

Calidad para consumo humano de las aguas de La Vega de Granada

A. CASTILLO MARTIN *

INTRODUCCION

La Vega de Granada es una comarca de 200 kilómetros cuadrados de superficie, que se halla situada inmediatamente al oeste y sur de Granada capital. Correspondiente a un área de morfología llana, naturaleza aluvial y fértil suelo, se extiende a ambos márgenes del río Genil, que define su eje central entre las poblaciones de Cenes de La Vega, al este, y Láchar, al oeste (fig. 1). Sus disponibilidades de agua pueden estimarse en cerca de 400 Hm³/año. La alimentación hídrica procede de los cursos de superficie que acceden a la vega, y también de los recursos propios aportados por el embalse subterráneo existente bajo su superficie.

La densidad de población de la comarca de La Vega de Granada es la más alta de la provincia. La población estable existente es de unos 370.000 habitantes (48 por 100 provincial; según INE, 1984), los cuales se hallan repartidos entre 28 municipios (fig. 1). Los abastecimientos municipales se surten, casi exclusivamente, de aguas subterráneas; sólo las poblaciones de Granada, Cenes de La Vega, Cijuela y Láchar reciben suministro de aguas superficiales. No obstante, dado el «peso demográfico» de Granada capital, con una población próxima a los 270.000 habitantes, cabe atribuir al abastecimiento a partir de aguas superficiales una mayor incidencia poblacional. A pesar de que todos los municipios poseen red de agua domiciliaria, con la excepción de Fuente Vaqueros, existe todavía una significativa tasa de abastecimientos «extramunicipales» de manantiales y captaciones, de donde se surte además la mayor parte de la población diseminada existente.

* Departamento de Hidrogeología de la Universidad de Granada y Departamento de Investigaciones Geológicas del CESIC.

MAPA DE SITUACION DE LOS PUNTOS DE AGUA ANALIZADOS Y DEFINICION DE LA CALIDAD PARA CONSUMO HUMANO DE LOS MISMOS

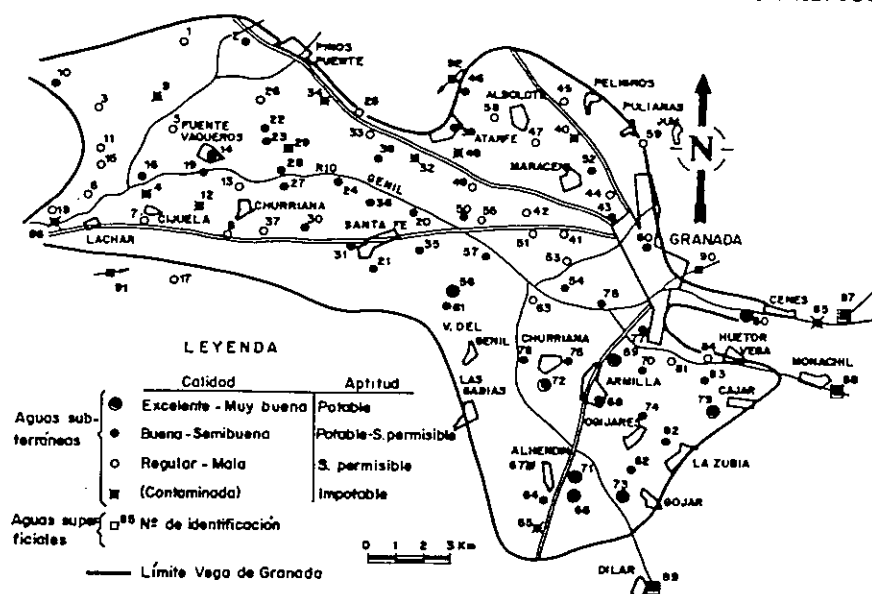


FIGURA 1

MATERIAL Y METODOS

De las 92 muestras de agua analizadas, 51 fueron tomadas en pozos, 30 en sondeos, seis en ríos, tres en manantiales y dos en «canales». Las tomas de pozos y sondeos se realizaron en explotación, o después de extracciones continuadas. El nivel de agua captado fue, casi siempre, el superior de la franja saturada (una extracción algo más profunda hubiera aportado aguas con menor concentración en nitratos y nitritos).

Las muestras, almacenadas en botellas de polietileno de doble tapón, sin burbuja de aire y al resguardo de la luz, fueron conservadas, a su llegada al laboratorio, en frigorífico, a una temperatura de 4°C. En el cuadro 1 se exponen de forma esquemática algunas cuestiones de interés sobre las determinaciones realizadas*, como son los tiempos máximos de almacenaje, los agentes de preservación añadidos y los procedimientos analíticos seguidos. Estos últimos fueron adaptados y/o modificados, para adecuarlos a los contenidos iónicos existentes, de Rodier (1978) y Gómez (1984); en Castillo Martín (1985) se pueden hallar suficientemente detallados.

* Las determinaciones analíticas fueron realizadas por el autor en el Departamento de Hidrogeología de Granada y en la ETSII de Sevilla, bajo la supervisión del doctor Ignacio Gracia Manarillo.

CUADRO 1

DETERMINACIONES CONSIDERADAS Y PROCEDIMIENTOS ANALITICOS SEGUIDOS

Parámetros	(1)	(2)	Procedimientos analíticos
Cloruros	3	-	Valoración con nitrato de plata.
Sulfatos	6	-	Turbidimetría con iones bario.
Nitratos	5	40 mg/l Cl ₂ Hg ...	Espectr. visible con salicilato sódico.
Nitrito	4	40 mg/l Cl ₂ Hg ...	Espectr. visible con ácido sulfanílico.
Fluoruros	7	-	Electrodo selectivo.
Calcio	3	-	Valoración con Complexona.
Magnesio	3	-	Valoración con Complexona.
Sodio	3	-	Fotometría de llama.

(1) Tiempo máximo de almacenaje, en días.
 (2) Agentes de preservación añadidos.

El equipo instrumental utilizado en la determinación de los constituyentes reseñados fue el siguiente:

- Espectrofotómetro de doble haz Perkin Elmer 124.
- Fotómetro de llama Dr. B. Lange.
- Potenciómetro Radiometer PHM-62.
- Electrodo de fluoruros F-1052-F/O.

RESULTADOS Y DISCUSION

Teniendo en cuenta los límites de concentración establecidos por la actual Reglamentación española («BOE», 1982 y 1984) como orientadores de calidad y máximos tolerables para los constituyentes considerados, se presentan en el cuadro 2 las diferentes aptitudes y calidades obtenidas para cada una de las 92 muestras de agua que fueron analizadas en septiembre de 1983.

Este trabajo, que posee el interés de aportar información acerca de la calidad para consumo humano de una muestra significativa de las aguas de La Vega de Granada, es fruto de la elaboración de una parte de los datos analíticos que fueron obtenidos por el autor en una investigación de hidroquímica regional realizada entre los años de 1982-85 (Castillo Martín, 1985). Concretamente se ha hecho uso de un amplio muestreo hidroanalítico, de carácter espacial, que fue realizado en septiembre de 1983. Sobre 84 muestras de aguas subterráneas y ocho de aguas superficiales (fig. 1 y cuadro 2) se determinaron hasta un total de 38 parámetros físico-químicos diferentes (Castillo Martín, 1985), incluidos constituyentes minoritarios y traza. De todos ellos, y en favor de una mayor operatividad, se seleccionaron sólo ocho

CUADRO 2

APTITUDES Y CALIDADES PARA EL CONSUMO HUMANO DE LAS MUESTRAS DE AGUA ANALIZADAS

Todos los puntos considerados se localizaron en la hoja topográfica, a escala 1:50.000, 19-41, excepto los comprendidos entre los números de orden 61 al 84, que pertenecen a la hoja 19-42. P = pozo; S = sondeo; M = manantial; R = río; R.S. = residuo seco, en mg/l.

Número	Número IGME	Naturaleza	Toponimia	Municipio	R. S.	Aptitud	Calidad
1	1019	P	Los Alamos	Pinos Puente	610	S. permisible	Regular.
2	0201	S	Gasolinera	Pinos Puente	690	Potable	Buena.
3	5005	P	Villa Antonia	Pinos Puente	560	S. permisible	Regular.
4	5017	P	Casa de Virginio	Cijuela	1.550	Impotable	Muy mala (contaminada).
5	5025	P	La Noria	Fuente Vaqueros	1.160	S. permisible	Regular.
6	5032	P	Daimuz Bajo	Pinos Puente	570	S. permisible	Regular.
7	5035	P	Molino San José	Cijuela	1.280	S. permisible	Mala.
8	5052	P	El Cruce	Chauchina	2.350	S. permisible	Mala.
9	5066	P	San Pascual	Pinos Puente	1.210	Impotable	Muy mala (contaminada).
10	5069	P	Cortijo de La Noria	Illora	530	Potable	Buena.
11	5074	P	El Chaparral	Illora	620	S. permisible	Regular.
12	5086	S	Romilla	Chauchina	2.670	Impotable	Muy mala (contaminada).
13	5091	P	San Isidro	Fuente Vaqueros	680	Potable	Buena.
14	5117	P	Fuente Vaqueros	Fuente Vaqueros	460	Potable	Muy buena.
15	5140	S	El Chaparral	Illora	470	S. permisible	Regular.
16	5143	M	El Martinete	Fuente Vaqueros	730	Potable	Buena.
17	0503	M	Barrio Acropuerto	Cijuela	3.270	S. permisible	Mala.
18	0504	S	Daragoleja	Láchar	1.470	S. permisible	Regular.
19	0505	M	Río Genil	Fuente Vaqueros	540	Potable	Buena (sospecha pot. microb.).
20	6016	P	Molino Quintín	Santa Fe	530	Potable	Buena (sospecha pot. microb.).
21	6021	P	Noria de Espinosa	Santa Fe	630	Potable	Buena.
22	6025	P	La Isla	Fuente Vaqueros	680	S. permisible	Semibuena.
23	6026	P	Cortijo Peinado	Fuente Vaqueros	540	S. permisible	Semibuena.
24	6028	P	El Zahori	Santa Fe	510	Potable	Buena.
25	6030	P	Baños Sierra Elvira	Atarfe	2.100	S. permisible	Mala.
26	6035	P	El Alitaje	Pinos Puente	1.440	S. permisible	Mala.
27	6036	P	Cortijo del Molino	Chauchina	500	Potable	Buena.
28	6037	P	Canal Aragón	Fuente Vaqueros	550	Potable	Buena.
29	6039	P	La Victoria	Fuente Vaqueros	640	Impotable	Muy mala (contaminada).

Número	Número IGME	Naturaleza	Toponimia	Municipio	R. S.	Aptitud	Calidad
70	3078	S	La Moza	Granada	550	S. permisible	Semibuena.
71	3091	S	San José	Alhendin	390	Potable	Excelente.
72	3112	S	Carrera de Gabia	Churrriana	320	Potable	Muy buena.
73	3116	S	Molino	Gójar	340	Potable	Muy buena.
74	3128	S	Zacatin	Ogijares	510	S. permisible	Semibuena.
75	3132	S	El Hospicio	Granada	520	Potable	Buena.
76	3135	S	Carretera Vieja Armilla	Churrriana	430	Potable	Buena.
77	3136	S	Carretera de Armilla	Granada	460	Potable	Buena.
78	0301	S	La Gloria	Las Gabias	560	S. permisible	Semibuena.
79	4001	S	Abastecimiento	La Zubia	300	Potable	Muy buena.
80	4021	S	El Serrallo	Granada	410	Potable	Excelente.
81	4035	S	El Nublo	Granada	530	S. permisible	Regular.
82	4045	S	Barrio de La Negra	La Zubia	300	Potable	Buena (sospecha pot. microb.).
83	0401	S	El Colorin	La Zubia	500	Potable	Buena.
84	0402	S	Cortijo Calero	Granada	530	S. permisible	Regular.
85	-	R	Río Genil	Pinos Genil	330	Impotable	Muy mala (contaminada).
86	-	R	Río Genil	Láchar	1.100	Impotable	Muy mala (contaminada).
87	-	R	Río Aguas Blancas	Dúdar	410	Potable	Muy buena.
88	-	R	Río Monachil	Monachil	320	Potable	Excelente.
89	-	R	Río Dílar	Dílar	260	Potable	Excelente.
90	-	R	Río Darro	Granada	330	Potable	Buena (sospecha pot. microb.).
91	-	R	Canal Albolote	Atarfe	390	Potable	Buena.
92	-	R	Canal de Cacin	Láchar	760	Potable	Buena.

para definir la calidad química para consumo humano de las aguas estudiadas. Estos constituyentes, seleccionados con el criterio de haber presentado valores de concentración no tolerables para el consumo, siempre según la Reglamentación española («BOE», 1982 y 1984) fueron los siguientes: cloruros, sulfatos, nitratos, nitritos, fluoruros, calcio, magnesio y sodio (también se tuvo en cuenta el valor del residuo seco). Indudablemente, para una caracterización más completa de la calidad hubiera sido necesario haber dispuesto de las determinaciones microbiológicas pertinentes, las cuales, alternativamente, se han supuesto estrechamente correlacionadas con los contenidos hallados en nitritos. En cualquier caso, la recomendable y obligada cloración de las aguas de abastecimiento resta significación a la calidad microbiológica, de carácter «eventual», frente a la de tipo químico, de carácter persistente.

La representatividad de los valores analíticos obtenidos, y consecuentemente de las correspondientes caracterizaciones de calidad halladas (cuadro 2), es significativamente aceptable para las aguas subterráneas estudiadas, de composiciones relativamente estables en el tiempo (excepto en lo concerniente a los constituyentes enriquecidos antrópicamente, iones, nitrato y nitrito). Menor representatividad cabe atribuir, sin embargo, a los valores obtenidos para las aguas superficiales, más sujetas a variaciones temporales de composición. No obstante, las aguas muestreadas en septiembre de 1983, después de un periodo de cuatro años de aguda sequía, aportan índices de calidad peores de lo «normal», y por tanto conservadores a la hora de valorar las diferentes aptitudes para el consumo humano de las aguas estudiadas.

Con la limitación, ya expuesta, de la no consideración de ciertas determinaciones, y sobre todo de las de carácter microbiológico, se definen a continuación los diferentes tipos y grados de aptitudes y calidades a las que se hace alusión en el presente trabajo:

a) *Aguas potables*.—«Son aquellas en las que ningún constituyente presenta concentraciones superiores a las establecidas como límite de tolerabilidad.»

a1. *Calidad excelente*.—«Los contenidos establecidos como orientadores de calidad son sobrepasados, como máximo, por uno solo de los constituyentes, de los que están excluidos los nitratos, nitritos y fluoruros.»

a2. *Calidad muy buena*.—«Los contenidos establecidos como orientadores de calidad son sobrepasados por dos constituyentes, excluidos los nitratos, nitritos y fluoruros.»

a3. *Calidad buena*.—«Resto de aguas potables no consideradas en los apartados anteriores.»

b) *Aguas sanitariamente permisibles*.—«Son aquellas en las que al menos un constituyente, sin incluir a los nitritos, presenta concentraciones superiores a las establecidas como límite de tolerabilidad.»

b1. *Calidad semibuena.*—«Sólo un constituyente, excluidos los nitratos y fluoruros, sobrepasa la concentración establecida como límite de tolerabilidad (normalmente es el magnesio el constituyente que sobrepasa en solitario el límite exigido).»

b2. *Calidad regular.*—«Las concentraciones límites de tolerabilidad son sobrepasadas por los nitratos o fluoruros, o por dos constituyentes de los restantes.»

b3. *Calidad mala.*—«Resto de aguas sanitariamente permisibles no incluidas en los apartados anteriores.»

c) *Aguas impotables.*—«Son aquellas en las que es superado el límite de tolerabilidad del contenido en nitritos (0,1 mg/l), lo cual es considerado como un razonable indicio de la existencia de contaminación fecal reciente (calidad muy mala).»

Aguas subterráneas

Siguiendo los criterios de clasificación expuestos, las diferentes aptitudes y calidades halladas (para las 84 muestras analizadas) obtuvieron los porcentajes de representación que se pueden observar en el cuadro 3.

CUADRO 3

PORCENTAJES HALLADOS DE LOS DIFERENTES TIPOS DE APTITUDES Y CALIDADES PARA CONSUMO HUMANO DE LAS AGUAS ANALIZADAS

Aptitud	Porcentaje	Núm.	Calidad	Porcentaje	Núm.
a) Potable.....	42	35	Excelente.....	3	2
			Muy buena.....	8	7
			Buena.....	31	26
b) Sanitariamente permisible.....	46	39	Semibuena.....	13	11
			Regular.....	18	15
			Mala.....	15	13
c) Impotable.....	12	10	Muy mala.....	12	10

En el cuadro 4 se expone la incidencia porcentual de los contenidos no tolerables hallados para cada uno de los ocho constituyentes considerados.

Los porcentajes obtenidos ponen de manifiesto que frente a un 10 por 100 de aguas significativamente mineralizadas, con residuos secos superiores a 1.500 mg/l, el 46 por 100 de las muestras analizadas dan calificación de aguas sanitariamente permisibles. Ello se debe en gran medida a lo estricto de la Reglamentación española con respecto al límite tolerable del magnesio, que es fijado en 50 mg/l (OMS, 150 mg/l), el cual es sobrepasado en el 40 por 100

CUADRO 4

PORCENTAJES DE CONTENIDOS NO TOLERABLES PRESENTADOS POR CADA UNO DE LOS CONSTITUYENTES CONSIDERADOS (RESIDUO SECO, 10 POR 100)

Constituyentes	Porcentaje	Número
Magnesio	40	34
Sulfatos	21	18
Nitratos	20	17
Calcio	14	12
Nitritos	12	10
Fluoruros	10	8
Sodio	4	3
Cloruros	1	1

de los casos. Para este tipo de aguas se alude en el presente trabajo a una calidad «semibuena».

Los valores analíticos obtenidos reflejan, asimismo, que la mineralización de las aguas procede, fundamentalmente, de la disolución de sulfato y carbonato cálcico (presencia de yesos y calizas y/o dolomías), y en una mínima proporción de cloruro sódico (halita) y otras sales. En concordancia con ello, los sectores de La Vega de Granada de más baja mineralización, índice generalmente de una mayor calidad, son el suroriental (poblaciones de Churriana-Gójar-Cájar-Huétor Vega) y el que discurre a lo largo del río Genil entre el puente de Los Vados y la población de Fuente Vaqueros. Por el contrario, los sectores con aguas subterráneas más mineralizadas, son el nororiental (poblaciones de Pulianas-Peligros-Maracena), noroccidental (sierra Elvira-cjo. del Alitaje) y suroccidental (poblaciones de Romilla-Cijuela-Láchar), todos ellos relacionados más o menos directamente con alimentaciones procedentes de próximas formaciones evaporíticas del Mioceno y/o Triás.

Frente a la calidad natural de las aguas, caracterizada por una composición exclusivamente ligada a los procesos de ataque y disolución de especies minerales, cabe resaltar la existencia de contenidos iónicos de origen antrópico. A este respecto caben destacarse los porcentajes del 20 y 12 por 100 de contenidos no tolerables presentados por los iones nitrato y nitrito, respectivamente. Ello refleja la existencia de significativos procesos de aportes contaminantes, de naturaleza agrícola (fertilizantes) para los contenidos en nitratos y de origen urbano (aguas residuales) para los de nitritos. Los sectores de La Vega de Granada más afectados por procesos de contaminación agrícola son el occidental (captaciones números 3, 6, 11, 15...) y el localizado en el entorno de la captación número 42, inmediatamente al oeste de Granada capital. Por lo que respecta a los procesos de contaminación urbana (véase en figura 1 la localización de muestras presumiblemente contaminadas), puestos de manifiesto por contenidos no tolerables de nitritos, decir que no responden, como en el caso anterior, a un modelo regionalizado: se trata más bien

de procesos puntuales, siempre ligados a vertidos muy localizados en el espacio, y generalmente también en el tiempo.

Aguas superficiales

Las aguas superficiales de La Vega de Granada presentan una problemática diferente a la comentada para las aguas subterráneas. Aparte de estar sujetas a mayores variaciones temporales de composición, en general se trata de aguas poco mineralizadas (de 300 a 700 mg/l de TSD para las procedentes de los sistemas béticos, s. s.), y por tanto de muy buena calidad para el consumo humano. No obstante, conviene advertir que en su práctica totalidad quedan inutilizadas para el consumo en su discurrir sobre La Vega de Granada al recibir frecuentes vertidos líquidos urbanos de los núcleos de población existentes. Muestra de ello fueron los indicios de contaminación detectados en las aguas del río Genil (también ríos Darro y Monachil).

Todas las muestras analizadas en septiembre de 1983 (ver localización de estaciones en figura 1) dieron calificación de aguas potables, con la excepción de las tomadas en el río Genil (estaciones de Pinos Genil y Láchar). Las aguas de mejor calidad química fueron las de los ríos Dílar, Monachil, Genil y Aguas Blancas, por el orden citado.

En un muestreo más completo realizado en marzo de 1984, se analizaron las aguas del resto de los cauces de superficie que acceden a La Vega de Granada. Los valores analíticos obtenidos permitieron calificar de impotables a las aguas de los ríos Cubillas, Veillos y Beiro, así como a las de los arroyos de Juncaril y Salado y acequia de Aynadamar (todas las estaciones de control se localizaron a la entrada de La Vega de Granada). Aparte de las fuertes contaminaciones orgánicas halladas, se detectaron compuestos tóxicos peligrosos en las aguas del río Beiro y arroyos Salado y Juncaril.

CONCLUSIONES

A la vista de los datos analíticos obtenidos de las aguas de La Vega de Granada pueden hacerse las siguientes consideraciones generales acerca de sus aptitudes para el consumo humano:

1. Aplicando estrictamente la Reglamentación española, sólo el 42 por 100 de las muestras de aguas subterráneas analizadas dieron calificación de potables; el 46 por 100 resultaron ser sanitariamente permisibles, y el 12 por 100 restante impotables (por contenidos no tolerables de nitritos).
2. Los principales porcentajes de «intolerabilidad» fueron los presentados por los contenidos de magnesio (42 por 100), sulfatos (21 por 100) y nitratos (20 por 100).
3. Existe un significativo proceso de afección regional a la calidad natural de las aguas por aportes de naturaleza agrícola (fertilizantes), lo cual

queda reflejado en los altos contenidos de nitratos hallados. De igual forma, los contenidos en nitritos ponen de manifiesto la existencia de afecciones, en este caso más puntuales, de tipo orgánico (aguas residuales urbanas).

4. Las aguas superficiales, de excelentes calidades en origen por sus bajas mineralizaciones, ven gravemente deterioradas sus aptitudes para el consumo dentro de La Vega de Granada, debido a los frecuentes aportes contaminantes, fundamentalmente orgánicos, que reciben.

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi agradecimiento a los doctores Rafael Fernández-Rubio (ETS de Ingenieros de Minas, Madrid) e Ignacio Gracia Manarilla (ETS de Ingenieros Industriales, Sevilla), directores de la investigación de tesis doctoral que sirvió de base para realizar el presente trabajo.

R E S U M E N

Se ha realizado un estudio de la calidad química de las aguas de la Vega de Granada en base a la analítica realizada en septiembre de 1983 sobre 92 muestras de agua. Resultado de este estudio ha sido la obtención de una tasa de potabilidad inferior al 50 por 100, tras aplicar rigurosamente la vigente Reglamentación española.

Los iones magnesio, sulfato y nitrato han sido los que en un mayor número de muestras sobrepasaron los límites de tolerabilidad establecidos. Dignos de preocupación han resultado ser los procesos de contaminación detectados, tanto de origen agrícola como de origen urbano.

R É S U M É

On a fait une étude de la qualité chimique des eaux de la Vega de Granada d'accord aux analyses faites en Septembre de 1983 sur 92 échantillons d'eau. Le resultat de cette étude a été l'obtention d'une taux de potabilité inférieure au 50 %, après l'application minutieuse de la Reglementation espagnole en vigueur. Les ions Mg^{++} , SO_4 et NO_3 ont été ceux qu'ont surpassé les limites de tolerance établis dans un plus grand nombre d'échantillons. Les procès de contamination détectés tant d'origine agricole que de procedence urbaine, sont dignes de preoccupation.

A B S T R A C T

An hydrochemical study about the groundwater quality of Granada Basin aquifer (Southern Spain) has been carried out. The results so obtained show that the 50 % of the analysed samples don't attain the minimum values required for water-supply purposes, according with the national standards, mainly in relation with the high

magnesium, sulfate and nitrate concentrations. The occurrence of some other groundwater contamination processes and those related with agricultural practices and urban waste-waters infiltration- is also discussed.

BIBLIOGRAFIA

- «BOE» (1982): Reglamentación Técnico-sanitaria para el abastecimiento y control de calidad de las aguas potables de consumo público. 29 de junio de 1982. Real Decreto 1423.
- «BOE» (1984): Aditivos y coadyuvantes autorizados para tratamientos de las aguas potables de consumo público. 9 de mayo de 1984. Resolución 9973.
- CASTILLO MARTÍN, A. (1985): «Estudio hidroquímico del acuífero de La Vega de Granada». 567 páginas. Tesis doctoral. Universidad de Granada.
- INE (1984): Censo de la población de España de 1981. Nomenclátor de Granada, 44 páginas. Madrid.
- GÓMEZ, G. (1984): «Estudio químico y taxonómico de la cuenca del Nervión-Ibaizábal». Tesis doctoral. Universidad del País Vasco.
- RODIER, J. (1978): «L'analyse de l'eau. Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer». Ed. Dunod. 1.059 páginas. París.