

Contenido en cloruros de las precipitaciones al sur de Sierra Nevada (Granada). Aplicación a la evaluación de recursos hídricos

Chloride contents in the precipitations to the south of Sierra Nevada (Granada, Spain). Application to the evaluation of water resources

J. Cardenal, J. Benavente y J. J. Cruz-Sanjulián

Instituto del Agua. Universidad de Granada. c/Rector López Argüeta s/n.18071 Granada

ABSTRACT

The chloride contents of precipitation in some stations located to the south of Sierra Nevada (Granada, Spain) have been monitored. The average values obtained in each station range between 2 and 17 mg/l, controlled mainly by the distance to the sea. A number of small triassic carbonate outcrops in this area have been selected to evaluate the aquifers recharge using the Cl^- throughput method. The infiltration values so obtained, from 13 to 65%, show a well-marked altitudinal control due to the decrease of the evapotranspiration rate with the increasing height of intake sectors. These results have been compared with those obtained by the application of the Turc, Coutagne and Thornthwaite methods. The latter has also been applied both on a monthly (the usual procedure) and a daily basis, which seems to be more representative of the semiarid climatic conditions that prevail in the low-altitude sectors of the studied area.

Key words: Cl^- groundwater content, evapotranspiration, water resources, carbonate aquifers, south Spain.

Geogaceta, 16 (1994), 3-6
ISSN: 0213683X

Introducción

En la evaluación de recursos hídricos se utilizan frecuentemente fórmulas empíricas para la estimación de la evapotranspiración real y la correspondiente precipitación efectiva, o lluvia útil, que, a su vez, se invierte en producir escorrentía superficial e infiltración, en diferente proporción según las características (permeabilidad, topografía, etc.) del área considerada. Entre tales fórmulas, las más empleadas son aquellas que requieren un menor número de variables meteorológicas de partida y cálculos relativamente sencillos. En particular, es muy frecuente la utilización de la fórmula de Thornthwaite para el cálculo de la evapotranspiración potencial mensual, complementada con un balance de agua en el suelo para obtener valores mensuales de evapotranspiración real y lluvia útil. También son muy utilizadas las fórmulas de Turc y de Coutagne, a partir de datos anuales de precipitación y temperaturas medias.

La comprobación experimental, mediante instalaciones lisimétricas, de los resultados obtenidos con estas fórmulas no es factible en acuíferos inte-

grados por macizos rocosos, particularmente en los carbonatados, debido a la imposibilidad de reproducir con tales instalaciones el comportamiento a otra escala en un medio típicamente heterogéneo y anisótropo. En tal caso, la aproximación más válida es mediante el control hidrogeológico exhaustivo de pequeños sistemas, cuyo elevado coste es un factor altamente restrictivo.

Otra posible comprobación experimental la proporciona el denominado balance de cloruros, basado en determinar el contenido en dicho anión en muestras de agua de precipitación y de infiltración en un área concreta. En Schoeller (1962) y Custodio (1983) se describe el fundamento de este método y las hipótesis que hay que admitir al respecto; un análisis más detallado del mismo, y de las particularidades que reviste su aplicación en zonas áridas y semiáridas, se trata en Lerner *et al.*, (1990).

En los últimos años se han llevado a cabo distintos estudios hidrogeológicos regionales de acuíferos situados al Sur de Sierra Nevada, en la provincia de Granada, en los que los recursos hídricos se han evaluado mediante las fór-

mulas empíricas antes citadas (Benavente, 1982; Almécija, 1984; Al-Alwani, 1992). En la prolongación oriental del área estudiada, Padilla y Pulido-Bosch (1986) consideran más exacta la aplicación del método de Thornthwaite a nivel diario, al igual que comprueba López-Arechavala (1983) en un sector situado más hacia el Este, de marcado carácter semiárido.

En este trabajo se describen los resultados obtenidos por el método del balance de cloruros y se comparan dichos resultados con los que resultan del empleo de las fórmulas de Thornthwaite, a nivel mensual y diario, Turc y Coutagne. El trabajo de Cardenal (1993) facilita una información más detallada sobre las características hidrogeológicas del área y sobre los métodos de investigación utilizados.

Datos de partida y su tratamiento

En la figura 1 se indica la localización de las estaciones utilizadas para el muestreo del agua de precipitación. Se ha intentado distribuir dichas estaciones homogéneamente en el área estudiada

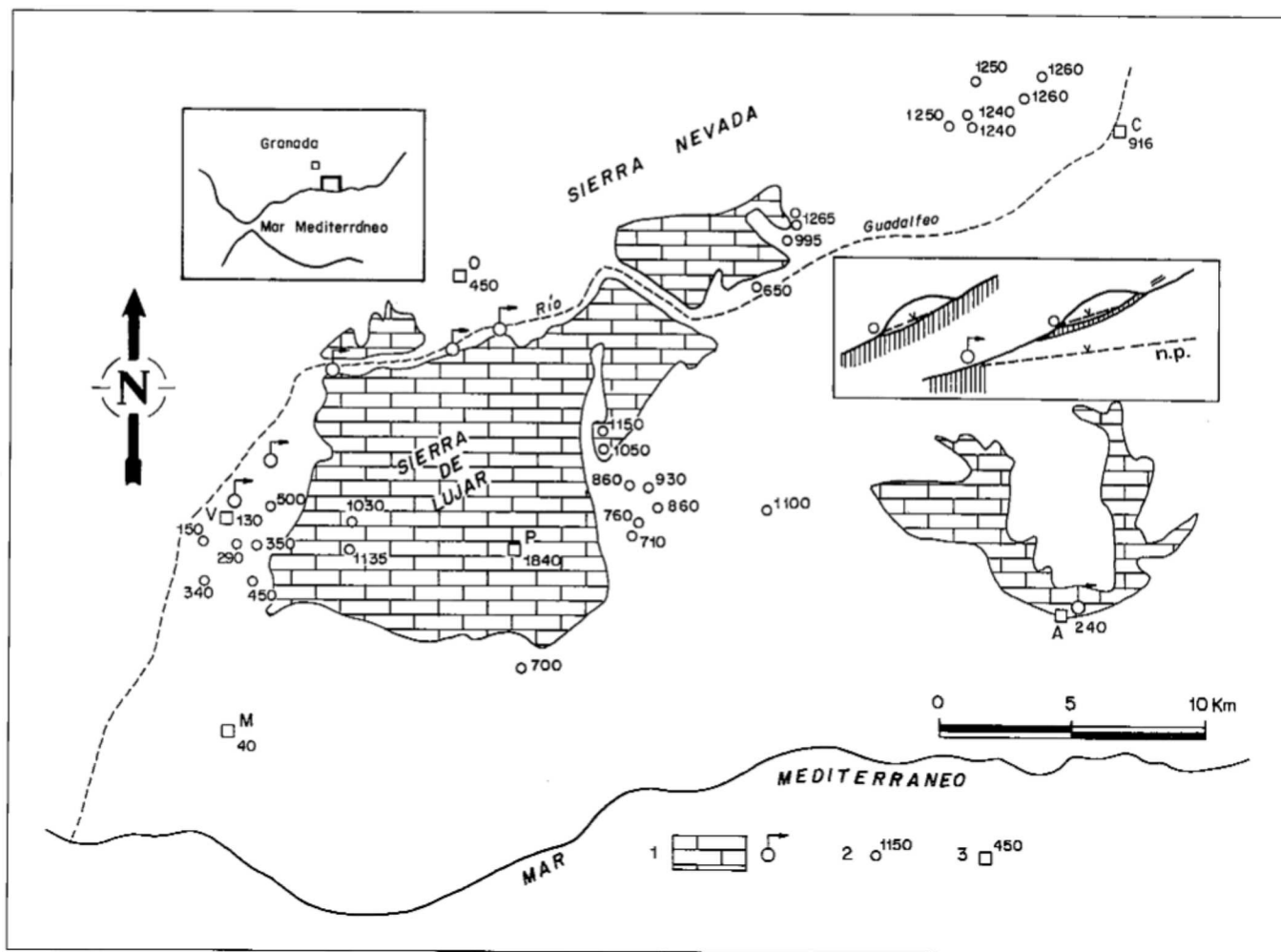


Fig. 1.—Situación y esquema hidrogeológico del área estudiada. 1: Afloramientos del acuífero de Sierra de Lújar-Albuñol y situación de los puntos más significativos de drenaje natural del mismo. 2: Surgencias utilizadas para el muestreo de Cl^- en aguas de infiltración y cota (m) aproximada de recarga. 3: Estaciones de muestreo de Cl^- en precipitaciones y cotas aproximadas (m). A: Albuñol, C: Cádiar, M: Motril, O: Orgiva, P: Los Pelaos (cumbre de Sierra de Lújar) y V: Vélez de Benaudalla. Los cortes (sin escala) ilustran sobre la geometría de los pequeños acuíferos «colgados» y sus relaciones con el acuífero principal; las rayas verticales indican materiales impermeables; n.p. : nivel piezométrico. Ver texto para más detalles.

Fig. 1.—General location and hydrogeological sketch of the study area. 1: Outcrops of the Sierra de Lújar-Albuñol aquifer and situation of the more significant springs that drain it. 2: Discharge points used for the Cl^- sampling and approximate altitude (m) of the recharge areas. 3: Sampling stations for Cl^- in precipitation waters and their approximate altitude (m). A: Albuñol, C: Cádiar, M: Motril, O: Orgiva, P: Los Pelaos (Sierra de Lújar highest peak) and V: Vélez de Benaudalla. The cross sections (not to scale) illustrate on the geometry of the small, «perched» aquifers and their relationships with the regional aquifer; vertical lines indicate impermeable materials; n.p. : piezometric level. See text for more details.

de modo que, además, proporcionen información de un rango altitudinal lo más amplio posible. Los datos analíticos obtenidos, 33 en total, corresponden a muestras integradas de varios días de lluvia y, en otros casos, a eventos aislados de precipitación, recogidas entre febrero de 1990 y marzo de 1991.

En cuanto a las muestras del agua de infiltración, se han seleccionado las correspondientes a las 27 surgencias cuya localización y altitud se indica en la figura 1. Se trata de puntos que representan el drenaje de la franja epikárstica y/o de afloramientos colgados, de extensión muy reducida, de manera que la cota del

área de recarga se ha asimilado a la de la surgencia, aunque en algunos casos en que el afloramiento era cartografiable, a escala 1/50.000, se ha considerado la cota media de éste. No se han tenido en cuenta los puntos significativos de descarga natural del acuífero de Sierra de Lújar-Albuñol, el principal del área, tanto por la dificultad de identificar las cotas medias de las correspondientes zonas de recarga como por la posibilidad de que una parte del contenido en cloruros haya sido aportado por las rocas del acuífero (Cardenal, 1993). Todos los puntos seleccionados son, pues, manantiales de caudal medio de orden del litro

por segundo o inferior, de baja mineralización y facies bicarbonada cálcica o cálcico-magnésica. La mayoría de las muestras han sido tomadas en los meses de marzo de 1991 y 1992. En dos puntos se ha llevado a cabo un control hidroquímico periódico, en el que se han tomado ocho muestras entre julio de 1991 y junio de 1992; este control ha puesto de manifiesto que no existen variaciones estacionales significativas en el contenido de cloruros.

En relación con la estimación de la evapotranspiración, cabe señalar que el periodo de tiempo que se ha utilizado en dicha estimación no es homogéneo en

ESTACION: Sierra de Lújar
 ALTITUD: 1840 m
 Pmedia: 741 mm (1966/67-1974/75)
 Tmedia: 9.0°C

ESTACION: Albuñol
 ALTITUD: 700 m
 Pmedia: 486 mm (1987/88-1991/92)
 Tmedia: 16.3°C

ESTACION: Vélez Benaudalla
 ALTITUD: 130 m
 Pmedia: 434 mm (1987/88-1991/92)
 Tmedia: 18.4°C

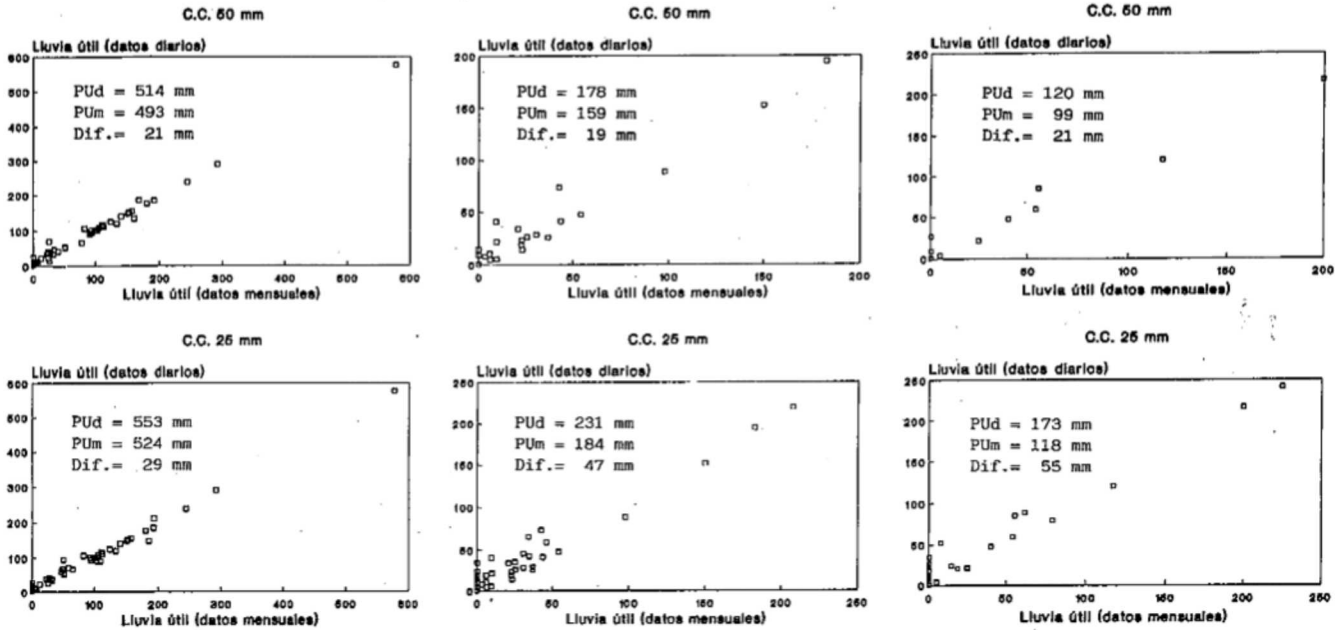


Fig.2.—Comparación entre los valores mensuales de lluvia útil (PU) obtenidos por el balance de agua en el suelo (Thorntwaite) a partir de datos mensuales (m) y los calculados a partir de datos diarios (d), para dos valores de capacidad de campo en tres de las estaciones consideradas. Se indican también los correspondientes valores medios anuales y la diferencia entre ambos para cada estación.

Fig.2.—Monthly values of effective precipitation (PU) obtained by the water-soil budget (Thorntwaite): plot of the values calculated from monthly data (m) versus those calculated from daily data (d), for two field capacity values in three of the stations considered. The correspondent average year values are also indicated for each station as well as the difference between them.

Estación	Altitud	Pm	ETR (Turc)		ETR (Cout)		ETR (Thornt)*		ETR (Cl)
Vélez Benaudalla	130	434	392	90%	378	87%	261	60%	85-90%
Albuñol	700	486	415	85%	409	84%	255	52%	70-75%
Sierra de Lújar	1840	741	436	59%	474	64%	188	25%	<30%

* Balance a partir de datos diarios y con capacidad de campo de 25 mm

Tabla I.—Comparación de los valores de evapotranspiración real (ETR, en mm/año y/o en % respecto de la precipitación media anual, Pm) obtenidos según distintos métodos. Ver texto y fig. 2 para más información.

Table I.—Comparison of the actual evapotranspiration values (ETR, in mm/year and/or in % from the average yearly precipitation, Pm) obtained using different methods. See text and fig. 2 for more information

todas las estaciones consideradas, debido a la falta de datos térmicos y/o pluviométricos en alguna de ellas. En el caso de Albuñol, los resultados corresponden a una estación ficticia a 700 m de altitud, que representa la cota media del afloramiento permeable; para ello se han empleado gradientes orográficos de precipitación y temperatura procedentes de los estudios regionales antes citados.

Resultados y discusión

En la figura 2 se han representado los resultados de la estimación de la lluvia útil (Thorntwaite) tanto a nivel diario como mensual en tres estaciones. En ella se aprecia como las diferencias aumentan para valores de dicha variable inferiores a 50 mm/mes. En los balances a nivel mensual se valora por defecto la

lluvia útil, tanto más cuanto menor sea la capacidad de campo. Este efecto se acentúa, en el área estudiada, en las zonas de menor altitud, debido a que la evapotranspiración potencial es muy alta y la precipitación escasa y repartida irregularmente.

Los valores medios ponderados obtenidos para el contenido en cloruros del agua de precipitación varían aproxima-

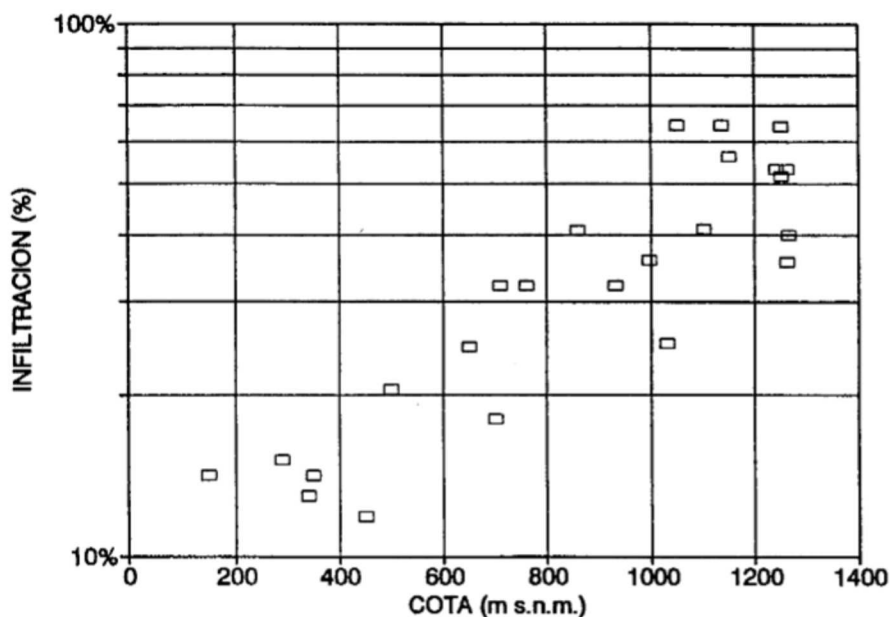


Fig. 3.—Infiltración (calculada a partir del balance de Cl⁻) versus cota del área de recarga para las surgencias consideradas.

Fig. 3.—Infiltration (calculated from the Cl⁻ method) versus altitude of the intake area for the springs considered.

damente entre 3 mg/l (Orgiva-Cádiar) y 17 mg/l (Motril). En Vélez de Benaudalla y en la cumbre de Sierra de Lújar se obtienen valores similares, del orden de 4.5 mg/l. Es, pues, patente el efecto de distancia al mar, mientras que la altitud de las estaciones apenas parece influir.

Los contenidos en cloruros en las aguas de las surgencias consideradas varían entre 7 y 38 mg/l; los valores más altos se obtienen en puntos situados a cotas bajas, entre 150 y 500 m, en los sectores más próximos al mar. En general, se aprecia claramente un progresivo empobrecimiento en las concentraciones a medida que aumenta la cota del área de recarga, hecho que también identifica Bakalowicz (1979) y lo atribuye al efecto de dilución del cloruro en el agua de precipitación al aumentar la cantidad de ésta con la altitud, a lo que hay que añadir el efecto de la mayor

evapotranspiración existente a cotas bajas.

Los coeficientes de infiltración estimados por el método del balance de cloruros en los afloramientos dispersos estudiados han sido muy variables, entre el 13 y el 65%. La figura 3 indica la estrecha relación de dicho parámetro con la altitud, debido al menor grado de evapotranspiración a cotas crecientes, tal y como ponen de manifiesto Blavoux y Mudry (1993) en el sistema kárstico de Vaucluse.

Conclusiones

En la tabla I se resumen los resultados de la estimación de la evapotranspiración real con los distintos procedimientos empleados. Se puede concluir que, para afloramientos situados a cotas elevadas, la aplicación del método de

Thornthwaite —preferentemente a nivel diario, aunque a esas altitudes la variación respecto al nivel mensual es escasa— o el del balance de cloruros parece más aconsejable que la de las fórmulas de Turc o Coutagne. A cotas bajas, por el contrario, el método de Thornthwaite proporciona cifras de evapotranspiración real aparentemente bajas, lo cual es coherente con lo afirmado por Martín-Arnaiz (1983) para zonas áridas y semiáridas.

En cualquier caso, y siempre dentro del contexto geográfico aquí considerado o en sectores adyacentes, la gráfica de la figura 3 supone una cierta aproximación para la estimación de los recursos de los acuíferos carbonatados a partir de su altitud, cuando no se dispone de otro tipo de datos.

Referencias

- Al-Alwani, G. (1992). Tesis Licenciatura Univ. Granada (inédita). 212 p.
- Almécija, C. (1984). Tesis Licenciatura Univ. Granada (inédita). 286 p.
- Bakalowicz, M. (1979). Tesis Doctoral Univ. Pierre et Marie Curie, París. 269 p.
- Benavente, J. (1982). Tesis Doctoral Univ. Granada (inédita). 435 p.
- Blavoux, B. y Mudry, J. (1993). In *Hydrogeological Processes in Karst Terrains* I.A.H.S. Publ. no.207 : 327-333.
- Cardenal, J. (1993). Tesis Doctoral Univ. Granada (inédita). 402 p.
- Custodio, E. (1983). In *Hidrología Subterránea*, 2ª ed., Ed. Omega. T I: 1003-1095.
- Lerner, D., Issar, A.S. y Simmers, I. (eds.) (1990). *Groundwater Recharge*. I.A.H. Publ. V.8. 345 p.
- López-Arechavala, G. (1983). III Simp. Hidrogeología. 8 p. Madrid.
- Martín-Arnaiz, M. (1983). In *Hidrología Subterránea*, 2ª ed. Ed. Omega. T.I. : 281-350.
- Padilla, A. y Pulido-Bosch, A. (1986). II Simp. Agua en Andalucía. T. II : 631-636. Granada.
- Schoeller, H. (1962). *Les eaux souterraines*. Ed. Masson et Cie. 642 p.