

LA ESTIMACIÓN DE LA RECARGA NATURAL AL ACUÍFERO DEL NORTE DE GRAN CANARIA: COMPARACIÓN DE DIFERENTES METODOLOGÍAS

M.C. CABRERA*/, F. DE PAOLI*, G. NARANJO*, T. CRUZ-FUENTES*, M.P. HERNÁNDEZ-QUESADA*, E. ESTEVEZ*, L.F. MARTÍN*/*** y E. CUSTODIO******

- (*) Departamento de Física. Instituto de Estudios Ambientales y Recursos Naturales (iUNAT) Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Campus Universitario de Tafira. 35017 Las Palmas de Gran Canaria. mcarmen.cabrera@ulpgc.es; fa.depaoli@gmail.com; gnaranjo@proyinves.ulpgc.es; tcruz@proyinves.ulpgc.es; eestevez@proyinves.ulpgc.es
(**) Instituto IMDEA Agua, Alcalá de Henares, Madrid
(***) Consejo Insular de Aguas de Gran Canaria luifer.martin@ulpgc.es
(****) Dpto. de Ingeniería Civil y Ambiental. Universidad Politécnica de Cataluña (UPC). Jordi Girona, 1-3. 08034 Barcelona. emilio.custodio@upc.edu

RESUMEN

La evaluación de la recarga al acuífero del Norte de Gran Canaria dentro del proyecto REDESAC ha sido objeto de estudio mediante la utilización de diferentes metodologías. Su estimación mediante el método del Balance de Cloruros de origen atmosférico dio como resultado una recarga aproximada del 24% de la precipitación, lo que supone unos 28 hm³/año, que debe ser considerada como un valor medio multianual. El cálculo del balance de agua en el suelo ha sido llevado a cabo utilizando el código Easy-Bal, arrojando un resultado del 13% de la precipitación (15 hm³/año) y el código Visual-Balan con un resultado medio del 19% de la precipitación (34,3 hm³/año). La incertidumbre asociada es alta, aunque puede minimizarse con el uso de series largas de datos. Además, en el caso de los balances de agua en el suelo la incertidumbre aumenta debido a la falta de datos sobre algunos parámetros y a que los resultados no pueden ser validados porque no existen caudales de descarga evaluables o datos piezométricos representativos medibles. Por ello, la comparación entre los resultados de diferentes metodologías y la consecución de nuevos datos más fiables son los únicos modos de rebajar la incertidumbre asociada.

Palabras clave: *Recarga, balance de cloruros, balance de agua en el suelo, acuífero volcánico, Gran Canaria*

INTRODUCCIÓN

La recarga de un acuífero es un fenómeno natural muy complejo, con notable variabilidad espacial y temporal y que entraña una notable incertidumbre. Dado que su cuantificación es crucial para una correcta conservación, explotación y gestión de las aguas subterráneas, hay

que abordar su evaluación mediante diversas técnicas lo más independientes entre sí como sea posible para, comparando los resultados, determinar la bondad de las estimaciones realizadas (CUSTODIO et al., 1997).

La recarga al acuífero del Norte de Gran Canaria ha sido objeto de estudio dentro del proyecto de investigación REDESAC (MINECO; CGL2009-12910-C03) dado que es el área del acuífero insular donde se presupone más alta. Primeramente se ha llevado a cabo el cálculo de la recarga mediante el método del Balance de Cloruros de origen atmosférico (CRUZ-FUENTES et al., 2012; CABRERA et al., 2013; NARANJO et al., 2014; NARANJO et al., 2015b) y posteriormente la estimación mediante el balance de agua en el suelo utilizando diferentes códigos (NARANJO et al., 2015a; DE PAOLI, 2016). El objetivo de la presente comunicación es presentar los resultados obtenidos mediante el balance diario de agua en el suelo aplicando el código Visual-Balan (SAMPER et al., 1999). Además, se ha sintetizado y comparado los resultados obtenidos por las diferentes metodologías discutiendo las dificultades encontradas.

EL ÁREA DE ESTUDIO

La zona de estudio se localiza al noreste de Gran Canaria y tiene una superficie de 312 km² (Figura 1). En superficie afloran los materiales más jóvenes y permeables, con suelos poco retentivos de agua y vegetación de moderada densidad, lo que favorece la recarga. El clima en la zona es muy variable de costa a cumbre debido a la gran variación altitudinal y la dirección predominante de los vientos alisios, con una precipitación media ponderada para la zona de estudio de 389 mm/a. Las temperaturas máximas y mínimas medias anuales varían entre 14°C en las cumbres y 21°C en la costa, con una temperatura media de 18°C.

En la zona de estudio afloran lavas e ignimbritas recientes del Grupo Roque Nublo y Formaciones Post-Roque Nublo (5,0 Ma-actualidad) y sedimentos de la Fm. Detrítica de Las Palmas, aunque los pozos explotan normalmente los materiales del Grupo Roque Nublo y los materiales fonolítico-traquíticos infrayacentes (12,0-8,0 Ma). Gran Canaria constituye un acuífero único con una superficie piezométrica en forma de domo en el que la recarga natural se produce por infiltración de la lluvia en las zonas de cumbre y medianías, circulando preferentemente por los materiales volcánicos más recientes. Actualmente la descarga se produce al mar y mediante las extracciones de pozos y galerías, que han ido sustituyendo a las descargas naturales intermedias por manantiales que existían donde afloran materiales menos permeables o en valles profundos (SPA-15, 1975; CUSTODIO Y CABRERA, 2008; CUSTODIO et al., 2016). La superficie piezométrica en la zona de estudio se encuentra a una profundidad media mayor de 100 m, existiendo una gran cantidad de captaciones en funcionamiento de las que no se conoce el régimen de explotación.

La escorrentía superficial en función de la precipitación y de la máxima infiltración potencial ha sido estimada mediante la generación automática del Número de Curva con ayuda de un SIG, superponiendo los mapas de pendiente, de tipos de suelo y de usos del mismo (Figura 2) (CRUZ-FUENTES et al., 2014).

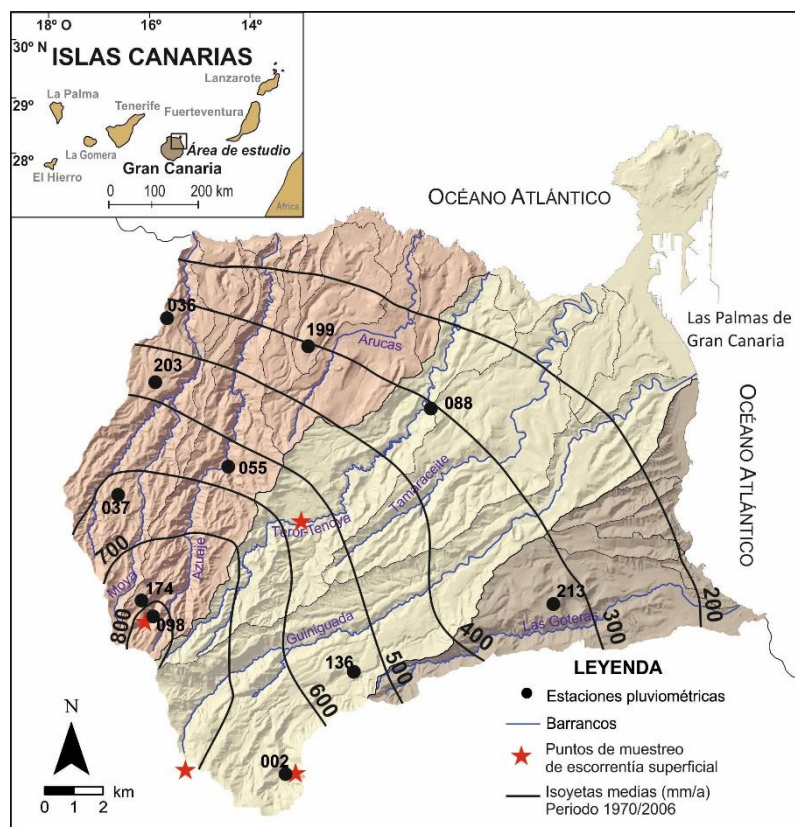


Figura 1. Localización de la zona de estudio, con las isoyetas medias calculadas entre 1970 y 2006. Se indica la situación de las estaciones pluviométricas consideradas para los cálculos de la recarga.

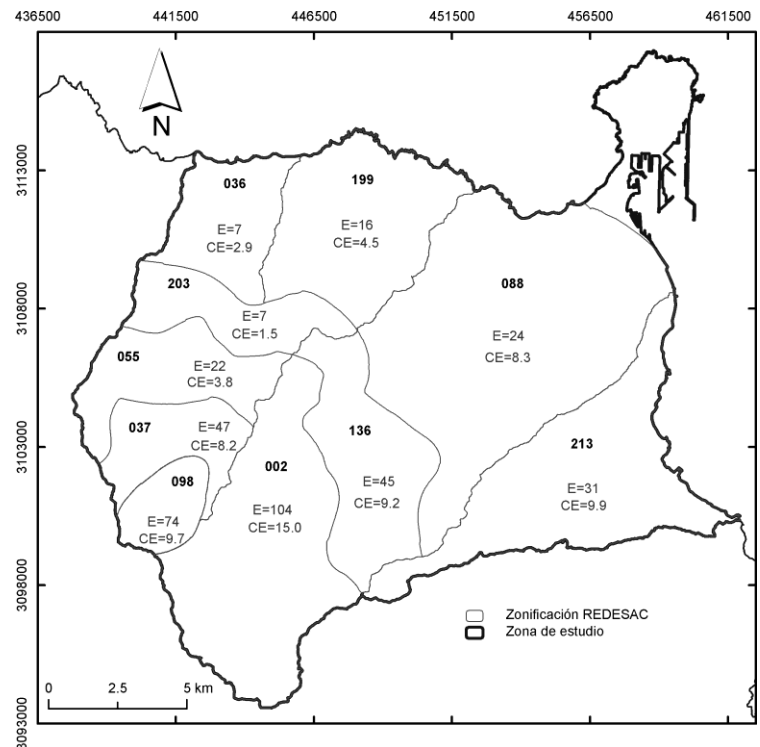


Figura 2. Zonificación y resultados de la estimación de la escorrentía superficial en la zona de estudio. E= escorrentía media anual en mm; CE: coeficiente de escorrentía media anual (%).

EL BALANCE DE CLORUROS DE ORIGEN ATMOSFÉRICO

El cálculo de la recarga a partir del balance de masa del cloruro atmosférico se basa en la ecuación: $R \cdot Cl_R = D_p - E \cdot Cl_E$; donde R es la recarga; E es la escorrentía superficial; D_p es la deposición total de cloruros y Cl_R y Cl_E son las concentraciones de cloruros en la recarga y la escorrentía respectivamente. Los contenidos en cloruros del agua de lluvia se obtuvieron a partir de 10 colectores distribuidos a diferentes alturas, que coinciden con estaciones pluviométricas (Figura 1). Los muestreos se llevaron a cabo entre 2008 y 2014 y entre 2010 y 2014, dependiendo de los colectores.

El área de estudio se discretizó en tres cuencas (Figura 1) considerando tres zonas altitudinales atendiendo a las isoyetas de 400, 600 y >600 mm/año. El cálculo se realizó extrapolando los datos de los contenidos en Cl de la precipitación (Cl_p) obtenidos en los colectores según sus áreas de influencia. Los valores de Cl_R se estimaron a partir del mapa de isocloruros de aguas subterráneas elaborado después de eliminar los puntos de agua con contenidos en nitratos mayores de 10 mg/L para evitar el efecto de los retornos de riego. Los Cl_E considerados se tomaron a partir del muestreo de agua de escorrentía que se llevó a cabo en momentos de tormenta, haciendo una extrapolación con la altura de toma. Según estos cálculos, la recarga total asciende a unos 28 $hm^3/año$, lo que representa un 23% de la precipitación, siendo mayor en la altitudes medias y altas que en la costa (Figura 3). La incertidumbre calculada es alta, oscilando el coeficiente de variación entre 0,3 y 0,4 (NARANJO et al. 2015b). Se trata de un valor medio interanual que no puede ser calibrado en la zona, cuya validez depende del buen conocimiento de los valores utilizados.

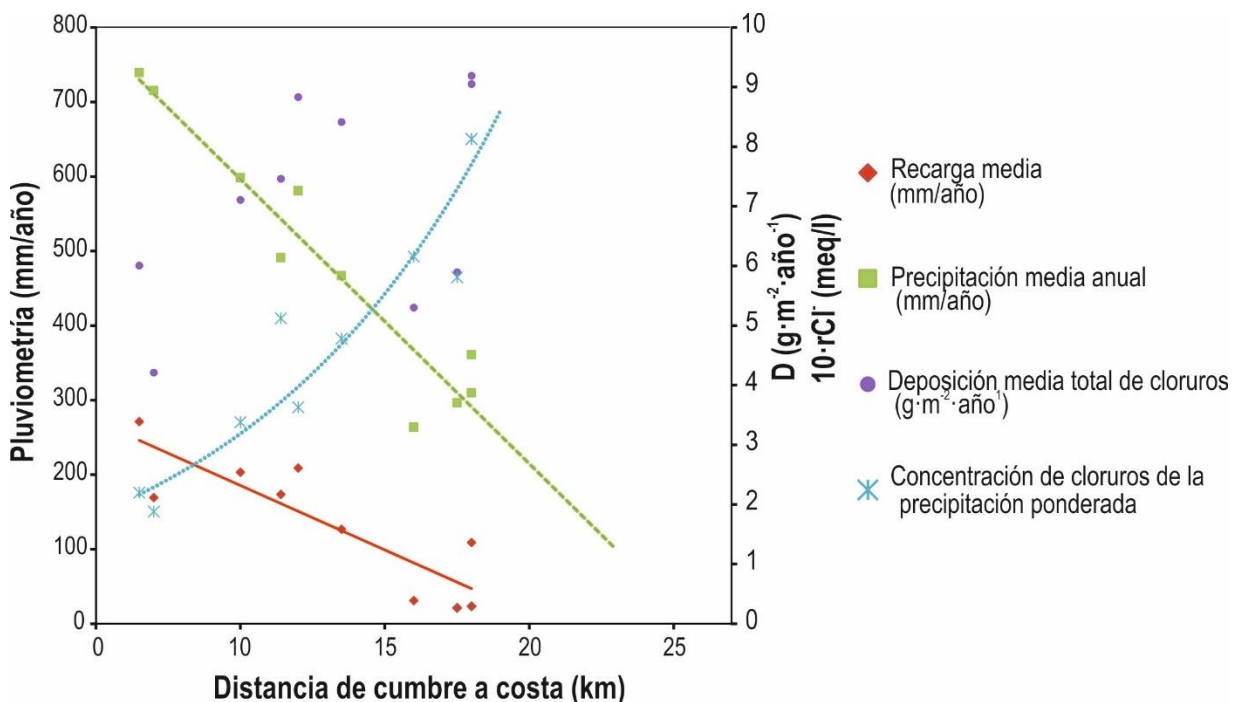


Figura 3. Distribución de la pluviosidad, concentración de Cl en la precipitación (Cl_p) y recarga media según la distancia a la costa en la zona de estudio.

EL BALANCE DIARIO DE AGUA EN EL SUELO

El balance diario del agua en el suelo se ha llevado a cabo considerando las mismas tres cuencas que en el balance de cloruros anteriormente expuesto. Primeramente se calculó con la hoja de cálculo Easy-Bal 3.0, considerando la recarga natural entre 1980 y 2013 (NARANJO et al., 2015a). Este programa simplificado requiere introducir los parámetros del suelo: espesor, capacidad de campo y punto de marchitez permanente, la pluviometría diaria y el umbral de escorrentía y partiendo de una situación dada de humedad inicial. Los datos de suelo fueron estimados para las áreas consideradas a partir de 8 perfiles detallados de suelo obtenidos de la bibliografía (SÁNCHEZ et al.1995). La ETR diaria procede de dos estaciones agroclimáticas de la red SIAR existentes en la zona para aquellas estaciones pluviométricas que se consideró que se encontraban en su radio de influencia. Para el resto de las zonas, se estimó la ETR corrigiendo la estimada a partir de la ETP de Thornthwaite, teniendo en cuenta las altitudes y orientaciones de las zonas. La recarga obtenida es de 15 ± 4 hm³/a, lo que supone entre el 9% y el 17% de la precipitación.

Por último se ha llevado a cabo un intento de balance diario entre 2008 y 2015 mediante el código Visual BALAN (DE PAOLI, 2016). Dado que ninguna de las estaciones meteorológicas con datos disponía del total de variables necesarias, hubo que completar las series con datos de diversas procedencias, teniendo en cuenta la cercanía, altitud y orientación. Los datos de suelo fueron extrapolados por zonas. La ETR fue calculada a partir de la ETP según la fórmula empírica de Thornthwaite, seleccionando el método Penman-Grindley modificado. El valor de la Constante radicular de Penman-Grindley (CRPG) considerado fue de 60 y el coeficiente de Penman-Grindley (CEPG) de 0.6. Estos valores fueron elegidos a partir de la bibliografía teniendo en cuenta las características de la zona de estudio y después de llevar a cabo un análisis de sensibilidad (DE PAOLI, 2016). Se introdujeron los valores para la zona no saturada y para el acuífero que se incluyen en la Tabla 1, estimados a partir de estudios previos y evaluados mediante un análisis de sensibilidad.

ZONA NO SATURADA	Tiempo de semiagotamiento del flujo hipodérmico	100.5 días
	Conductividad hidráulica vertical	5.00 mm/día
	Tiempo de semiagotamiento de la percolación	40.9 días
	Humedad inicial	50 mm
Acuífero	Coefficiente de almacenamiento	0.005
	Nivel inicial	346 m
	Nivel de referencia	387 m
	Tiempo de semiagotamiento del medio saturado	990.2 días

Tabla 1. Datos de la zona no saturada y del acuífero considerados en el cálculo del balance diario de agua en el suelo mediante el Visual BALAN.

La recarga calculada para toda la zona es de unos 34 hm³/año, lo que supone una media del 19% de la precipitación, siendo mayor en la cuenca occidental (26% de la precipitación) que en la cuenca media (17% de la precipitación) y que en la oriental (12% de la precipitación).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La tabla 2 muestra un resumen de los resultados expuestos en los apartados anteriores. Así, se puede constatar que la recarga en la zona se encuentra alrededor del 20% considerado en la

planificación hidrológica, aunque la incertidumbre es alta en todos los casos.

	Balance del ión cloruro	Balance de agua en el suelo Easy/Bal	Balance de agua en el suelo Visual BALAN
Años hidrológicos	2008/2014 - 2010/2014	1980/2013	2008/2015
Recarga media (hm ³ /año)	28	15	34.3
Recarga/Precipitación	24%	13%	19%

Tabla 2. Resumen de los cálculos de la recarga obtenidos según los diferentes métodos utilizados.

El cálculo por el balance del ión cloruro representa un valor medio interanual cuya incertidumbre es alta (coeficiente de variación de 0.3-0.4), aunque debe disminuir si se consideran series largas de datos. Asimismo incluye los errores que se cometen al suponer que los datos de las concentraciones de Cl del agua de recarga son los del agua de los pozos locales, sin considerar el efecto de ladera, que puede ser tenido en cuenta de forma analítica si se conoce la profundidad de captación del agua (CUSTODIO y JÓDAR, 2016).

El balance diario de agua en el suelo presenta múltiples dificultades que parten en un principio de la baja calidad de los datos de partida. Además, en el caso del balance realizado mediante el código Visual BALAN, los años considerados son pocos, lo que aumenta la incertidumbre de los resultados. Sin embargo, el mayor problema que presenta es que no es validable, ya que no es posible obtener valores de oscilaciones piezométricas o de descarga del acuífero que permitan calibrar los resultados. Todo ello hace que su fiabilidad sea cuestionable, aunque se trata de un valor agregado cuya validez aumenta si las series de datos son largas para soslayar la falta de los datos de partida. En ambos casos se ha constatado la necesidad de considerar la escorrentía superficial en los cálculos. En cualquier caso, la incertidumbre debe ser calculada y reducida en lo posible con series de observación más largas, lo que conlleva el mantenimiento de las redes de muestreo con vistas a las revisiones de los Planes Hidrológicos. Además, hay que hacer esfuerzos en mejorar el conocimiento de los datos de suelo y plantearse la utilización de un GIS para extrapolar de manera más rigurosa los datos de suelo y/o roca en los métodos de balance diario.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CABRERA, M.C.; NARANJO, G.; HERNÁNDEZ-QUESADA, M.P.; BENAVIDES, A.; ESTÉVEZ, E.; CRUZ-FUENTES, T.; MARTÍN, L.F. y CUSTODIO, E. (2013). *Estimación de la recarga natural a los acuíferos del Norte de Gran Canaria a partir del balance de cloruros*. N. González, E. E. Kruse; M.M Trovatto, y P. Laurencena (eds.): Temas actuales de la Hidrología Subterránea. Ed. Grupo Argentino de la AIH: 93-134.
- CRUZ-FUENTES, T.; BENAVIDES, A.; NARANJO, G.; CABRERA, M.C.; HERNÁNDEZ-QUESADA, M.P.; ESTÉVEZ, E. y CUSTODIO, E. (2012). *Estimación de la recarga natural en la zona Noreste del acuífero insular de Gran Canaria (Islas Canarias, España) mediante el balance de cloruros atmosféricos*. L.J. Lambán, T. Carceller, M. Valverde y C. Fernández-Jaúregui (eds.): Las aguas subterráneas: desafíos de la gestión para el siglo XXI. Ed. Grupo Español de la AIH, Barcelona.
- CRUZ-FUENTES, T.; NARANJO, G., CABRERA, M.C. y CUSTODIO, E. (2014). *Estimación de la escorrentía superficial mediante la generación automática del número de curva con un SIG. Aplicación al Norte e Gran Canaria (Islas Canarias, España)*. J. J. Gómez-Hernández y J. Rodrigo Ilarri (eds.): II Congreso Ibérico de las Aguas Subterráneas. Libro de actas. Ed. Grupo Español de la AIH: 217-232.
- CUSTODIO, E.; LLAMAS, M.R. y SAMPER, J. (1997). *La evaluación de la recarga a los acuíferos en la planificación hidrológica*. Asociación Internacional de Hidrogeólogos, Grupo Español-Instituto Tecnológico GeoMinero de España: 1-455.

- DE PAOLI, F. (2016). *La evaluación de la recarga al acuífero del Norte de Gran Canaria mediante el balance de agua en el suelo*. Trabajo de Fin del Máster en Gestión Costera, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, 37 pp.
- CUSTODIO, E., CABRERA, M.C.; PONCELA, R.; PUGA, L.O.; SKUPIEN, E. & DEL VILLAR, A. (2016). *Groundwater intensive exploitation and mining in Gran Canaria and Tenerife, Canary Islands, Spain: Hydrogeological, environmental, economic and social aspects*. Science of the Total Environment 557-558: 425-437.
- CUSTODIO, E. & JÓDAR, J. (2016). *Simple solutions for steady-state diffuse recharge evaluation in sloping homogeneous unconfined aquifers by means of atmospheric tracers*. Journal of Hydrology, 540: 287-305.
- DE PAOLI, F. (2016). *La evaluación de la recarga al acuífero del Norte de Gran Canaria mediante el balance de agua en el suelo*. Trabajo de Fin del Máster en Gestión Costera, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, 37 pp.
- NARANJO, G.; CRUZ-FUENTES, T.; CABRERA, M.C.; MARTÍN, L.F. y CUSTODIO, E. (2014). *Avances en la estimación de la recarga natural mediante la aplicación del método del balance de cloruros atmosféricos al acuífero del norte de Gran Canaria*. J. J. Gómez-Hernández y J. Rodrigo Ilarri (eds.): II Congreso Ibérico de las Aguas Subterráneas. Libro de actas. Ed. Grupo Español de la AIH: 619-640.
- NARANJO, G.; CABRERA, M.C.; CRUZ-FUENTES, T.; MARTÍN, L.F. y CUSTODIO, E. (2015a). *Cuantificación de la recarga natural al acuífero del Norte de Gran Canaria mediante el balance diario del agua en el suelo*. M.C. Cabrera; T. Cruz-Fuentes, V. Mendoza-Grimón y M.P. Palacios-Díaz (eds.): II Workshop “Estudio, aprovechamiento y gestión del agua en terrenos e islas volcánicas”. Libro de actas. Ed. IGME y Grupo Español de la AIH: 247-254.
- NARANJO, G.; CRUZ-FUENTES, T.; CABRERA, M.C. & CUSTODIO, E. (2015b). *Estimating Natural Recharge by Means of Chloride Mass Balance in a Volcanic Aquifer: Northeastern Gran Canaria (Canary Islands, Spain)*. Water, 7: 2952-2970.
- SÁNCHEZ, J.; RÍOS, C.; PÉREZ-CHACÓN, E. y SUÁREZ, C. (1995). *Cartografía del Potencial del Medio Natural de Gran Canaria*. Memorias y Planos. Cabildo Insular de Gran Canaria, Universitat de Valencia, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. 165 pp+planos.
- SAMPER, J.; HUGUET, L.; ARES, J. y GARCÍA-VERA, M.A. (1999). *Manual del Usuario del Programa VISUAL BALAN V.1*, Publicación Técnica de ENRESA nº 5/99, 205 pp.
- SPA-15, (1975). *Estudio científico de los recursos de agua de las Islas Canarias* (D. Fernandopullé, S. Sáenz-Oiza, R. Heras, A. Sahuquillo, E. Custodio, eds.) UNESCO–DG Obras Hidráulicas. Las Palmas de Gran Canaria/Madrid. 4 Vols.