

**APLICACION DEL ANALISIS FACTORIAL AL CONOCIMIENTO DEL
ORIGEN Y EVOLUCION DE LA SALINIZACION EN EL SISTEMA ACUIFERO
25 (PROVINCIA DE HUELVA)**

Resumen

1. Introducción

2. Situación y características del Sistema Acuífero

3. Puntos de control y datos empleados

4. Tratamiento de datos e interpretación de resultados

Conclusiones

Agradecimientos

Bibliografía

TIAC'88. Tecnología de la Intrusión en Acuíferos Costeros
Almuñécar (Granada, España). 1988

APLICACION DEL ANALISIS FACTORIAL AL CONOCIMIENTO DEL ORIGEN Y EVOLUCION DE LA SALINIZACION EN EL SISTEMA ACUIFERO 25 (PROVINCIA DE HUELVA).

GONZALEZ MARTÍNEZ, Arsenio. Dpto. de Geología. Escuela Universitaria Politécnica de La Rábida. Palos de la Frontera. Huelva.

MARTIN SOSA, Diego. Instituto Geológico y Minero de España. Oficina Regional de Proyectos. Sevilla.

ANTIGUEDAD AUZMENDI, Iñaki. Dpto. Estratigrafía, Geodinámica y Paleontología. Univ. del País Vasco. 48080 BILBAO.

SANCHO VILLASANTE, Víctoriano. Dpto. Estratigrafía, Geodinámica y Paleontología. Univ. del País Vasco. 48080 BILBAO.

RESUMEN

El Análisis en Componentes Principales (ACP) es un método de análisis factorial de gran utilidad en estudios hidroquímicos. En este trabajo exponemos los resultados de la aplicación del método a análisis químicos de muestras de agua del Sistema Acuífero 25, con la finalidad de tratar de dilucidar el origen del contenido salino de estas aguas y su evolución temporal y espacial. De entre los resultados obtenidos, destaca la clara tendencia al aumento progresivo de la mineralización (Cl y Na, principalmente) en el tiempo en los pozos ubicados en el sector centro-occidental de la franja litoral del Sistema, lo que se interpreta como intrusión marina aunque aún no muy desarrollada.

1. INTRODUCCION

Es frecuente en Hidroquímica disponer de gran cantidad de datos de análisis, lo que dificulta su tratamiento y posterior deducción de conclusiones. El objetivo del método de Análisis en Componentes Principales (ACP) es la simplificación, pero conservando, en la medida de lo posible, la información existente en los datos iniciales.

El conjunto inicial de datos se puede ordenar y tratar en forma de matriz, en la que figuran los casos u observaciones (muestras analizadas) y las variables (elementos determinados). La finalidad del ACP es la de transformar relaciones complejas entre una serie de variables interdependientes (las registradas sobre el conjunto muestral) en relaciones más sencillas entre un número sensiblemente más reducido de variables, éstas independientes, sin que esa transformación suponga pérdida significativa de información. Las nuevas variables (denominadas factores) están relacionadas con las variables originales y explican la mayor parte de la varianza de éstas (CUADRAS, 1981).

Para la correcta interpretación de los datos iniciales la representación de las muestras analizadas tendría que realizarse en un espacio n-dimensional (n es el número de variables consideradas) y el resultado sería una nube de puntos de difícil visualización. La condensación de la información en un número reducido de factores (los factores corresponden

a las direcciones de alargamiento de la nube) permite la representación gráfica simplificada, pues expresa la proyección de la nube de puntos multidimensional en el plano bidimensional engendrado por dos ejes factoriales, y se presta a una mejor interpretación de los datos originales.

En nuestro caso, el método permite agrupar y clasificar aguas que presentan caracteres químicos comparables, deducir conclusiones sobre la relación entre su facies hidroquímica y los materiales acuíferos, conocer la tendencia de la evolución temporal y espacial de su contenido salino, y, finalmente, poner de manifiesto la presencia de intrusión marina (aún incipiente) en determinados sectores del sistema acuífero.

2. SITUACION Y CARACTERISTICAS DEL SISTEMA ACUIFERO

El sistema acuífero numero 25 ocupa un amplio sector de la región onubense (figura 1), comprendido entre Ayamonte y Huelva (en dirección E-W), y entre San Bartolomé de la Torre y el Océano Atlántico (en dirección N-S).

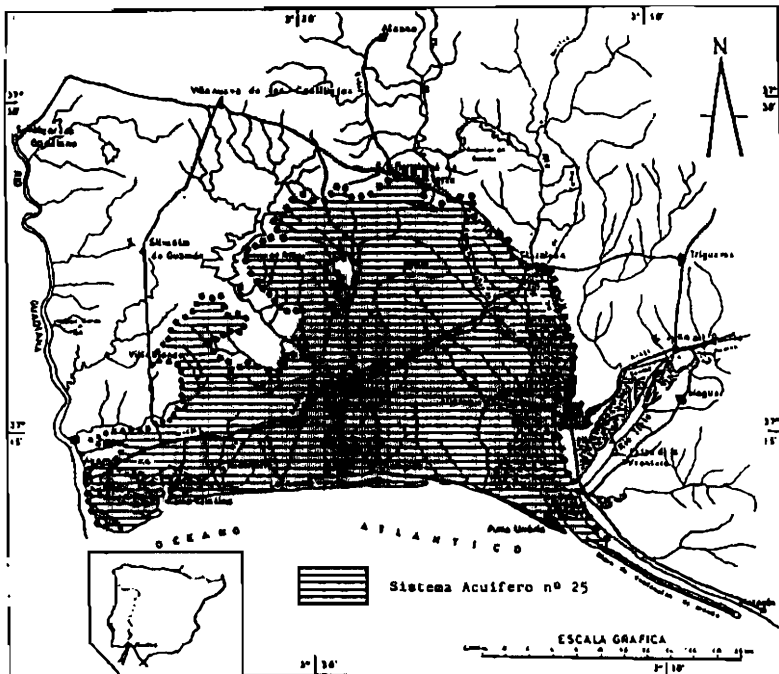


Figura 1. Situación geográfica del Sistema Acuífero 25.

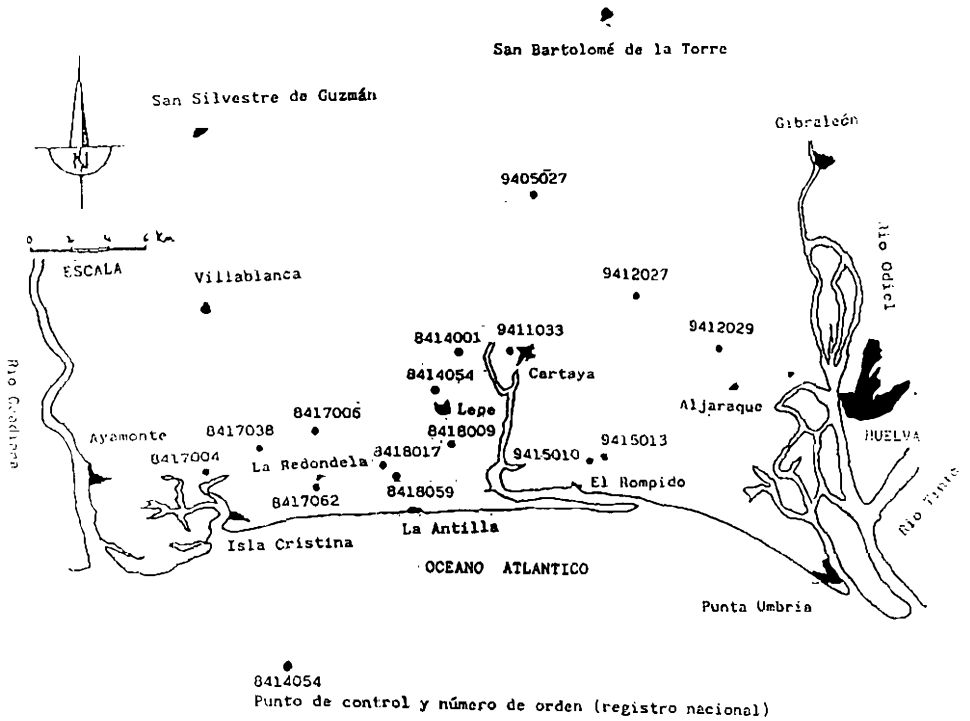


Figura 2. Situación de puntos de control hidroquímico en el Sistema Acuífero 25.

Nº Registro	Nº Análisis	Nº Registro	Nº Análisis
8414001	11	8418059	4
8414054	11	9405027	10
8417004	10	9411033	10
8417006	11	9412027	11
8417038	11	9412029	9
8417062	4	9415010	12
8418009	11	9415013	3
8418017	7		

Cuadro 1.- Puntos de control del Sistema Acuífero nº 25 y número de análisis químicos realizados (período 1979-1986).

Geológicamente está limitado por un sustrato impermeable, constituido en la parte norte por pizarras y grauvacas paleozoicas (Viseense) y hacia el sur por arcillas y margas azules terciarias (Andaluciense-Tabiense); en ciertos puntos (sectores próximos a Ayamonte y Cartaya) el sustrato corresponde a arcillas y margas triásicas (Keuper?) con yesos y sales.

El sistema abarca 676 Km² de extensión, y de ellos casi el 20% corresponden a marismas que se ubican en la desembocadura de los ríos Tinto, Odiel, Piedras y Guadiana. La longitud de costa desarrollada sobre este sistema es de 43 Km, y comprende una franja litoral entre la desembocadura del río Guadiana y la ría de Huelva.

La estructura y funcionamiento hidrogeológico del sistema (GONZALEZ, 1986) corresponde a un acuífero multicapa en régimen semiconfinado complejo, caracterizado por la presencia de dos formaciones hidrogeológicas en las que alternan materiales permeables (gravas y/o arenas) y semipermeables (margas arenosas y/o arenas limo-arcillosas) con edades que abarcan desde el Andaluciense al Holoceno.

3. PUNTOS DE CONTROL Y DATOS EMPLEADOS

Para emplear esta técnica de Análisis Factorial (ACP) se han utilizado datos de 135 análisis químicos, correspondientes a una red de 15 puntos de control sistemático temporal del quimismo de las aguas del sistema acuífero 25 (figura 2, cuadro 1). Solamente se han considerado los muestreos correspondientes a 12 campañas, realizadas entre 1979 y 1986 (cuadro 2).

Los muestreos han sido realizados por Técnicos del I.G.M.E. (Oficina Regional de Proyectos, Sevilla) y de C.G.S. (Sevilla, campañas del año 1983).

Nº de campaña	Fecha	Nº de muestras
1	3-1-1979	8
2	18-2-1981	14
3	26-1-1982	13
4	20-5-1982	13
5	20-10-1982	13
6	8-6-1983	12
7	6-12-1983	12
8	11-5-1984	12
9	28-12-1984	11
10	6-3-1986	12
11	8-7-1986	13
12	15-12-1986	2

Cuadro 2.- Campañas de muestreo hidroquímico en el sistema acuífero nº 25.

El método de recogida de las muestras es generalmente por bombeo, si bien se emplea un recipiente lastrado en algunos puntos que carecen de bomba; en este último caso, las aguas analizadas corresponden a las más superficiales y, por tanto, menos contaminadas, pues lo más probable es que exista una estratificación del agua en el interior de estos pozos al ir aumentando la salinidad en profundidad, aspecto cuya investigación está en fase de abordarse próximamente, pues se está a la espera de conseguir las sondas apropiadas.

Los análisis químicos han sido realizados por varios laboratorios:

- de 1979 a 1982, por el Centro de Análisis de Aguas, S.A. (Murcia).
- en 1983, por el Laboratorio Regional del IRYDA (Sevilla).
- desde 1984, por el Laboratorio de Análisis del I.G.M.E. (Madrid).

Hay que indicar que no se ha medido "in situ" ningún parámetro y que el tiempo de almacenamiento de las muestras es, en general, superior a una semana (en algunos casos anómalos hasta 2 y 3 meses), lo que unido a que algunos pozos tienen aguas estancadas y están equipados con tubería metálica, hace suponer la existencia de modificaciones en aquellas propiedades químicas del agua ligadas a la presencia de constituyentes inestables (temperatura, conductividad, bicarbonatos y pH), para los que se aconseja su medición en campo (WOOD, 1976; ROBERTSON, 1986). La consideración de estos factores podrá ayudarnos en la interpretación de los resultados del ACP.

4. TRATAMIENTO DE DATOS E INTERPRETACION DE RESULTADOS

El tratamiento estadístico de los datos se ha realizado con microordenador en el Area de Geodinámica de la Universidad del País Vasco.

	Cl	SO ₄	HCO ₃	Na	K	Ca	Mg	Cond.	pH
Cl	1	0.87	0.09	0.96	0.73	0.92	0.93	0.97	0.07
SO ₄	0.67	1	0.33	0.92	0.65	0.88	0.84	0.90	0.09
HCO ₃	-	-	1	0.16	0.00	0.33	0.22	0.19	0.20
Na	0.92	0.75	-	1	0.70	0.90	0.85	0.96	0.09
K	-	-	-	-	1	0.58	0.73	0.67	0.03
Ca	-	-	-	-	-	1	0.86	0.93	0.11
Mg	0.78	0.78	-	0.67	-	-	1	0.91	0.07
Cond.	0.89	0.78	-	0.89	-	-	0.79	1	0.10
pH	-	-	-	-	-	-	-	-	1

Cuadro 3.- Matriz de correlación entre variables para el 1^{er} ACP (arriba) y para el 4^o ACP (abajo).

Inicialmente se ha realizado el análisis factorial considerando 135 casos y 9 variables (Cl, SO₄, HCO₃, Na, K, Ca, Mg, conductividad y pH), por corresponder a aquellas determinaciones efectuadas en todas las muestras. Para ello, previamente se ha establecido la matriz de correlación entre las variables (Cuadro 3).

A la vista de la misma, se observa la excelente correlación ($r > 0.70$) entre Cl-SO₄-Na-K-Ca-Mg y Conductividad. Además, el HCO₃ no presenta correlaciones significativas con ningún otro elemento, y lo mismo sucede con el pH.

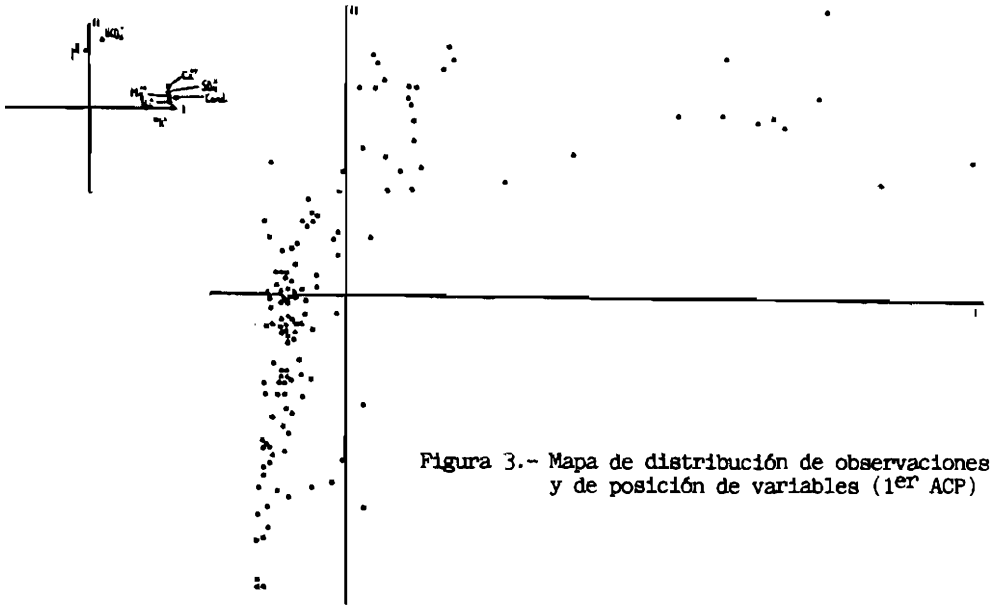


Figura 3.- Mapa de distribución de observaciones y de posición de variables (1^{er} ACP)

A continuación se ha aplicado el ACP en un primer intento de simplificar el número de variables (factores) a considerar. Los dos primeros factores expresan el 82% de la varianza original.

Factor	Varianza expresada (acumulada) %
I	67.2
II	82.0

La contribución más significativa de las variables en los factores es la siguiente:

Variable	Factor I	Factor II
Cl	0'98	
SO ₄	0'91	
HCO ₃		0'81
Na	0'96	
K	0'79	
Ca	0'91	
Mg	0'93	
Conductividad	0'97	
pH		0'71

El factor I es un factor de salinidad (Cl, Na y conductividad), pero influido por el SO₄, Mg, Ca y, en menor medida, por el K. El factor II es un factor de bicarbonatos (HCO₃) con cierta influencia del pH, aunque la dudosa validez de este último parámetro, al no determinarse "in situ", aconseja no tenerlo en cuenta.

La interpretación del mapa de distribución de observaciones (muestras analizadas) y de posición de variables (figura 3) pone de manifiesto que la mayor parte de las muestras se agrupan según una dirección casi paralela al eje II, lo cual es indicativo de que la evolución temporal del quimismo de las aguas afecta, fundamentalmente, al contenido en bicarbonatos con concentraciones o diluciones en los mismos según la muestra se sitúe hacia el extremo positivo o negativo de dicho eje.

Estudiando la evolución temporal en cada pozo (figura 4) y teniendo en cuenta los datos mensuales de precipitación (Cuadro 4), se deduce que este fenómeno de concentración-dilución tiene lugar según la época, lo que se asocia, en principio, con las condiciones climatológicas propias del momento concreto del muestro y con el régimen de bombeo. Así, en épocas lluviosas (en ellas, además, el bombeo es menor) se observa dilución de HCO₃ (por ejemplo, campañas 1, 3, 7 y 9 de los puntos 8417006 y 9412027) y en épocas de sequía (en las que el bombeo es mayor) se produce concentración de HCO₃ (caso de las campañas 4, 5 y 11 del punto 8417006, y de las campañas 4, 3, 6 y 11 del punto 9412027). Este mismo hecho se observa en otros muchos puntos de muestro, aunque sólo hayamos elegido como ejemplo gráfico los dos anteriores.

Nº campaña de muestreo	Fecha	Precipitación mensual (mm)
1	3-1-79	200
2	18-2-81	25
3	26-1-82	150
4	20-5-82	4
5	20-10-82	5
6	8-6-83	3
7	6-12-83	200
8	11-5-84	19
9	28-12-84	250
10	6-3-86	50
11	8-7-86	2
12	15-12-96	70

Cuadro 4.- Precipitación mensual en los períodos de muestreo

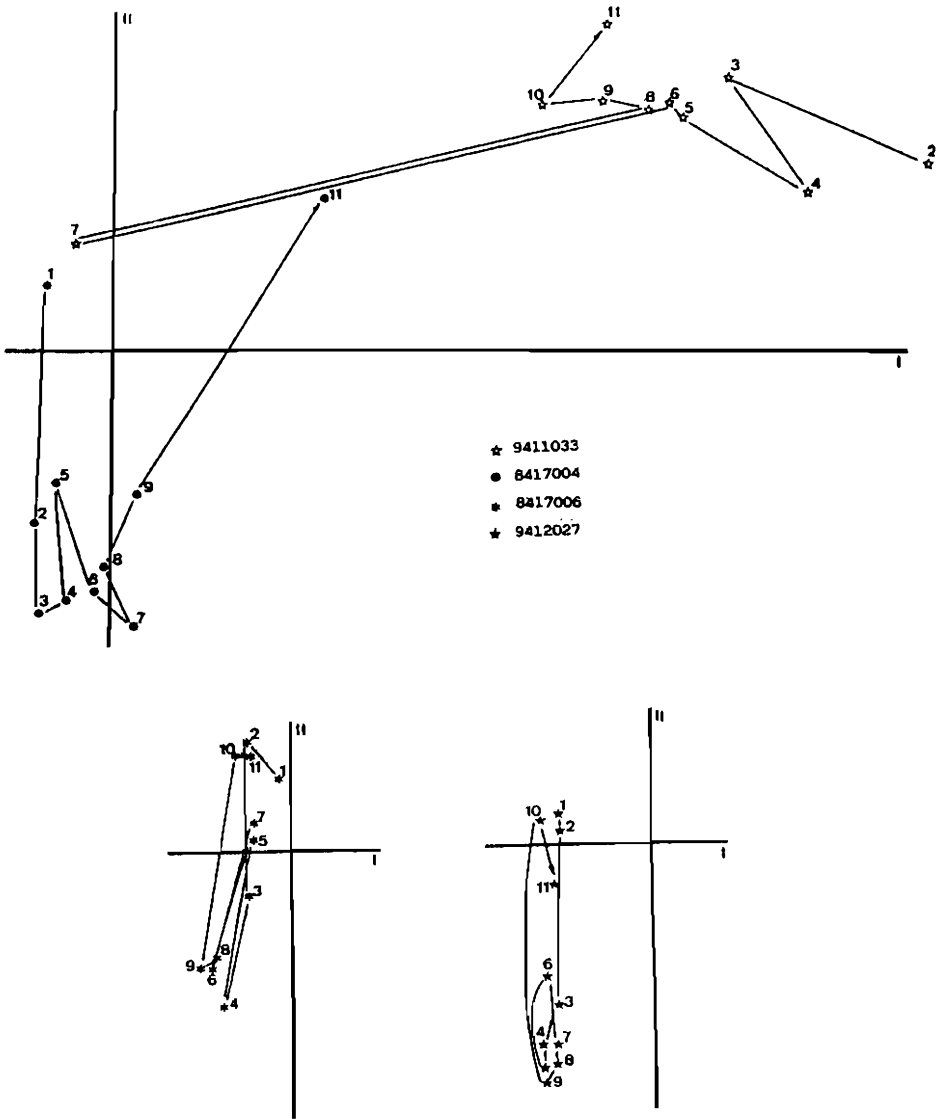


Figura 4. Ejemplo de evolución temporal de observaciones en algunos puntos de muestreo (primer ACP).

En el caso de algunos puntos, sin embargo, la evolución temporal del quimismo de sus aguas sigue pautas diferentes a las ya indicadas. Así, por ejemplo, el número 9411033 (próximo a Cartaya) presenta salinidad alta y mineralización elevada, con grandes contenidos en casi todos los elementos (excepto HCO_3), lo que se interpreta como un problema de salinidad congénita del material acuífero (el pozo está situado en el extremo norte de las marismas del río Piedras); la desviación de los sedimentos en épocas de lluvias (campañas 3, 7 y 9, por ejemplo) produce dilución acusada en el contenido salino y en los demás elementos, y, en cambio, en épocas secas (campañas 4, 5, 6 y 11) tiene lugar una concentración importante de la mineralización.

Sólo en el pozo 8417004 (abastecimiento urbano a Ayamonte) se manifiesta una tendencia temporal al aumento progresivo de la mineralización, lo que podría ser indicativo del avance de la intrusión marina en el sector al SW de Isla Cristina. No obstante, en este primer ACP dicha tendencia queda algo enmascarada por la consideración del pH (parámetro poco fiable, como anteriormente ya se ha indicado) y por la distorsión que puede provocar en la posición en el diagrama ACP del resto de los puntos la elevada salinidad del punto 9411033.

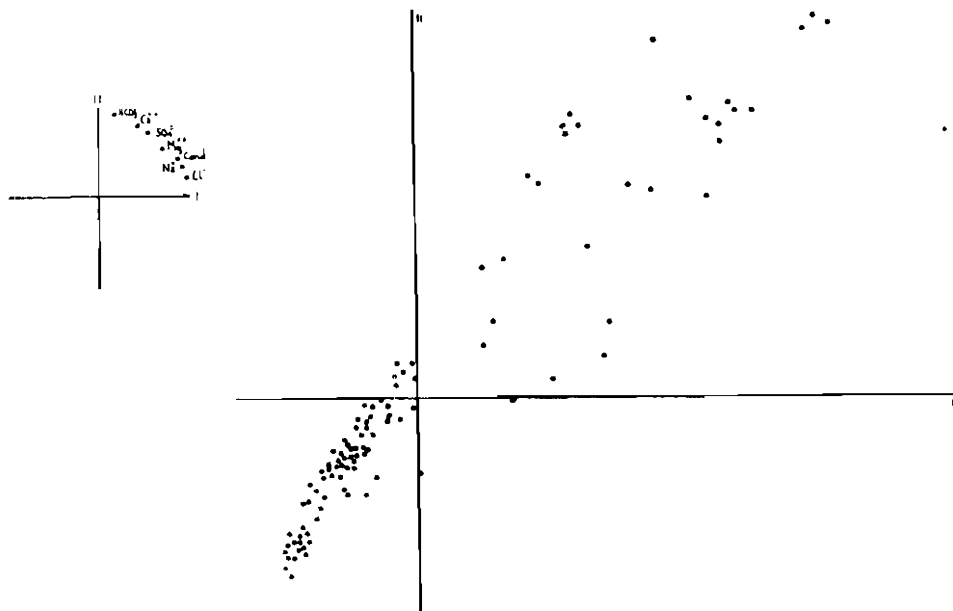


Figura 5. Mapa de posición de observaciones y variables (tercer ACP).

Debido a ésto, se realizó un segundo ACP de tanteo, considerando 125 casos (10 muestras menos, del punto 9411033) y 8 variables (no se tuvo en cuenta el pH). En los correspondientes diagramas se observó que el K obligaba al resto de las variables a agruparse en el mismo eje, por lo que se decidió realizar un nuevo ACP sin considerar al K, puesto que es un elemento que no ayuda para observar la evolución del contenido salino. El tercer ACP se realizó, por tanto, considerando 125 casos y 7 variables (HCO_3 , Ca, SO_4 , Mg, Na, Cl y conductividad).

Los dos primeros factores expresan el 88'4% de la varianza inicial, lo que mejora un poco la representatividad del primer ACP realizado.

Factor	Varianza expresada (acumulada)
I	49'5
II	88'4

La contribución de las variables en los factores es la siguiente:

VARIABLES	Factor I	Factor II
Cl	0'95	
SO_4		0'74
HCO_3		0'94
Na	0'89	
Ca		0'80
Mg	0'69	
Conductividad	0'85	

El factor I está caracterizado, sobre todo, por el Cl y el Na, y el factor II por el HCO_3 y el Ca.

En el mapa de posición de observaciones y variables (figura 5), se puede ver cómo las tendencias hidroquímicas coinciden, en lo fundamental, con lo que ya se había observado en el primer ACP (figura 3). Es decir, la mayor parte de los pozos (8414001, 8417006, 8414054, 8417038, 8418017, 9412027, 9412029, 9415010, 9415013) tienen aguas con mineralizaciones similares y bajas (nube de puntos existente en la parte negativa de los ejes I y II). Del estudio de la evolución temporal en cada uno de estos puntos hemos podido deducir que existe variación química, aunque escasa, de unas épocas a otras a lo largo del período de muestreo, y que no hay tendencia en dicha variación, pues no se detecta progresión temporal de la mineralización de las aguas. Las variaciones de unas épocas a otras en un mismo punto se interpretan como claramente ligadas a procesos de dilución-concentración, dependiendo de las condiciones de humedad-sequía en el momento del muestreo, como hemos indicado ya anteriormente al interpretar el primer ACP.

En dos puntos (números 8417004 y 8418059, figura 6) la mineralización es más alta y la variación temporal de la misma es más acusada.

El punto 8418059 (antiguo pozo de abastecimiento a La Antilla y que se dejó de usar en 1982 por salinidad del agua) presenta cierta tendencia al incremento de la mineralización en el tiempo, que podría deberse a un ligero avance de intrusión marina hacia el Norte de La Antilla, aunque la falta de datos de análisis posteriores a la campaña de Octubre-82 impide afirmar este aspecto; no obstante, por la situación del punto en un sector de sobrebombeo acusado (para riego) del sistema acuífero, es probable que la intrusión marina sea la responsable de la evolución hidroquímica de este pozo.

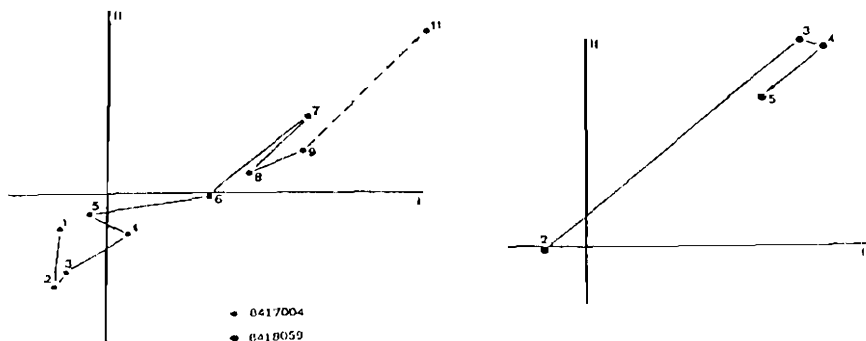


Figura 6. Ejemplo de evolución temporal de observaciones en algunos puntos de muestreo (tercer ACP).

En el punto 8417004 se observa la tendencia apuntada en el primer ACP, aunque de forma más clara; es decir, en las aguas de este punto es evidente el aumento progresivo de la mineralización en el tiempo, especialmente en lo que respecta a las variables Cl y Na y, también, a la conductividad, lo cual parece corroborar que en este sector (al NW de Isla Cristina) la intrusión marina puede estar avanzando, aunque ligeramente. La causa de este ligero avance es el sobrebombeo en el sector occidental del sistema acuífero, principalmente con fines de abastecimiento agrícola (regadío).

Finalmente, se ha realizado un cuarto ACP considerando 125 casos y 5 variables (Cl, Na, SO_4 , Mg y conductividad), eliminando el Ca y el HCO_3 ya que, en función de los anteriores análisis factoriales, parecen ser los elementos que menos sirven como indicadores de la posible intrusión marina. En este nuevo ACP, los dos primeros factores expresan el 92'2% de la varianza inicial, lo cual mejora bastante la representatividad con respecto al primer análisis factorial realizado.

Factor	Varianza expresada (acumulada)%
I	83'7
II	92'2

La contribución de las variables en los factores es:

Variabes	Factor I	Factor II
Cl	0'93	0'27
SO ₄	0'86	-0'38
Na	0'93	0'29
Mg	0'88	-0'33
Conductividad	0'95	0'10

La matriz de correlación entre las variables (Cuadro 3) expresa una correlación significativa ($r > 0'67$) entre todos los elementos considerados en este ACP, hecho que ya fué puesto de manifiesto a partir de la matriz de correlación del primer ACP realizado (Cuadro 3). En este nuevo caso, se observa una buena relación, fundamentalmente entre Cl-Na ($r = 0'92$) y entre SO₄-Mg ($r = 0'78$). Por otra parte, la conductividad está mejor relacionada con Cl-Na ($r = 0'89$) que con SO₄-Mg ($r = 0'79$).

La distribución en el plano factorial I-II de las variables y de las observaciones (Figura 7) muestra cómo el factor I es, claramente, un factor de salinidad y cómo el factor II es más complejo de interpretar, aunque tiende a separar, pero de forma poco clara, entre Cl-Na (parte positiva del eje II) y SO₄-Mg (parte negativa del eje II).

La interpretación de este nuevo ACP permite ratificar lo ya apuntado anteriormente respecto a la mayoría de los pozos muestreados (quimismo similar, baja mineralización y escasas variaciones temporales de la misma).

De entre los puntos con más amplias variaciones temporales, se clarifica muy bien la tendencia de la evolución temporal del punto 8417004 (Figura 8), único punto con aumento progresivo de la salinidad (Cl-Na) durante el período de control, pero muy especialmente a partir de la campaña número 5 (Octubre de 1982), época en la que los bombeos con fines de regadío comenzaron a ser exhaustivos en sectores al N y NE de este punto. El hecho se interpreta como avance de la intrusión marina en este punto, aunque se precisarían controles más específicos para conocer el grado y evolución de la misma.

Las variaciones de los puntos 9405027 (ubicado en cabecera del Sistema acuífero) y 8418009 (próximo a Lepe) son confusas de interpretar según el significado hidroquímico de los factores I-II, aunque lo que sí es claro es que no existe tendencia en ellos a incrementar en el tiempo su contenido salino.

Por último, y con el fin de poder visualizar la evolución espacial y temporal de la tendencia del quimismo del sistema acuífero, se han representado cartográficamente los resultados del cuarto ACP (Figuras 9, 10 y 11), en lo que respecta únicamente a la posición de cada punto de muestreo

respecto al factor I (Cl, Na, SO₄, Mg y Conductividad), deducida de la Figura 7.

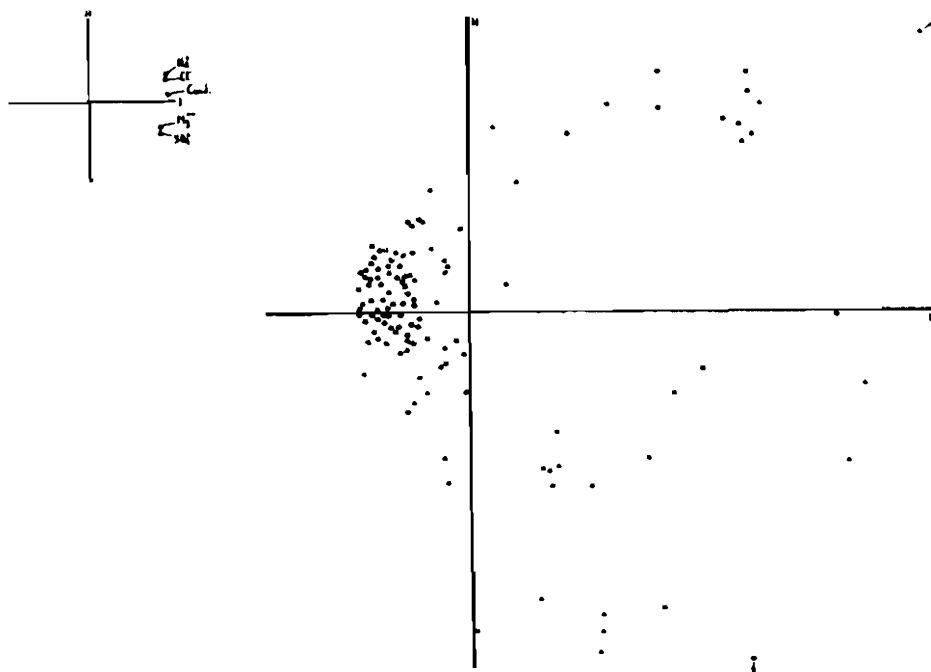


Figura 7. Mapa de posición de observaciones y variables (cuarto ACP).

Los números (positivos y negativos) que aparecen junto a cada punto de control indican la situación que las muestras de la campaña considerada tienen sobre el eje I (Cl-Na-SO₄-Mg-conductividad). Cuanto más alto es el valor de los números positivos, más elevada es la mineralización del agua; por el contrario, cuanto más negativo sea el número menos mineralizada es el agua de ese punto.

En estas figuras se han distinguido diferentes sectores que intentan establecer zonas, en base a intervalos elegidos según un criterio relativo en función de la variabilidad de los datos considerados.

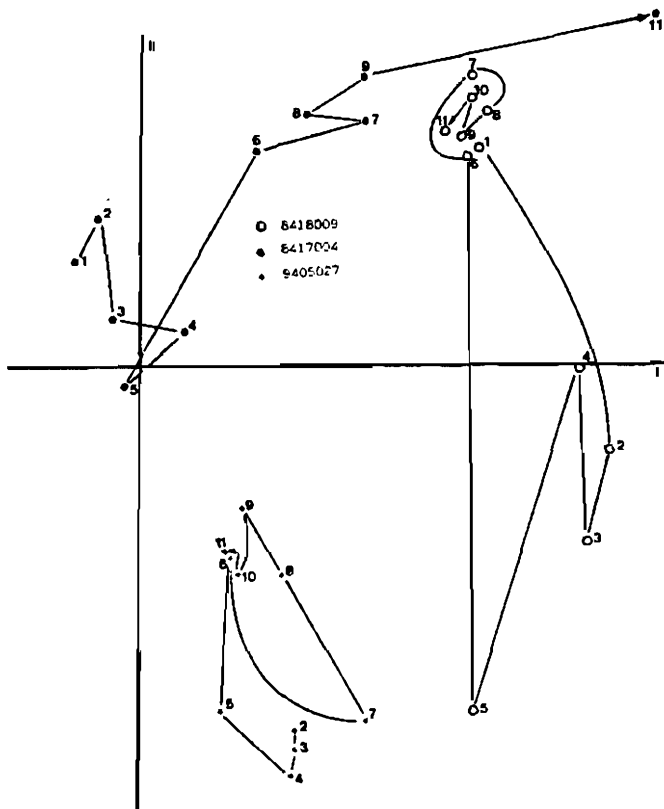


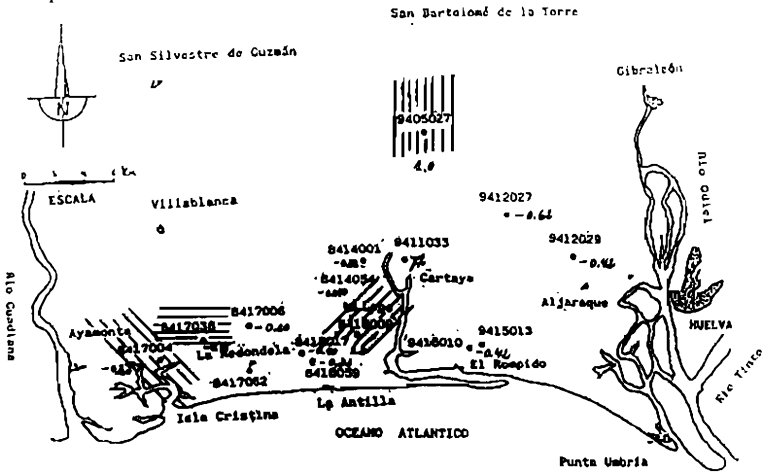
Figura 8. Ejemplos de evolución temporal de observaciones en algunos puntos de muestreo (cuarto ACP).

Interpretando estas representaciones cartográficas se deduce (Figuras 9, 10 y 11):

- a) Las aguas menos mineralizadas son las del pozo 8417038, en todas las campañas, aunque presenta variaciones temporales en la intensidad de la mineralización, pero escasa (trama B).
- b) Las aguas más mineralizadas corresponden a los puntos 9405027 (trama A; punto en cabecera del sistema acuífero, cuya mineralización responde a procesos de dilución-concentración) y 8418009, y, a veces (campaña número 4) las del punto 8418059 presentan también altos contenidos (trama C). Las variaciones son grandes, pero no existe tendencia en la evolución temporal del quimismo (según se ha comentado anteriormente en el cuarto ACP).
- c) El punto 8417004 (trama D) presenta clara tendencia al aumento progresivo de la mineralización (salinidad en este caso) en las sucesivas campañas, lo que se interpreta como zona de intrusión marina, aunque aún no muy desarrollada.



2ª Campaña (18-2-1981)



8414054
Punto de control y número de orden (registro nacional)

4ª Campaña (20-5-1982)

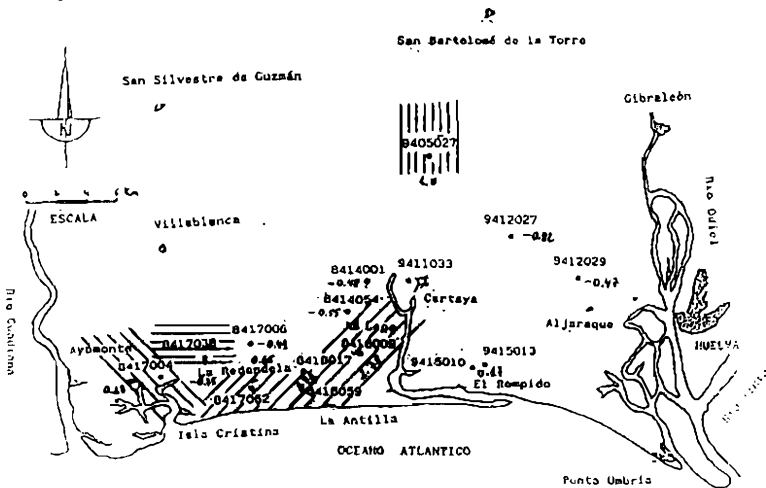
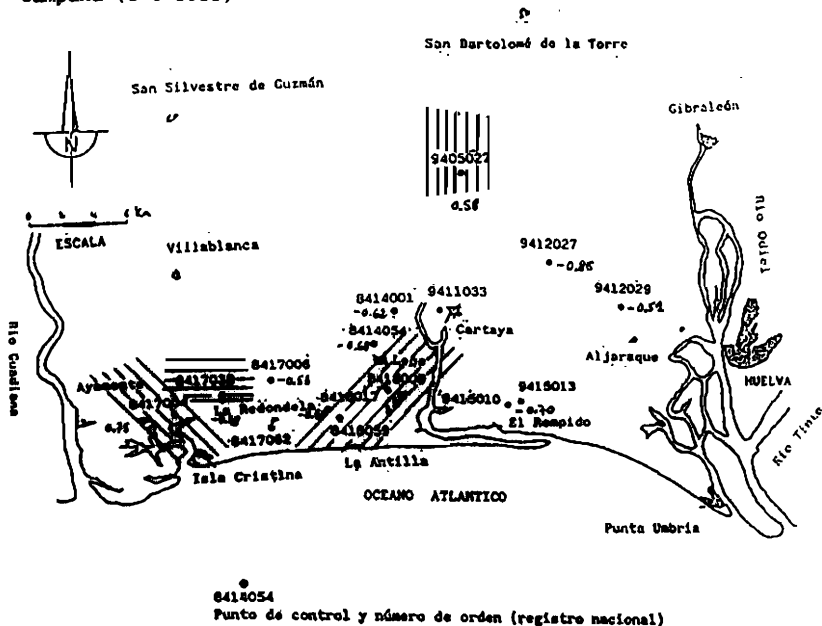


Figura 9. Representación cartográfica en función del eje I (cuarto ACP) para la campaña 2ª (arriba) y 4ª (abajo). Explicación de tramas en el texto.

6ª Campaña (8-6-1983)



8ª Campaña (11-5-1984)

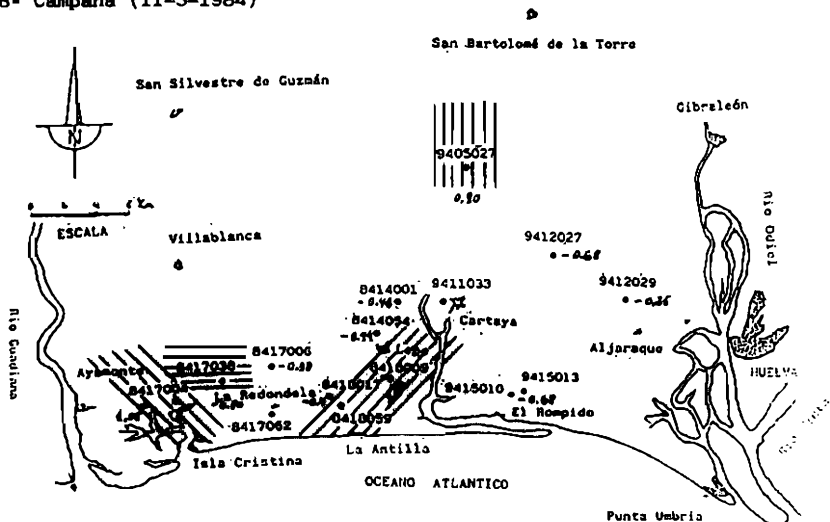
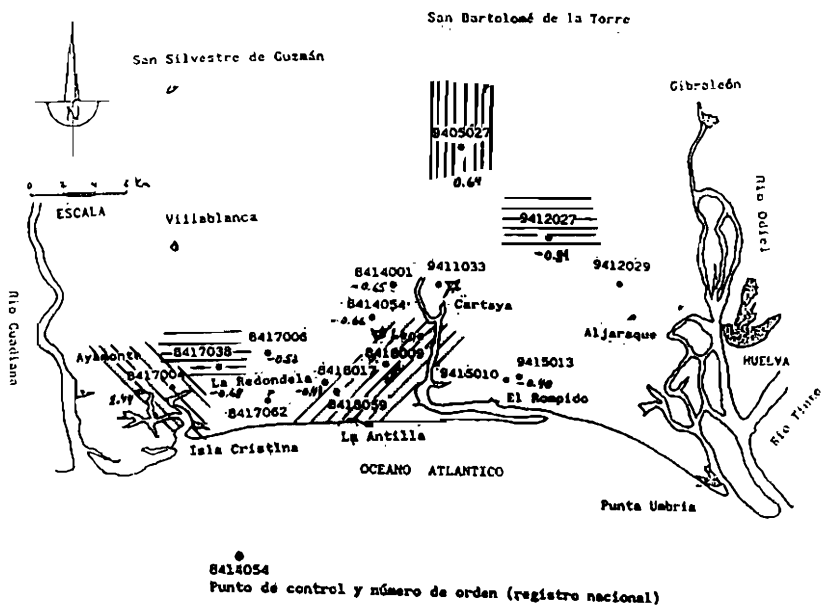


Figura 10. Representación cartográfica en función del eje I (cuarto ACP) para la campaña 6ª (arriba) y 8ª (abajo).

9ª Campaña (28-12-1984)



10ª Campaña (6-3-1986)

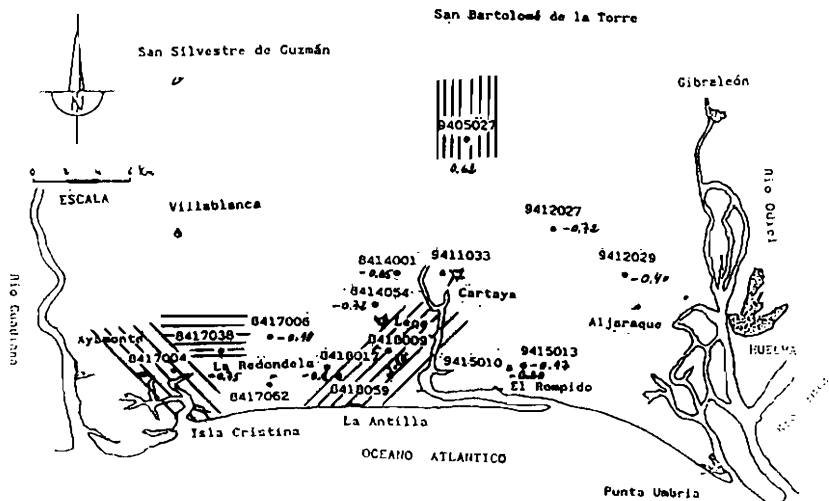


Figura 11. Representación cartográfica en función del eje I (cuarto ACP) para la campaña 9ª (arriba) y 10ª (abajo).

- d) El resto de los pozos (trama E) presenta escasa variabilidad en las mineralizaciones, sin tendencia y con un carácter químico similar.
- e) Solamente en la campaña número 4 (20-5-82, figura 9) se observa un aumento generalizado de la mineralización en los pozos más próximos a la costa, principalmente en los situados en el sector occidental del sistema, al W del río Piedras (8417004, 8417062, 8418059 y 8418009). En lo que respecta al punto 8417007 es válido lo que se ha indicado en el apartado c), pero para los otros tres puntos la interpretación es que se trata de un sector con elevada mineralización, aunque sin tendencia clara al aumento de la salinidad (Cl-Na). Hay que destacar que las campañas 4, 6, 8 y 10 corresponden a períodos secos, con lo que el sobre-bombeo se traduce en avance de la intrusión marina en el sector occidental del sistema acuífero (al N-NW de Isla Cristina) y en un aumento de la mineralización en el sector del mismo comprendido en el eje La Redondela-La Antilla-Lepe, aumento que no presenta tendencia clara pero que tiende a contrarrestarse en las siguientes campañas en el punto 8418009. Puede tratarse de un sector con probable afección marina, en el que además (en el sentido La Antilla hacia Lepe) se superpongan fenómenos de salinidad congénita (lo que explicaría la alta mineralización del punto 8418009).

CONCLUSIONES

- a.- La aplicación del método de análisis factorial, en su modalidad de Análisis en Componentes Principales (ACP), se muestra como herramienta muy útil para dilucidar el origen y la evolución temporal y espacial de la salinidad de aguas de este sistema acuífero.
- b.- Aplicaciones sucesivas del método ACP sobre los datos disponibles permiten separar sectores con diferentes grados de mineralización, cuyo origen también es diferente.
- c.- El sector comprendido en el eje La Redondela -La Antilla-Lepe es el que tiene aguas más mineralizadas (mayores contenidos en Cl-Na y SO_4 -Mg), aunque sin tendencia clara al aumento de salinidad (Cl-Na) en el tiempo. Puede tratarse de un sector de probable afección marina, pero en el cual se sumen fenómenos de salinidad congénita responsables de los efectos de dilución-concentración dependiendo de épocas húmedas-secas.
- d.- El sector al N-NW de Isla Cristina presenta una clara tendencia a un progresivo aumento de la mineralización en el tiempo (principalmente en lo que respecta a la variables Cl-Na-conductividad), lo que se interpreta como intrusión marina, aunque aún no muy desarrollada.
- e.- La mayor parte de las aguas del sistema tienen mineralización baja y muy similar. Son aguas en las que no se detecta tendencia al aumento progresivo de ningún componente, durante el período estudiado (1979-1986).

f.- Puntualmente, problemas de salinidad congénita de los materiales acuíferos justifican la alta salinidad y el elevado grado de mineralización de ciertas aguas, como las del pozo 9411033 (próximo a Cartaya), en las que se manifiesta claramente el fenómeno de dilución-concentración en función de épocas húmedas-secas.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento al Instituto Geológico y Minero de España (Oficina Regional de Proyectos, Sevilla), por habernos permitido emplear los datos de análisis químicos que han servido de base para la elaboración de este trabajo.

BIBLIOGRAFIA

CUADRAS, C.M. (1981).- "Métodos de análisis multivariante". Eunibar. Barcelona.

GONZALEZ, A. (1986).- "Hidrogeología de la región sur-occidental de la provincia de Huelva". Tesis Doctoral, 513 pp. Serv. Public. Univ. Granada.

- (1986).- "Estructura y funcionamiento hidrogeológico del sistema acuífero superficial del sector Ayamonte-Huelva". II SIAGA, vol. II, sección IV, p. 325-336. Edit. Dpto. de Hidrogeología. Univ. de Granada.

ROBERTSON, F.N. (1986).- "Geochemistry of ground water in alluvial basins of Arizona and adjacent parts of Nevada, New Mexico and California". Geol. Surv. Profess. Paper, 1406-C. Tucson, Arizona.

WOOD; W.W. (1976).- "Guidelines for collection and field analysis of ground water samples for selected unstable constituents". Book 1, 2ª edic. Government Printing Office. Washington.