULIDO BOSCH, A. (1980). Datos hidrogeológicos sobre el borde Occidental de Sierra Nevada. Serie Univ., 123; Fund. J. March. 51 p. Madrid.
- PULIDO-BOSCH, A.; GARCIA GOMEZ, J. y BENAVENTE, J. (1980). Las fuentes potenciales de contaminación en los acuíferos de Salobreña (Granada). Tecniterrae, 33: 31-38. Madrid.
- TILL, R. (1974). Statistical methods for the earth scientist. Mc Millan Press, London.