

# Analisis multivariable aplicado a datos hidroquimicos de las zonas humedas de la provincia de Malaga

*Multivariate analysis applied to hydrochemical data of the wetlands of the province of Malaga*

M. Rodríguez Rodríguez (\*), J. Benavente Herrera (\*), J.J. Cruz San-Julián (\*), F. Torres Ruiz (\*\*)

(\*) Instituto del Agua (Universidad de Granada). Ramón y Cajal, 4. 18071, Granada.

(\*\*) Departamento de Estadística e Investigación Operativa (Universidad de Granada). Avenida Severo Ochoa s/n 18071, Granada.

## ABSTRACT

*In the province of Málaga there exist a series of wetlands which are protected as Natural Reserves. The management and conservation of these small lakes should be made according to scientific criteria instead of political and administrative ones, and as a consequence, it is necessary to establish in an accurate way their hydrological characteristics. In this work a multivariate analysis of hydrochemical data of all the wetlands of the province of Málaga has been carried out. Factor Analysis and different Cluster Analysis techniques have been used as a way to establish a number of partitions for the lakes considered and, on the other hand, they have allowed to determine the specific factor which has the highest influence on each partition.*

**Key words:** wetlands, hydrochemistry, Factor Analysis, Cluster Analysis.

Geogaceta, 28 (2000), 125-128  
ISSN: 0213683X

## Introducción. Objetivos y metodología

En la provincia de Málaga existen una serie de zonas húmedas, protegidas con la figura de Reserva o Paraje Natural por la Junta de Andalucía, cuya característica común es el endorreísmo de sus cuencas. Entre ellas cabe destacar la laguna de Fuente de Piedra, tanto por la extensión de su cuenca (unos 150 km<sup>2</sup>) como por albergar en su interior la mayor laguna de Andalucía y una de las mayores de España, con aproximadamente 13 km<sup>2</sup> de superficie máxima inundable. En las inmediaciones de Fuente de Piedra existen otros sectores en los cuales aparecen lagunas de extensión mucho más reducida, a veces concentradas dentro de espacios relativamente restringidos. Es el caso de las lagunas de Archidona (Grande y Chica), Antequera (Caja y Viso), la Ratosa, Campillos, que consta de 8 lagunas (Dulce, Lobón, Salada, Capacete, Cerero, Camuñas, Redonda y Marcela) y Guadalhorce (Fig. 1). Estos enclaves lagunares cubren toda la gama posible en lo que a régimen hídrico se refiere, desde permanentes a esporádicas, aunque el caso más frecuente suele ser la secuencia anual de situaciones de inundación invernal y desecación estival.

Los humedales estudiados (16 en total) aparecen en terrenos de permeabili-

dad baja o muy baja (DPM-ITGE, 1988; Almécija, 1997), y situados sobre materiales triásicos, miocenos o cuaternarios. Este sustrato es el que determina en mayor medida las facies hidroquímicas de cada sistema.

El objetivo de este estudio es hacer una clasificación de las diferentes lagunas en función de las características físico-químicas de sus aguas, determinadas a partir de 10 campañas de muestreo litoral a lo largo de los años 1997 y 1998. Fuente de Piedra es el único caso en que se ha realizado el muestreo en dos puntos. Las variables consideradas son la conductividad eléctrica, las concentraciones de iones mayoritarios y el fósforo total. Esta última variable como indicador de eutrofización de los sistemas. También se pretende establecer cuales son los factores principales que influyen en que cada laguna se asigne a un grupo o partición en concreto. La finalidad última del estudio es aportar criterios científicos para una gestión apropiada de estos espacios naturales protegidos, que pasa obligatoriamente por el conocimiento de su dinámica hidrológica y de sus características hidroquímicas. En relación con esto último hay que tener en cuenta que la calidad del agua es el factor fundamental que determina que las diferentes comunidades bióticas puedan desarrollarse favorablemente.

El tratamiento estadístico, 1530 datos analíticos en total, se ha realizado fundamentalmente siguiendo técnicas del Análisis Factorial paramétrico y métodos de clasificación automática, básicamente Análisis Cluster tanto en su versión jerárquica como no jerárquica. Para ello se ha empleado principalmente el paquete estadístico Statgraphics, si bien el Análisis Cluster no jerárquico (método de las K-medias) se ha realizado mediante el paquete estadístico BMDP. De los análisis efectuados, el Factorial y el Cluster por variables tienen un carácter exploratorio, de manera previa al Análisis Cluster por individuos, que es la técnica en principio más apropiada para el objetivo que se pretende. Este Análisis, en su forma jerárquica, se ha realizado utilizando como datos de entrada las puntuaciones factoriales de cada humedal sobre cada factor anteriormente encontrado; se han calculado soluciones utilizando dos distancias (euclídea al cuadrado y ciudad) y tres esquemas de amalgamiento (Ward, vecino más lejano y promedio) y se ha comparado el grado de similaridad de estas soluciones mediante el coeficiente de Rand. Para concretar el nivel de corte del dendrograma seleccionado, se ha empleado el denominado método de Beale. El propio hecho de la jerarquía, es decir, el que un determinado individuo o cluster quede, desde

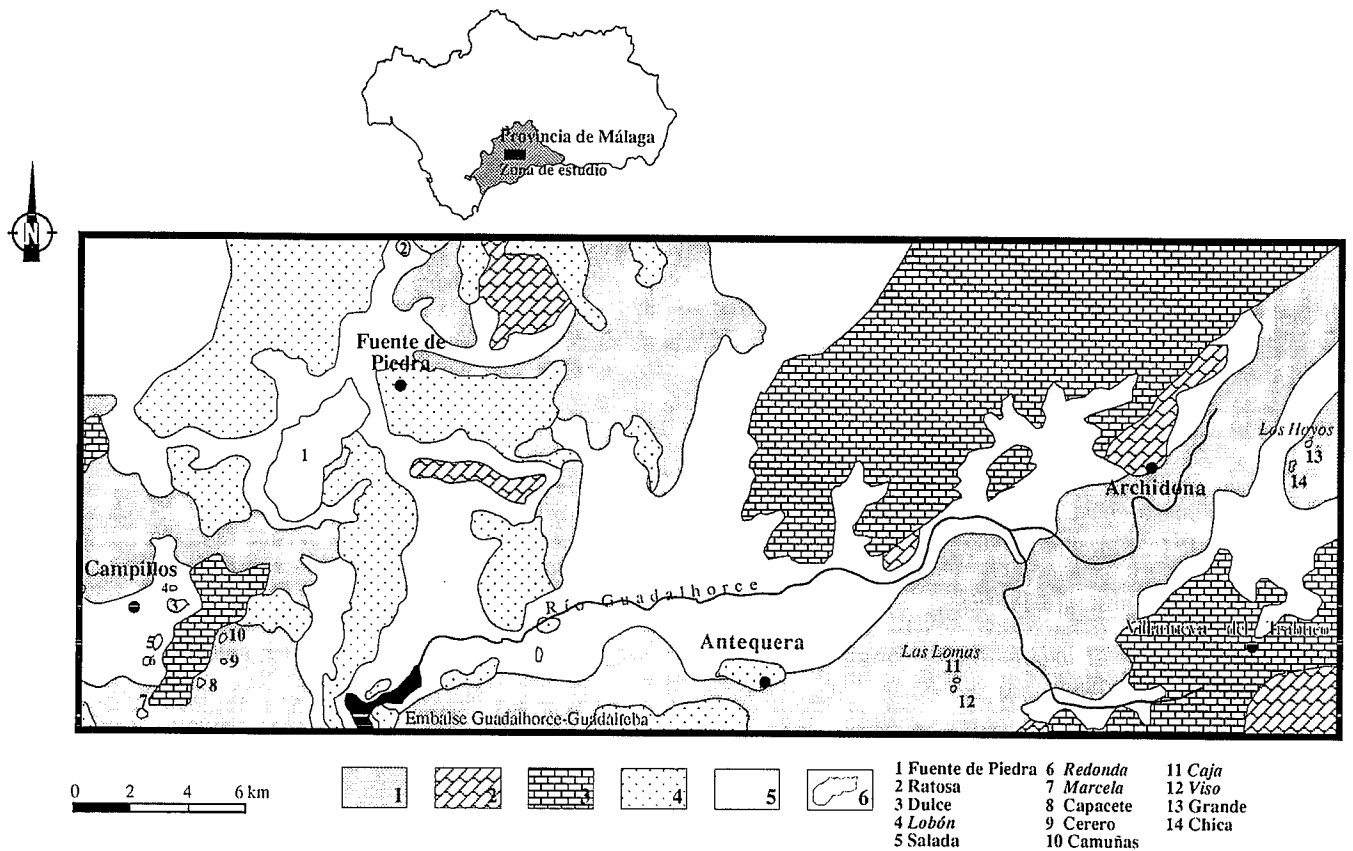


Fig. 1.- Localización y esquema geológico. 1: Triás. 2: Jurásico inferior y medio. 3: Jurásico superior, Cretácico y Paleógeno. 4: Mioceno-Plioceno. 5: Cuaternario. 6: Laguna estudiada y número de referencia.

Fig. 1.- Location and geological sketch. 1: Triassic. 2: Lower and middle Jurassic. 3: Upper Jurassic, Cretaceous and Paleogene. 4: Miocene-Pliocene. 5: Quaternary. 6: Lakes and reference number.

una etapa, encajado en la estructura configurada y no pueda salir de ella en etapas posteriores, lleva a plantearse qué ocurriría si a los clusters se les deja la libertad de poder intercambiarse individuos en etapas posteriores, siempre y cuando ello beneficie a la claridad e interpretación de las soluciones. Esta es la finalidad de las técnicas no jerárquicas, que han sido empleadas, sobre todo para comprobar la estabilidad de las agrupaciones determinadas por los métodos jerárquicos anteriores. El método utilizado ha sido el de las K-Medias de McQueen en su versión convergente implementada en el capítulo KM de BMDP.

**Resultados y discusión**

Todas las técnicas de análisis multivariante indicadas anteriormente se han aplicado independientemente a las diez campañas de muestreo, y los resultados obtenidos han sido similares si bien las diferencias en el total de sólidos disueltos fueron apreciables. Las figuras corresponden a los resultados obtenidos en la primera campaña, abril de 1997.

**Análisis factorial paramétrico exploratorio y cluster por variables.**

En primer lugar cabe destacar que en todos los casos la varianza explicada por los factores en el espacio de los datos se sitúa alrededor del 90% (Tab. 1). En segundo lugar se observa la repetición de muchos de ellos en las distintas campañas, lo cual es indicativo de las características comunes que hay entre ellas. El primer factor es prácticamente común en todas las campañas y aún es más significativo el poder explicativo - corroborado después en el análisis cluster de los humedales - que posee, sobre todo si se compara con el del resto de factores. A la vista de los resultados de la tabla 1 puede asignarse una "etiqueta" explicativa para cada factor. Así, el factor 1 (explicado por las variables conductividad eléctrica, cloruros y sodio) representaría el efecto de la **salinidad**; el factor 2 se podría relacionar con la **influencia del Trías Yesífero**, ya que son el calcio, el magnesio y los sulfatos las variables que lo explican, el factor 3 es vinculado con efectos de **contaminación**

**antrópica** (fosfatos y potasio) y el factor 4 como la influencia de **materiales carbonatados**.

De los dendrogramas obtenidos en el Análisis Cluster por variables, se obtiene prácticamente la misma asociación de variables que en el Análisis Factorial.

**Análisis cluster por individuos, métodos jerárquicos.**

A la vista de los dendrogramas obtenidos (Fig. 2) se sugiere una partición entre 5,6 ó 7 clusters, pues 4 parecen pocos porque siempre aparecen 2 clusters unitarios.

En función de los resultados asociados a los posibles cortes, se ha optado por la configuración en 6 clusters. Hay que comentar también que esta cuestión se ha realizado para cada método seleccionado con la idea de contrastar la solución dada por la selección promedio-ciudad, encontrando en la mayor parte de los casos una semejanza importante, que se reafirma si se comparan las posibles soluciones de tipologías de 6 clusters mediante el coeficiente de Rand.

**Análisis cluster no jerárquico.**

Se ha observado que siguiendo este método no jerárquico, independientemente de la solución inicial tomada, se establece la misma tipología de humedales para 6 grupos, lo cual confirma claramente la estabilidad de la solución. Estos grupos han resultado ser los siguientes:

Cluster 1: **Camuñas**; cluster 2: **Capacete**; cluster 3: **Fuente de Piedra** (1 y 2); cluster 4: **Redonda, Salada y Guadalhorce**; cluster 5: **Chica, Grande, Marcela, Ratosa y Cerero**; cluster 6: **Dulce, Hoyos, Lobón, Viso y Caja**.

Para conocer la influencia relativa de los factores identificados en cada uno de tales grupos se pueden observar los valores medios que cada cluster toma sobre cada factor y compararlo con el valor medio que toma sobre toda la muestra, que es cero puesto que los factores tienen media cero y varianza uno (este valor medio se representa gráficamente en la tabla 2 por la línea vertical de trazos. Con ello, valores alejados de dicha línea a la derecha indicarán en predominio de tal factor en dicho cluster, mientras que valores cercanos sugerirán lo contrario. Obviamente para ello es necesario tener debidamente identificado cada factor en función de las variables que lo componen, como se ha indicado anteriormente; los trazos horizontales representan la varianza de cada factor en cada cluster.

La agrupación 1 - laguna de Camuñas -, está fuertemente condicionada por el factor 2, influencia del triás yesífero, ya que esta laguna se sitúa sobre un afloramiento de esta naturaleza. El cluster 2 también está compuesto por un solo caso, la laguna de Capacete; aquí el factor contaminación antrópica es el que más influye, lo cual está de acuerdo con la contaminación por purines que ha experimentado esta laguna; actualmente el vertido ha cesado, pero el fósforo acumulado en el sedimento sigue influyendo en la hidroquímica de las aguas, eutrofizándolas. El cluster 3 consta igualmente de una laguna, la de Fuente de Piedra, y la variable fundamental es la salinidad (factor 1) ya que esta laguna está sometida a una intensa evaporación (se explotó de hecho como salina; Linares, 1990) y bajo ella debe existir una salmuera freática (Benavente *et al.*, 1993). Los restantes clusters no tienen un factor que predomine de manera patente, sino que es su similitud hidroquímica en general lo que los agrupa en una u otra tipología.

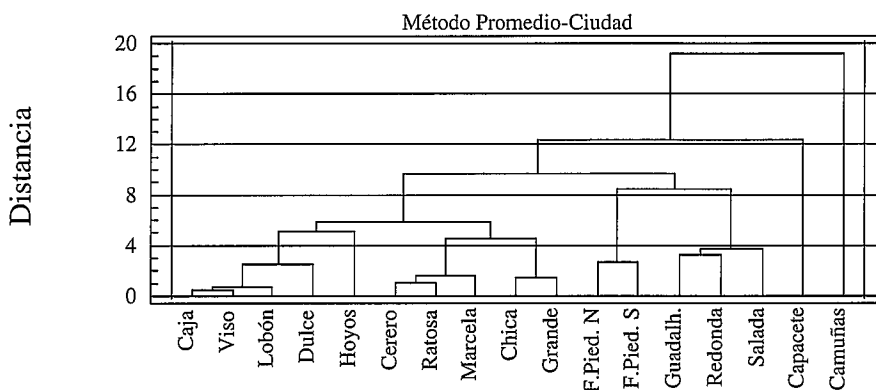


Fig. 2.- Cluster jerárquico de las lagunas estudiadas

Fig. 2.- Hierarchical cluster of the lakes studied

	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Comunaldad estimada
Bicarbonat.	-0,0810452	0,0960499	0,109767	0,955857	0,941505
C.E.	0,916878	0,275058	0,0918347	-0,104439	0,935664
Calcio	0,111387	0,939048	0,0838055	-0,11664	0,914846
Cloruros	0,97105	0,0991756	-0,0308375	-0,0717694	0,958875
Fosfatos	-0,0475451	-0,1486	0,834081	0,379053	0,863714
Magnesio	0,4471	0,845131	-0,037335	0,0666656	0,919983
Potasio	0,013119	0,118064	0,946607	-0,107665	0,921767
Sodio	0,944045	0,225277	-0,0887164	0,0359487	0,951133
Sulfatos	0,16195	0,927463	-0,0590654	0,200409	0,930067

Tabla 1.- Resultados del Análisis Factorial

Table 1.- Results from de Factor Analysis

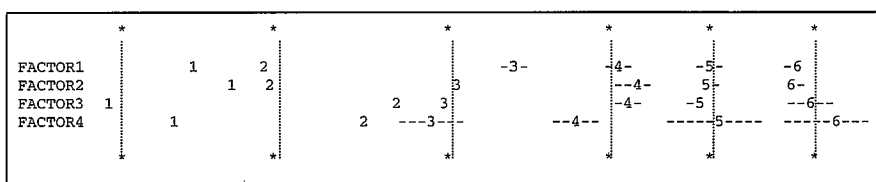


Tabla 2.- Agrupaciones de Lagunas (6 agrupaciones) y grado de influencia de cada factor.

Table 2.- Association of lakes (6 associations) and influence degree of each factor.

**Conclusiones**

De acuerdo con los resultados obtenidos tras el análisis estadístico de los datos correspondientes a 9 variables físico-químicas registradas en las 16 lagunas consideradas a lo largo de las 10 campañas realizadas, en general no se han encontrado diferencias significativas en la configuración de los clusters de una época a otras, si bien las concentraciones salinas experimentan variaciones importantes debido tanto a la naturaleza del sustrato como al régimen hidrológico. Por otra parte, es curioso observar como los clusters suelen contener lagunas pertenecientes a la misma Reserva Natural salvo en el caso de las 8 lagunas de

Campillos, las cuales se distribuyen en 5 de los 6 clusters que se observan. Este hecho se interpreta como debido a la heterogeneidad de sustratos litológicos que forman las cuencas de estas lagunas, y que condicionan en última instancia la hidroquímica de sus aguas. Así, por ejemplo, las hay situadas sobre terrenos aluviales cuaternarios como las lagunas Dulce y Lobón, que se agrupan con lagunas poco salinas como Caja y Viso, y las hay también situadas sobre triás fundamentalmente halítico (Salada y Redonda), que se agrupan con lagunas costeras como la de la desembocadura del Guadalhorce. Por otra parte, las que poseen una mayor concentración de sulfatos y calcio (Marcela y Cerero) se sitúan sobre triás

yesífero y se agrupan con las lagunas de Archidona (Grande y Chica) que ocupan de hecho dolinas en el karst en yesos del triás de Antequera (Pezzi, 1997).

#### **Agradecimientos**

A la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía y al Dr. M. Rendón, director-conservador de la Reserva Natural laguna de Fuente de Piedra y lagunas de Campillos, por su co-

laboración. Financiación a cargo del proyecto SINAMBA (Caracterización Ambiental de las zonas húmedas de la provincia de Málaga y su inclusión en el Sistema de Información Ambiental de Andalucía).

#### **Referencias**

Almecija, C (1997): *Tesis Doctoral*, Univ. Granada (inédita). 518 p.  
Benavente, J., Almecija, C. Y Carrasco,

F. (1986, b): in. *Wetlands: a multi-approach perspective* (J.J. Cruz San Julián y J. Benavente, eds.). Univ. Granada, p. 55-68.

D.P.M.-I.T.G.E. (1988): *Atlas hidrogeológico de la provincia de Málaga*. Ed. Diputación Prov. de Málaga, 150 p.

Linares, L. (1990): *Tesis Doctoral* Univ. de Granada (inédita), 343 p.

Pezzi, M. (1977). *Tesis Doctoral*. Cuad. Geogr. Univ. Granada, S.M. 2, 289 p.