

LOS TRABAJOS DEL PROYECTO REDESAC EN EL NORTE DE GRAN CANARIA: ESTIMACIÓN DE LA RECARGA NATURAL MEDIA MEDIANTE EL BALANCE DE CLORUROS ATMOSFÉRICOS

Gema Naranjo (*gnaranjo@proyinv.es*), Tatiana Cruz-Fuentes, Annetty Benavides, María del Carmen Cabrera, Pilar Hernández-Quesada, Esmeralda Estévez.
Dpto. de Física. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Campus de Tafira. 35017 Las Palmas de Gran Canaria.

Luis Fernando Martín. Consejo Insular de Aguas de Gran Canaria / Dpto. de Ingeniería Civil. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Las Palmas de Gran Canaria.

Emilio Custodio Gimena. Dpto. de Ingeniería del Terreno / Fundación Centro Internacional de Hidrología Subterránea. Universidad Politécnica de Cataluña (UPC). Jordi Girona, 1-3. 08034 Barcelona.

RESUMEN: El proyecto de investigación REDESAC del Plan Nacional de Investigación del Ministerio de Ciencia e Innovación está dedicado a la evaluación de la recarga a los acuíferos, con énfasis en la evaluación de su notable incertidumbre. En Canarias el proyecto se ha focalizado en la zona norte de Gran Canaria, donde se producen las mayores precipitaciones de la isla, influenciadas por los vientos alisios y la morfología del relieve. Es en este área donde también se sitúan en superficie los materiales más jóvenes y permeables de la isla, por lo que se considera la zona de mayor recarga del acuífero insular. Con los primeros datos obtenidos en el Proyecto se ha llevado a cabo el cálculo de la recarga natural mediante el método del balance del ión cloruro de origen atmosférico, considerando su carácter conservativo. Los resultados preliminares revelan que la recarga media multianual estimada supone aproximadamente un 24% de la precipitación y varía incrementándose al aumentar la altura. La aplicación de esta metodología en la zona de estudio permite una mejora en las estimaciones previas de los recursos hídricos subterráneos en este sector de la isla. Esto ayuda a mejorar los criterios de planificación a incorporar al Plan Hidrológico Insular que se elabora en cumplimiento de lo que se deriva de la transposición de la DMA a la legislación de aguas canarias, como subsidiaria de la española.

1. INTRODUCCIÓN

El conocimiento de la recarga a los acuíferos por la precipitación es esencial para la evaluación de las aguas subterráneas, para su conservación y gestión, y para mantener su papel ambiental. La recarga es un fenómeno natural muy complejo que entraña una notable incertidumbre, por lo que hay que abordar su evaluación a nivel regional mediante la utilización de diversas técnicas simultáneas, lo más independientes posible entre sí. Paralelamente, la descarga de los acuíferos a otros cuerpos de agua superficial es también difícilmente cuantificable debido a la dispersión que se produce, más aún si se realiza subacuáticamente.

La evaluación de la recarga y descarga de acuíferos en varias zonas es el objetivo del proyecto de investigación REDESAC del Ministerio de Ciencia e Innovación titulado “Procesos de recarga y descarga de acuíferos mediante trazadores naturales”. Se trata de un proyecto coordinado entre tres grupos de investigación pertenecientes a la Universidad Politécnica de Cataluña, la Universidad Politécnica de Cartagena y la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, que tiene como objetivo concreto progresar en la investigación y desarrollo de las técnicas hidrogeoquímicas e isotópicas ambientales de estimación de la recarga a los acuíferos y de su descarga, incluyendo su funcionamiento, en áreas concretas con información previa.

En Gran Canaria, los trabajos del proyecto se están llevando a cabo en el norte de la isla. Paralelamente a la caracterización hidrogeológica detallada de varias cuencas de la zona, se pretende utilizar diversas técnicas para evaluar la recarga media anual procedente de la precipitación. El objetivo es afinar en la cuantificación de este parámetro y comparar los grados de incertidumbre de los diversos métodos. La presente publicación presenta una primera estimación de la recarga media multianual mediante el balance de cloruros de aportación atmosférica en el área y recoge parte de los trabajos ya publicados en Cruz et al. (2012).

2. LA ZONA DE ESTUDIO

La isla de Gran Canaria (Islas Canarias, España) presenta una morfología cónica, cuya cota máxima se localiza en el Pico de las Nieves, a 1.949 m s.n.m., y una orografía irregular formada por una serie de profundos barrancos radiales que nacen en el centro de la isla y desembocan en el mar. El área de estudio tiene una extensión de 312 km² y se localiza en el sector noreste de la isla, ocupando las zonas hidrogeológicas N3, N4 y parte de la N2 de la zonificación hidrogeológica de Gran Canaria (PHGC 1999). Los límites norte y este están definidos por el Océano Atlántico y los límites oeste y sur coinciden con las divisorias de las cuencas hidrográficas que conforman dichas zonas (Figura 1). El clima de la zona es variable debido al gradiente altitudinal y al efecto de los vientos alisios. Predominan las condiciones climáticas características de la zona norte insular, húmeda y nubosa. La precipitación media de la zona varía entre 820 mm/a en las zonas altas y 115 mm/a en la zona de costa, con una precipitación media de 375 mm/a. Las lluvias se concentran principalmente entre los meses de noviembre y abril y se producen en gran medida en las zonas de medianías (entre los 300 y 800 m s.n.m), donde es mayor la influencia de los vientos alisios y tiene lugar la formación del característico mar de nubes. La temperatura media anual varía desde 12°C en las zonas altas a 22 °C en la costa, con una temperatura media de 18°C.

La geología de la isla tiene su origen en el vulcanismo intraplaca de punto caliente, definiéndose tres etapas de evolución: juvenil (14,5-8,0 M.a.), inactividad volcánica (8,0-5,0 M.a) y rejuvenecimiento (desde 5,0 M.a a la actualidad) (Pérez-Torrado 2008). En la zona de estudio afloran fundamentalmente lavas e ignimbritas de los grupos Roque Nublo y Post Roque Nublo, pertenecientes a la etapa de rejuvenecimiento y sedimentos de la Formación Detrítica de Las Palmas, de la etapa de inactividad volcánica. La geología profunda revela que la may-

oría de los pozos de la zona toman el agua de los materiales del grupo Roque Nublo y los materiales fonolíticos-traquíuticos infrayacentes, pertenecientes a la etapa juvenil.

El funcionamiento hidrogeológico de Gran Canaria se caracteriza por la existencia de un acuífero único insular, con una superficie piezométrica en forma de domo que alcanza máximos en el centro de la isla. 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. La descarga se produce al mar y por las extracciones de pozos y galerías, que han ido sustituyendo a las descargas naturales intermedias por manantiales (nacientes) que existían donde afloran materiales menos permeables o en valles profundos (SPA-15 1975; Custodio 1978; Custodio y Cabrera 2008). La zona de estudio constituye la principal área de recarga de la isla, dado que presenta la mayor pluviometría, menores temperaturas y condiciones edáficas favorables.

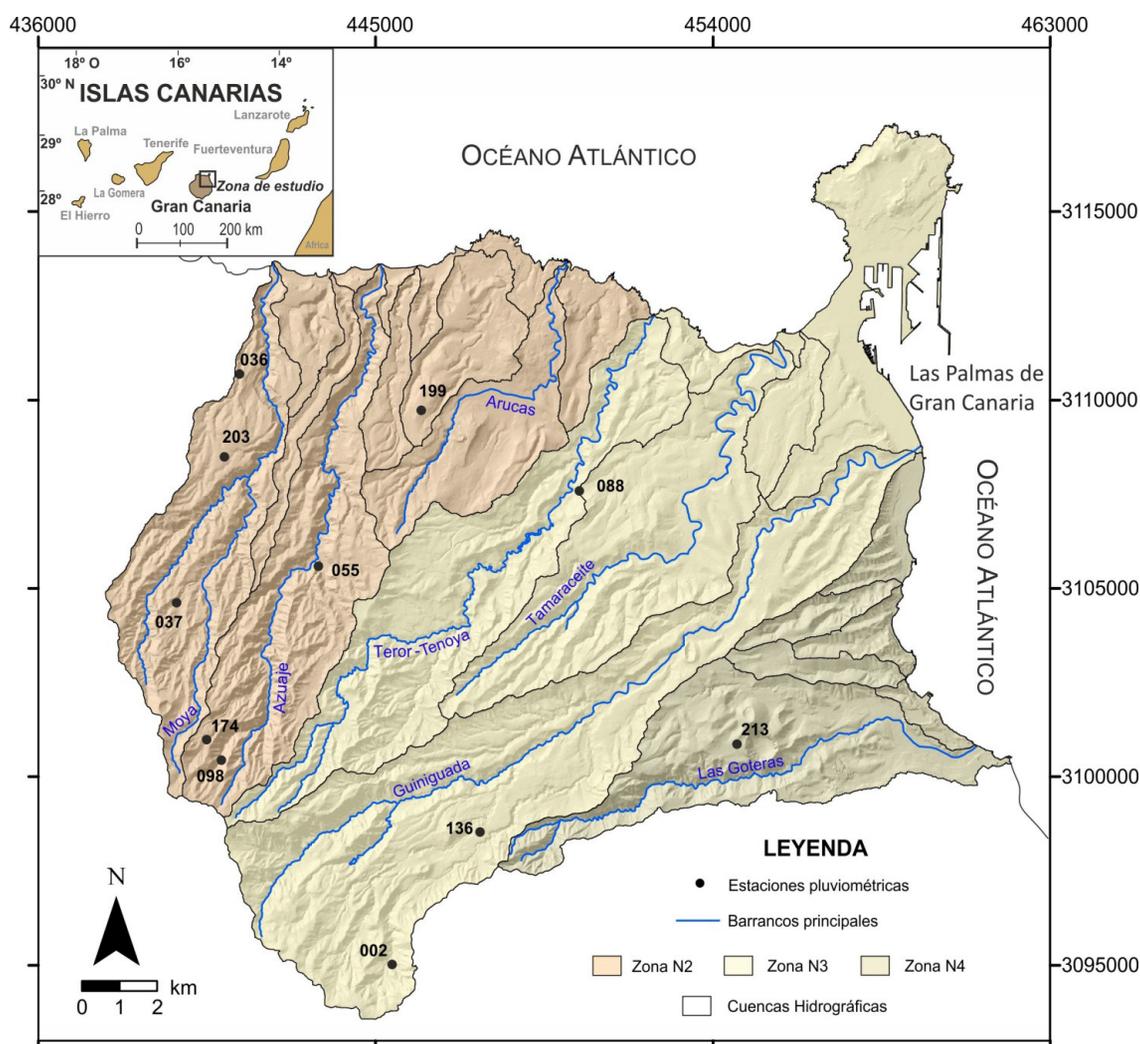


Figura 1. Localización de la zona de estudio. Se sitúan los colectores de agua de lluvia pertenecientes a la red de control que coinciden con las estaciones pluviométricas de la red de pluviómetros del CIAGC.

3. METODOLOGÍA

3.1. Recogida de muestras

Las muestras de lluvia han sido obtenidas en 10 colectores colocados a distintas altitudes, distribuidos a lo largo de las cuencas de los barrancos de Moya-Azuaje, y los barrancos Guinguada-Tenoya (Figura 1). Cada colector está situado junto a un pluviómetro que forma parte de la red de control pluviométrica del Consejo Insular de Aguas de Gran Canaria, lo que permite establecer una relación entre la muestra recogida y el dato de pluviometría registrado en dicho periodo de muestreo. Debido a las características climáticas de la zona de estudio y con el fin de recoger la mayor cantidad de muestra en cada episodio lluvioso, se utilizan a modo de colector recipientes de plástico de aproximadamente 30 L de capacidad y de boca ancha. Para evitar la evaporación durante el muestreo se añade una lámina flotante de vaselina líquida en los colectores y para evitar la destrucción de las muestras por parte de animales se cubren con una malla de plástico (Figura 2).



Figura 2. Captador del agua de lluvia en uno de los puntos de muestreo.

Las muestras de lluvia se toman mensualmente en los meses lluviosos y de forma acumulada hasta obtener el agua suficiente para su análisis en los meses menos lluviosos. Los análisis químicos en laboratorio incluyen la determinación de los iones mayoritarios, más la sílice de forma ocasional. A partir de los análisis del agua de lluvia (que integran la deposición atmos-

férica húmeda y seca) se ha estudiado la evolución espacial y la deposición atmosférica total con su componente de aerosol marino y de polvo local y sahariano.

El muestreo comenzó en octubre de 2008 (tabla 1) en las cuencas de los barrancos de Moya y Azuaje, con una red de control de agua de lluvia establecida como parte de la investigación realizada en el marco de una tesis doctoral actualmente en desarrollo (Hernández-Quesada et al. 2011) en el norte de Gran Canaria. Dicha red de control posteriormente fue ampliada hacia el noreste de la isla en febrero de 2010, hacia las cuencas de los barrancos Guinguada y Tenoya. Actualmente, y debido a la sequía que ha caracterizado el año hidrológico 2011-2012, se ha tomado la decisión de prolongarla hasta octubre de 2013, con el fin de obtener la mayor información posible para una mejor estimación de la recarga.

Junto con las muestras recogidas para su análisis químico, también se toman muestras para análisis isotópico de ^{18}O y ^2H , para una mejor caracterización del agua de lluvia y por tanto, de la recarga.

Tabla 1.- Resumen de las estaciones muestreadas.

Cuenca	Estación	Nombre	Fecha inicio muestreo	Fecha fin Muestreo	Número muestreos**	Análisis isotópicos***
AZUAJE-MOYA	036	Mondragones	06/11/2008	Activa	32	19
	037	Fontanales	31/10/2008	Activa	35	22
	055	Las Madres	30/10/2008	Activa	36	23
	098*	La Retamilla	31/08/2010	Activa	19	15
	174*	El Montañón	31/10/2008	01/07/2010	18	18
	203	Sta. Cristina	31/10/2008	Activa	34	22
GUNIGUADA-TENOYA	002	Hoya Gamonal	04/02/2010	Activa	20	17
	088	El Toscón	04/02/2010	Activa	15	13
	136	San Mateo	04/02/2010	Activa	19	17
	199	Lomo S. Pedro	04/02/2010	Activa	16	14
	213	Campo Golf	04/03/2010	Activa	14	12

* Las estaciones 174 y 098 se consideran la misma por su proximidad. **Número de campañas realizadas hasta julio de 2012 (muestreos mensuales). ***Número de análisis isotópicos realizados hasta febrero de 2012.

3.2. Cálculo de la recarga

El método de balance de cloruro atmosférico para estimar la recarga media multianual se basa en la comparación de la deposición atmosférica de cloruro (húmeda y seca) con respecto al contenido del mismo en la recarga al acuífero, suponiendo que no existe otro aporte de cloruro (Custodio et al. 1997; Custodio 2010). Se parte de la hipótesis de que el ión cloruro es conservativo en la recarga, no interacciona de forma significativa con el medio, es altamente soluble, químicamente estable y, además, de fácil medición con precisión adecuada.

En régimen transitorio y en ausencia de aportes de cloruro diferentes del atmosférico, el agua subterránea freática recibe un flujo másico que coincide con la aportación por la lluvia más la deposición seca, descontando la salida o entrada producida por escorrentía directa (Alcalá y Custodio 2007).

Para ello se requiere conocer la aportación como deposición atmosférica media de cloruro y la salida como recarga y escorrentía. El balance medio plurianual es:

$$R \cdot C_R = A_p - E \cdot C_E$$

donde,

R es la recarga ($\text{mm} \cdot \text{a}^{-1}$) para una precipitación P

A_p es la deposición de cloruro atmosférico, expresada como flujo másico ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)

E es la escorrentía ($\text{mm} \cdot \text{a}^{-1}$)

C_R y C_E las respectivas concentraciones de cloruro de la recarga y la escorrentía ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)

Los productos $P \cdot C_p$, $R \cdot C_R$ y $E \cdot C_E$ son los flujos másicos y se expresan como A_p , A_R y A_E en $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ respectivamente para un periodo anual de control. En zonas donde el valor de A_E es muy reducido, la ecuación anterior del balance se simplifica a:

$$R \cdot C_R = A_p$$

La aportación A_p es obtenida del promedio de las acumulaciones de las aportaciones de cada muestreo, de tal forma que, para un periodo de muestreo dado (i), la aportación viene dada por

$$A_p = 1 / n \sum Cl_{P_i} \cdot P_i$$

siendo,

Cl_p la concentración de cloruros en el periodo muestreado ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)

P, la precipitación registrada en el periodo de muestreo ($\text{mm} \cdot \text{a}^{-1}$)

N, número de días de dicho periodo

Debido a la falta de datos de escorrentía, y a que ésta solo se produce de forma puntual asociada a la existencia de temporales esporádicos que descargan el agua al mar o se retiene en las presas, este término no se ha tenido en cuenta en esta primera aproximación, aunque ello conlleva una sobrevaloración de la recarga en los años en que el agua corre por los barrancos. Una primera estimación de la sensibilidad a la escorrentía se ha llevado a cabo a partir de los datos de escorrentía considerados en el SPA-15 (1975). En este proyecto, se estimó que los coeficientes de escorrentía eran entre el 6-9% de la precipitación para la cuenca del barranco de Azuaje, en torno

al 18% en la cuenca del barranco de Tenoya y entre el 3-14% en la del barranco Guiniguada. Estimando una escorrentía media para la zona entre el 5% y el 10% de la precipitación, la sobrevaloración de la estimación de la recarga puede estar entre el 10 al 25%, con respecto a la estimada considerando un flujo másico de escorrentía ($E \cdot C_F$) nulo o despreciable.

4. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA DE LLUVIA Y DEL AGUA DE RECARGA

El agua de lluvia es de tipo clorurada-sódica, según reflejan los diagramas de Stiff modificados (Figura 3). La concentración de las sales disminuye con la altura, lo que es característico de zonas costeras con gran relieve y una importante componente ventosa. La concentración también varía según que la ubicación de los colectores esté en fondo de barranco o en divisoria, o en la zona de sotavento o barlovento. De forma generalizada, las mayores concentraciones son observadas en las muestras localizadas a menores cotas y tomadas durante los meses de marzo y octubre, que coinciden con los meses de menor pluviometría. Los diagramas de Stiff modificados del agua de lluvia para agosto y septiembre de 2010 (secos) y enero de 2011 (húmedos) ponen de manifiesto la diferencia de concentraciones de los iones mayoritarios en la lluvia en los meses de verano e invierno y su variación según la localización del colector.

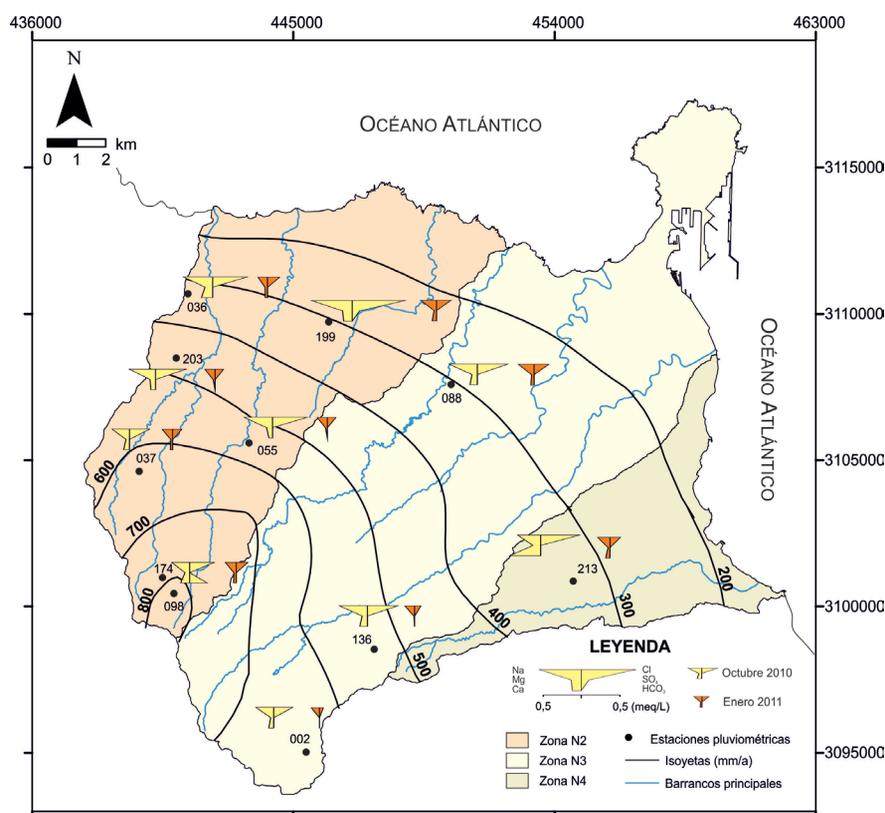


Figura 3. Diagramas de Stiff modificados del agua de lluvia para los muestreos de octubre de 2010 (mes seco) y de enero de 2011 (mes húmedo). Se muestra la distribución de las isoyetas medias (mm/a) para el periodo 1970-2006.

En la Tabla 2 se muestran los resultados de la aportación media atmosférica de cloruro en cada colector para un periodo de muestreo de octubre de 2008 hasta noviembre de 2010. Esta aportación varía desde $3,1 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ a cota 1365 m hasta $13,5 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ a cota 443 m.

Tabla 2. Cálculo de la aportación de cloruro del agua de lluvia y resultados obtenidos en la estimación de la recarga media por el método del balance del ión cloruro en cada colector. A_p = aportación media de cloruro atmosférico en el periodo estudiado. $\overline{Cl_p}$ = concentración media de cloruros de la precipitación en el periodo estudiado.

Zona	Estación	Cota (m.s.n.m.)	n Nº días	Precipitación P, mm/a	$\overline{Cl_p}$ mg/L	$A_p = \frac{1}{n} \sum Cl_p \cdot P_i$ $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$	Cl_R mg/L	Recarga R, mm/a	R/P
N2	036	375	727	298	40,9	6,23	200	31	0,10
	199	443	301	431	48,4	13,48	100	135	0,31
	055	577	761	614	18,9	8,05	40	201	0,33
	203	645	761	490	28,1	8,57	80	107	0,22
	037	990	761	637	17,3	5,85	25	234	0,37
	098-174	1400	780	844	12,6	4,98	20	249	0,29
N3	088	315	272	342	36,2	4,57	200	23	0,07
	136	841	302	525	29,9	5,54	50	111	0,21
	002	1365	302	854	10,2	3,12	15	208	0,24
N4	213	485	780	315	71,8	12,66	400	32	0,10

El contenido en cloruro del agua de recarga ha sido estimado en función de los análisis químicos de las aguas subterráneas del lugar, que se supone que representan la recarga local. Esto puede suponer un cierto sesgo, con efectos que pueden crecer cuanto menor es la cota a causa de contribuciones de agua de procedencia más alta (Custodio 2010), pero este efecto se considera poco significativo para los pozos “canarios”, que son poco penetrantes. La salinidad de las aguas subterráneas aumenta de cumbre a costa (SPA-15 1975), lo que se refleja en el mapa de isocloruros de las aguas subterráneas (Figura 4). Este mapa se ha elaborado con las medianas de los análisis de 177 muestras correspondientes al año 1997 existentes en la Base de Datos del Consejo Insular de Aguas de Gran Canaria, eliminando los pozos con alta concentración de nitratos para evitar la influencia del aporte de cloruros no atmosféricos procedentes de los retornos de riego.

5. BALANCE DE CLORURO. ESTIMACIÓN DE LA RECARGA NATURAL

Para el cálculo de la recarga, la concentración de cloruro del agua recargada en el área de cada colector ha sido obtenido a partir del mapa de isocloruros en las aguas subterráneas (Figura 4). Los resultados de la estimación de la recarga se muestran en las Tablas 2 y 3. Los

porcentajes de recarga estimados para cada colector oscilan entre un 7% y un 37% de la precipitación media y dependen de la altitud y la cuenca donde éstos se localizan.

Estos cálculos permiten estimar una recarga media total en la zona de 131 mm/a (31,5 hm³/a) para una superficie de 312 km², lo que supone un promedio del 24% de la precipitación media.

En la estimación de la recarga los términos son inciertos, lo que hace que la recarga estimada también lo sea. La variabilidad natural de la recarga se puede expresar en términos absolutos a través de su desviación estándar, σ_R , o en términos relativos a través de su coeficiente de variación, $CV_R = \frac{\sigma_R}{R}$ (Alcalá y Custodio 2007).

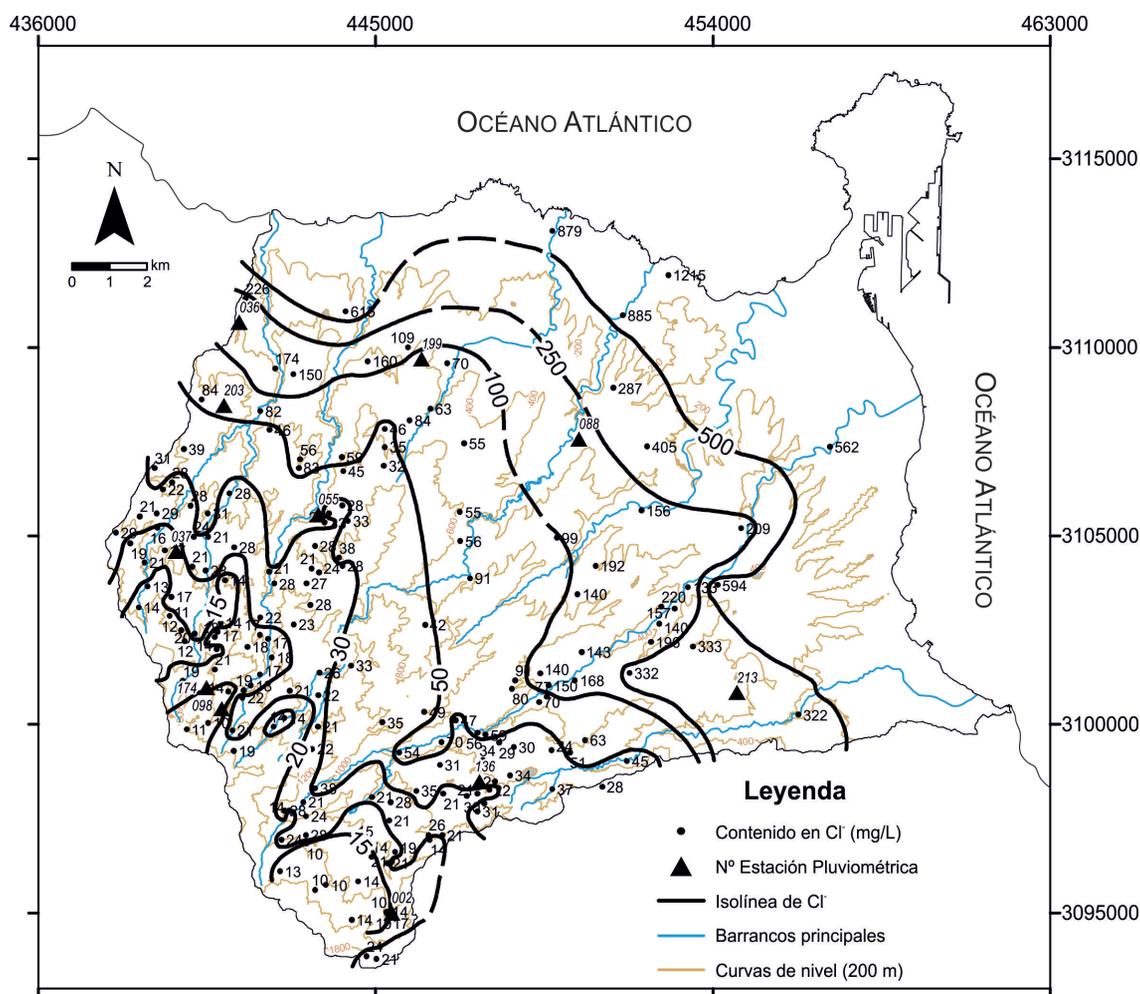


Figura 4. Mapa de isocloruros (mg/L) de las aguas subterráneas, elaborado con datos del inventario de puntos de agua realizado por el Consejo Insular de Aguas de Gran Canaria en 1997.

Tabla 3. Precipitación media anual y recarga media anual estimada (mm/a y hm³/a) (2009-2010) para la zona norte de Gran Canaria. El área baja se localiza por debajo de la isoyeta de 400 mm/a, el área media desde la isoyeta de 400 mm/a hasta la isoyeta de 600 mm/a y el área alta por encima de la isoyeta de 600 mm/a. Las cifras indicadas son significativas en sus dos primeras cifras.

Zona	Área	Su- perfi- cie km ²	Precipita- ción P mm/a	Recarga R			R/P %	% Recar- ga en el área
				hm ³ /a	mm/a	hm ³ /a		
N2	Baja	57,7	233	13,5	32	1,9	1,4	12
	Media	31,7	552	17,6	187	6,0	4,5	40
	Alta	25,8	775	19,0	299	7,3	5,5	48
	Total	115,2	520	50,1	173	15,1		100
N3	Baja	69,3	247	17,8	17	1,2	0,9	8
	Media	41,7	525	21,9	158	6,6	5,0	45
	Alta	33,4	854	28,5	208	6,9	5,3	47
	Total	144,4	542	68,2	128	14,7		100
N4	Baja	43,4	238	11,1	24	1,1	0,9	69
	Media	3,2	525	1,7	158	0,5	0,4	31
	Total	46,6	382	12,8	91	1,6		100
TOTAL			481,2	131,1	131	31,5	24,0	

Para variables X_i normalmente distribuidas y caracterizadas por su valor medio \bar{X}_i y su desviación tipo S_{X_i} , la regla de propagación de errores para una función es $X=f(X_i)$

$$S_x^2 = \sum (\partial f(X_i) / \partial X_i)^2 S_{X_i}^2$$

Considerando que la escorrentía superficial sea despreciable, $\bar{R} = \bar{A} / \bar{C}$ (\bar{R} = recarga media; \bar{A} = aportación media de cloruro atmosférico; \bar{C} = concentración media de cloruro en la recarga local), y midiendo el error por el coeficiente de variación, se obtiene que $CV_R^2 = CV_A^2 + CV_C^2$.

En el área de estudio los valores de la desviación (S) son aún poco conocidos, pero con la experiencia local existente (cierta estabilidad por la deposición seca) y la comparación con estaciones de varios años de la Península Ibérica se puede establecer una primera aproximación, aunque hay variaciones de un lugar a otro aún por definir: $CV_C = 0,2$ con $CV_{CV_C} = 0,3$; $CV_A = 0,20$ con $CV_{CV_A} = 0,5$. Así resulta $CV_R = 0,28$ (28%) con una incertidumbre $CV_{CV_R} = 0,58$ (58%).

6. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El agua de lluvia en la zona de estudio es de composición clorurada-sódica, lo que es característico de zonas costeras con alta influencia marina. Se observa una marcada variación estacional en la concentración, siendo mayor durante los meses de verano debido a la disminución de las precipitaciones y el aumento de la deposición seca, ya que son los meses con mayor predominio de los vientos alisios, de procedencia marina directa y de mayor evaporación.

Los valores de aporte de cloruro a los colectores están muy influenciados por la distancia de estos al mar y su ubicación. En general, los valores más altos corresponden a las muestras tomadas en los colectores situados a cotas más bajas (Figura 1), los cuales presentan una concentración elevada de cloruro debido a la gran deposición seca, de la que una parte importante es aerosol marino (Cruz 2008). Estos valores están en consonancia con los obtenidos en otros estudios en Gran Canaria, que oscilan entre 4 y 5 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ en las cumbres y 20 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ en las áreas de costa (Gasparini et al. 1990; Custodio 1993; Muñoz 2005). Así, el aporte atmosférico de cloruro y de otros elementos químicos juega un papel importante en la salinización de las aguas subterráneas.

Según los resultados obtenidos, que coinciden con los esperables, la recarga producida en la parte media-alta de la zona de estudio es la principal entrada de agua al acuífero. Existen notables incertidumbres en la concentración de cloruros en la deposición dado el corto período de observación en el momento actual y la variabilidad del agua subterránea inherente a las características de los pozos y nacientes. Por ello, el volumen de recarga media total estimado asciende aproximadamente a 31,5 hm^3/a (131 mm/a), lo que constituye el 24% de la precipitación media. Estos resultados deben considerarse como una primera aproximación, que hay que revisar y validar con series más largas de muestreo y con la aplicación de otros métodos hidrogeológicos, hidrogeoquímicos e isotópicos, teniendo en cuenta la escala temporal y espacial que les afecte. En este sentido, los trabajos del proyecto continúan, teniendo en cuenta además que el periodo de muestreo va a incluir un año hidrológico 2011-12 especialmente seco.

La primera evaluación presentada en este trabajo, independiente de los métodos de balance de agua en el suelo e hidrodinámicos, sirve para contrastar los resultados de la Planificación Hidrológica, donde se estima la recarga en un 19% de la pluviometría (PHGC 1999). Esta planificación tiene que ser revisada cada 6 años según lo establecido en la Directiva Marco del Agua Europea (DMA) y que se recoge en el actual Texto Refundido de La Ley de Aguas. A la autoridad del agua (Consejo Insular de Aguas) le corresponde mantener la red de observación necesaria y las condiciones para una aplicación del método que contribuya a reducir las incertidumbres.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se enmarca en el proyecto REDESAC (CGL2009-12910-C03-02) y el Programa CONSOLIDER-TRAGUA (CSD2006-00044) del Ministerio de Ciencia e Innovación.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- Alcalá, F.J. y Custodio, E. (2007). *Recarga por la lluvia a los acuíferos costeros españoles mediante balance de cloruro en el suelo*. Volumen 1, Instituto Geológico y Minero de España. Madrid: 855-869. ISBN 978-84-7840-712-5
- Cruz, T. (2008). *Contribución de la modelación numérica e hidroquímica al conocimiento del acuífero de La Aldea (Gran Canaria)*. Tesis Doctoral Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.
- Cruz, T.; Benavides, A.; Naranjo, G.; Cabrera, M.C.; Hernández-Quesada, M.P.; Estévez, E.; Martín, L.F. 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. En Lambán, L.J.; Carceller, T.; Valverde, M. y Fernández-Jaúregui, C. (eds.): *Las aguas subterráneas: desafíos de la gestión para el siglo XXI*. Ed. Grupo Español de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos.
- Custodio, E. (1978). *Geohidrología de terrenos e islas volcánicas*. Centro de Estudios Hidrográficos. Publicación 128, Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Madrid: 1-303
- Custodio, E. (1993): *Coastal aquifer salinization as a consequence of aridity: the case of Amurgaphonolitic massif, Gran Canaria island*. En: Custodio, E. y Galofré, A. (eds.). *Study and Modelling of Saltwater Intrusion into Aquifers*, CIMNE-UPC, Barcelona: 81-98.
- Custodio, E. (2010). *Estimation of aquifer recharge by means of atmospheric chloride deposition balance*. *Contributions to Science*. 6(1): 81-97
- Custodio, E. y Cabrera, M.C. (2008). *Síntesis de la hidrogeología de las Islas Canarias*. *Geo-Temas*. Vol. 10.
- Custodio, E.; LLAMAS, M.R. y SAMPER, J. (1997). *La evaluación de la recarga a los acuíferos en la planificación hidrológica*. AIH-GE/IGME. Madrid. 1-455.
- DIRECTIVA MARCO DEL AGUA (DMA). Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.
- Gasparini, A.; Custodio, E.; Fontes, J.CH.; Jimenez, J. Y Núñez, J.A. (1990): *Exemple d'étude géochimique et isotopique de circulations aquifères en terrains volcanique sous climat semi-aride (Amurga, Grande Canarie, Iles Canaries)*. *Journal of Hydrology*, 114:61-91.
- Hernández-Quesada, P.; Cabrera M.C. y Custodio, E. (2011): Ensayo de balance hídrico de las cuencas de los barrancos de Moya y Azuaje (Norte de Gran Canaria): estimación de recarga mediante balance de la deposición atmosférica de cloruros. En L.J. Lambán, T. Carceller, M. Valverde y C. Fernández-Jaúregui (eds): *Las aguas subterráneas: desafíos de la gestión para el siglo XXI*.
- Muñoz, J. (2005): *Funcionamiento hidrogeológico del acuífero de La Aldea (Gran Canaria)*. Tesis Doctoral. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, 310 pp. + Anejos.
- Pérez-Torrado, F.J. (2008). *Geología de Gran Canaria*. En: Itinerarios geológicos por las Islas Canarias. Gran Canaria. En: Pérez-Torrado, F.J. y Cabrera, M.C. (eds.). *Sociedad Geológica de España, Geo-Guías*, 5: 27-39.
- PLAN HIDROLÓGICO DE GRAN CANARIA (PHGC) (1999). Boletín Oficial de Canarias 73, 08/06/1999. Decreto 82/1999.
- SPA-15 (1975). *Estudio científico de los recursos del agua en las Islas Canarias (SPA/69/515)*. Ministerio de Obras Públicas - Dirección General Obras Hidráulicas/ UNESCO-PNUD.