

CASTILLO, A. y LÓPEZ-CHICANO, M. (1991)

"Estudio de las relaciones caudal-conductividad-total de sólidos disueltos en algunos ríos de la provincia de Granada"

El Agua en Andalucía, II: 289-296

## **ESTUDIO DE LAS RELACIONES CAUDAL-CONDUCTIVIDAD-TOTAL DE SÓLIDOS DISUELTOS EN ALGUNOS RÍOS DE LA PROVINCIA DE GRANADA**

Castillo-Martín, A\*. y López-Chicano, M\*.

\* Instituto Andaluz de Geología Mediterránea (Univ. Granada-CSIC) y Dpto. de Geodinámica (Univ. Granada)

### **RESUMEN**

El estudio de las relaciones: caudal-conductividad y total de sólidos disueltos-conductividad, en estaciones de 24 ríos y arroyos de la provincia de Granada, se emplea como herramienta para profundizar en la caracterización y clasificación hidrológica y geoquímica de las aguas estudiadas.

Palabras clave: Ríos, caudal, conductividad, total de sólidos disueltos

### **ABSTRACT**

The analysis of the streamflow-conductivity and dissolved solids-conductivity relationships carried out in fixed sampling stations on 24 rivers and streams from the province of Granada has been used as a tool to get more insight into the hydrological and geochemical characterization and classification of such waters.

Key words: Rivers, streamflow, conductivity, dissolved solids

### **INTRODUCCION**

No es objetivo de esta comunicación teorizar sobre las relaciones: caudal-conductividad y total de sólidos disueltos (TSD)-conductividad, sino, fundamentalmente, el utilizarlas como argumento de diferenciación y clasificación de las aguas

estudiadas. Es numerosa la bibliografía que versa, de forma casi monográfica, sobre las relaciones antes aludidas; especialmente abundantes son los trabajos que, desde hace años, hacen referencia a las relaciones salinidad-conductividad (p. ej. BURRIEL y ALVAREZ, 1963; CATALAN, 1969; CUSTODIO, 1965; HEM, 1959...). Sin embargo, no son tan frecuentes los trabajos de hidrogeoquímica que utilizan de forma clasificatoria e interpretativa estas relaciones, limitándose su uso, la mayor parte de las veces, a la mera exposición y representación de los valores obtenidos. Con esta comunicación se quiere incidir sobre las posibilidades interpretativas de estas relaciones, que utilizadas de forma complementaria junto a otras herramientas hidroquímicas, más clásicas y generalmente más ilustrativas, pueden en, algunos casos, aumentar el conocimiento hidrogeoquímico del acuífero o río estudiado.

#### METODOLOGIA

Los valores de caudal, conductividad y TSD aquí utilizados fueron obtenidos en el marco de una investigación regional sobre calidad y contaminación de las aguas de una extensa cuenca de superficie (UNIV. GRANADA, 1990). Los valores utilizados proceden de ocho muestreos (primavera, verano, otoño e invierno), realizados a lo largo de dos años (88-89 y 89-90), sobre un total de 24 estaciones de otros tantos ríos y arroyos de la provincia de Granada. En el cuadro I se expone la relación de ríos y estaciones utilizadas para la elaboración de esta comunicación, junto a su localización precisa (coordenadas UTM) y su número de referencia, al que se hace frecuente alusión más adelante.

Desgraciadamente, los aforos tuvieron que ser realizados, por limitación del tiempo de muestreo, por el método del flotador; no obstante la bondad de los datos se considera aceptable, habida cuenta de que se seleccionaron secciones adecuadas y se dispuso de un operador muy instruido en esta técnica de aforo. La conductividad fue medida en un conductímetro de laboratorio Radiometer CDM-3, y referenciada a 25 °C. Por fin, el TSD fue calculado por la suma de las concentraciones (en mg/l) de los iones mayoritarios (bicarbonatos, sulfatos, cloruros, calcio, magnesio, sodio y potasio), los cuales fueron determinados por los procedimientos que se detallan en el cuadro II.

Aunque se dispuso de una analítica muy completa (27 constituyentes por análisis), no se creyó conveniente incluir otros constituyentes en el cálculo del TSD, y ello en base al carácter generalmente minoritario de los mismos en las aguas aquí consideradas, y a la práctica común de calcular el TSD exclusivamente con los iones mayoritarios, con lo que se hace más fácil la aplicabilidad y comparación de los resultados obtenidos.

<u>Nº Refer.</u>	<u>Río/Estación</u>	<u>Coord. UTM</u>
1	Genil/San Juan	30SVG6510
2	Maitena/desembocadura	30SVG6312
3	Aguas Blancas/entrada embalse	30SVG6219
4	Darro/Rey Chico	30SVG4214
5	Beiro/desembocadura	30SVG4214
6	Bermejo/desembocadura	30SVG4125
7	Cubillas/cjo. Barcinas	30SVG5135
8	Colomera/Luchena	30SVG3642
9	Benalúa/tras Benalúa	30SVG3841
10	Velillos/Mures	30SVG2935
11	Vilano/desembocadura	30SVG0719
12	Monachil/Cahorros	30SVG5508
13	Dílar/central eléctrica	30SVG5102
14	Salado/C.N. 342	30SVG3316
15	Noniles/C.N. 342	30SVG2717
16	Cacín/Resinera	30SVF2291
17	Grande/tras Fornes	30SVF2392
18	Játar/tras Arenas del Rey	30SVF2191
19	Alhama/entrada presa regulación	30SVF1392
20	Salar/C.N. 342	30SVG0314
21	Manzanil/C.N. 342	30SVG0013
22	Genazal/desembocadura	30SUG9516
23	Río Frío/nacimiento	30SUG9212
24	Salado/Río Frío	30SUG9212

Cuadro I.- Relación de los ríos y estaciones muestreadas y localización de éstas por coordenadas UTM

<u>Parámetro</u>	<u>Técnica</u>	<u>Método</u>
Bicarbonatos	V	HCl
Sulfatos	T	BaSO <sub>4</sub>
Cloruros	V	AgNO <sub>3</sub>
Calcio y magnesio	EAA	Absorción
Sodio y potasio	EAA	Emisión

Cuadro II.- V: volumetría; T: turbidimetría; EAA: espectrofotometría de absorción atómica

#### RESULTADOS Y DISCUSION

##### Relación TSD-conductividad

La conductividad eléctrica de un agua depende, fundamentalmente, del tipo de iones presentes y de sus correspondientes concentraciones; es por esto que existe,

normalmente, una estrecha y directa relación entre ambas variables. Sin embargo, la existencia de otros factores condicionantes, y sobretodo la variabilidad de facies química y de salinidad de las aguas naturales hace que el grado de correlación obtenido sea en muchos casos menor del que cabría esperar.

Los valores de la relación TSD/conductividad, obtenidos para cada una de las 24 estaciones fluviales estudiadas, oscilaron entre 0,59 (nº 24) y 1,36 (nº 1). La media de los 24 valores obtenidos fue de 0,89 (para un total de 192 muestras de aguas superficiales de muy diferente procedencia). Esta variabilidad también fue detectada, aunque a menor escala, a nivel temporal. De esta forma, los coeficientes de correlación obtenidos (r) oscilaron entre 0,09 (estación 23) y 0,95 (estaciones 4, 11 y 20); la media de los 24 valores de r obtenidos fue de 0,55; este bajo índice de correlación obtenido tiene su justificación en la variabilidad composicional obtenida y en el cambio de la relación de linealidad con la conductividad, lo cual es especialmente notable a partir de conductividades superiores a 1.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

En general, los resultados obtenidos para la relación TSD/conductividad constatan la influencia de las distintas conductividades específicas características de cada uno de los iones mayoritarios; en este sentido, el mayor efecto influyente detectado ha sido la preponderancia de los bicarbonatos frente a los sulfatos y/o cloruros y viceversa. La figura 1 es muy ilustrativa al respecto; en ella se muestra la relación conductividad (eje X)-TSD/conductividad (eje Y) para las 24 estaciones fluviales estudiadas.

La distribución obtenida, de tipo logarítmico, muestra la estrecha relación existente entre el valor de la relación TSD/conductividad y la conductividad (directamente relacionada con la salinidad, y ésta a su vez con la diferente estructura facial de las aguas). En base a los valores de TSD/conductividad obtenidos podría hacerse la siguiente clasificación de las aguas estudiadas:

a) Valores comprendidos entre 0,55 y 0,80 son característicos de aguas de facies fuertemente sulfatadas y/o cloruradas (para los valores más bajos- con salinidades normalmente superiores a 1 g/l). Serían características de este tipo las aguas de las estaciones seleccionadas para los siguientes cauces: Salado de Río Frio (0,59), Salado de La Malá (0,65), Noniles (0,72), Vilano (0,75) y Salar de Loja (0,76).

b) Valores comprendidos entre 0,80 y 0,95 son característicos de aguas de facies débilmente bicarbonatadas y/o sulfatadas (con salinidades normalmente comprendidas entre 0,5 y 1 g/l). Serían característicos de este tipo la mayoría de las aguas estudiadas.

c) Valores comprendidos entre 0,95 y 1,40 son característicos de aguas fuertemente bicarbonatadas y débilmente mineralizadas (con salinidades normalmente inferiores a 0,5 g/l). Serían características de este tipo las aguas de las estaciones procedentes de los siguientes cauces: Aguas Blancas (0,95), Cacán (0,98), Alhama (1,04), Maitena (1,14), Dílar (1,25) y Genil (1,36).

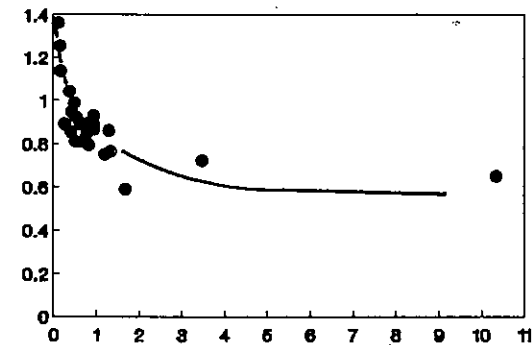


Figura 1.- Distribución de la conductividad (eje X, en  $\text{mS}/\text{cm}$  a 25 °C)-TSD/conductividad (eje Y), para las 24 estaciones fluviales estudiadas

#### Relación caudal-conductividad

En general, la relación caudal-conductividad se liga al mayor o menor efecto diluyente que los diferentes caudales ejercen sobre las concentraciones de las aguas de escorrentía. Esta relación es, generalmente, inversa (a mayor caudal menor conductividad), y está sujeta a multitud de fenómenos influyentes que distorsionan las distribuciones obtenidas. Puesto que no se trata de una relación lineal, no tiene interés hacer referencia a los coeficientes de correlación obtenidos, aunque, por rutina, se calcularon y dieron valores negativos en 17 de las 24 estaciones de muestreo consideradas, con un valor promedio para aquellas de -0,59.

Las distribuciones de caudal (eje X)-conductividad (eje Y) obtenidas fueron mayoritariamente semejantes a las que se presentan en la figura 2 b-c (correspondientes a las estaciones de los ríos Dílar y Velillos).

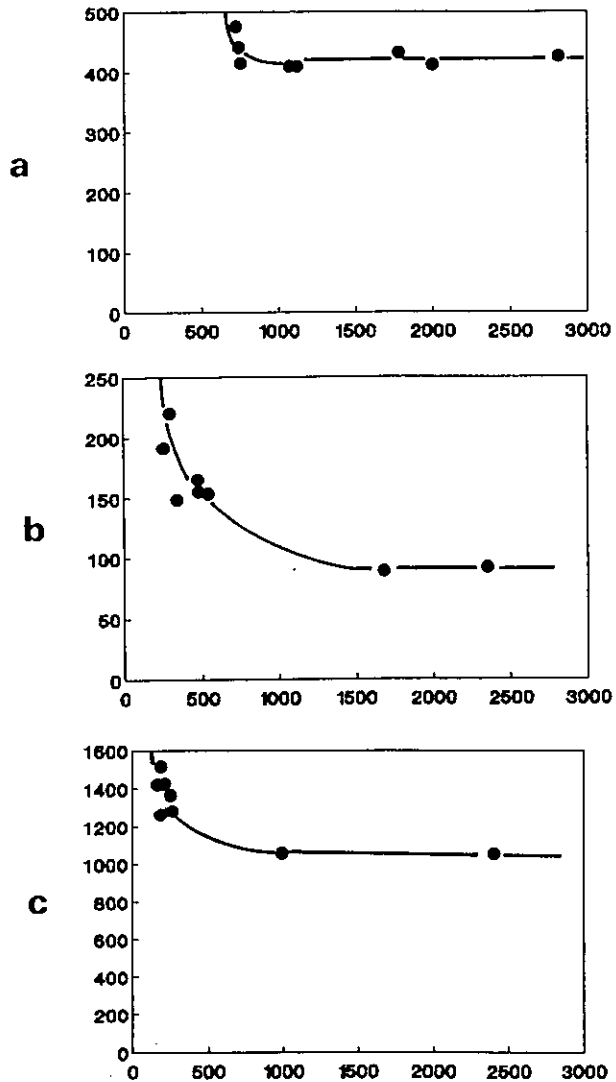


Figura 2.- Tres ejemplos de distribuciones de caudal (eje X, en l/s)-conductividad (eje Y, en  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a  $25\text{ }^\circ\text{C}$ ); a: Río Frío (nacimiento); b: Dílar (central eléctrica); c: Velillos (Mures)

En general, los ríos con una notable influencia nival o pluvio-nival dieron las distribuciones que mejor se ajustaron al modelo logarítmico representado en la figura 2 b. En casos excepcionales la relación fue ligeramente positiva o inexistente; un ejemplo de distribución muy poco influenciada por el caudal fue la presentada por el nacimiento kárstico de Río Frío (figura 2 a), donde los incrementos de caudal apenas si modifican la conductividad, la cual está muy modulada por el efecto regulador ejercido por el extenso sistema acuífero de Sierra Gorda.

Si se observó de forma generalizada, sin embargo, una mayor influencia ejercida sobre la conductividad por ligeras diluciones producidas sobre los caudales de base, los de mayor concentración salina; este fenómeno está relacionado también con la existencia, para cada una de las estaciones muestreadas, de una "conductividad de base" (constante a altos caudales), de valor característico, sobre la que actúa muy débilmente ya el efecto diluyente que podría provocar una gran crecida. La amplitud (en %) entre el valor de conductividad máxima (sobre caudales de base) y el valor mínimo (a altos caudales) es otro de los valores característicos obtenidos para cada una de las estaciones estudiadas. En general, este valor discrimina a las estaciones de muestreo según que los aportes sean mayoritariamente de naturaleza nival, pluvial o subterránea, y ello en base al mayor o menor valor de la amplitud porcentual de las oscilaciones de conductividad; a igualdad de variables, entre ellas las litológicas, que también pueden modificar dicha amplitud.

#### CONSIDERACIONES

Los valores de la relación TSD/conductividad obtenidos (comprendidos entre 1,36 y 0,59) son característicos de cada una de las estaciones fluviales muestreadas; dichos valores dependen, fundamentalmente, del mayor o menor carácter bicarbonatado frente al sulfatado y/o clorurado de las aguas (a este respecto es ilustrativa la figura 1). Se constata, asimismo, el cambio de la relación de linealidad con el aumento de la salinidad, lo cual es especialmente notable a partir de salinidades superiores a 1 g/l.

Las relaciones de caudal-conductividad obtenidas son mayoritariamente negativas, dando distribuciones no lineales, como cabía esperar; las distribuciones obtenidas son características para cada una de las 24 estaciones consideradas (ver los ejemplos que se muestran en la figura 2). En casos excepcionales las relaciones obtenidas fueron débilmente positivas o prácticamente nulas. En casi todos los casos estudiados las conductividades máximas se dieron sobre caudales de base y las mínimas sobre caudales de crecidas, estando bien definidos y estabilizados ambos valores, que se podrían

considerar, también, característicos de las aguas muestreadas. La amplitud porcentual existente entre dichos valores de conductividad se relacionó bastante bien con el carácter nival, pluvial o subterráneo de sus aportaciones mayoritarias, en el sentido de presentar un mayor o menor valor porcentual de la amplitud.

#### AGRADECIMIENTOS

Los datos utilizados para la realización de este trabajo proceden de un Proyecto de Investigación de la Universidad de Granada que fue financiado por la Dirección General de Obras Hidráulicas del M.O.P.U.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

BURRIEL, F. y ALVAREZ, C. (1963). "Relación entre el residuo fijo de un agua y su conductividad específica". Rev. Agua.

CATALAN, J. (1969). "Química del agua". Ed. Lábor. 355 pág. Madrid.

CUSTODIO, E. (1965). "Notas sobre hidroquímica". Comisaría de aguas del Pirineo Oriental y Servicio Geológico de Obras Públicas. 103 pág. Barcelona.

HEM, J.D. (1959). "Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water". U.S. Geological Survey, Water-Supply Paper 1.473. 269 pág. Washington.

UNIV. GRANADA (1990). "Caracterización físico-químico-biológica de las aguas del Alto Genil; estudio integral de la calidad y contaminación de las aguas". Dirección General de Obras Hidráulicas del M.O.P.U. (inédito). 278 pág.