

ISBN: 978-84-938046-4-0

## CUANTIFICACIÓN DE LA RECARGA NATURAL AL ACUÍFERO DEL NORTE DE GRAN CANARIA MEDIANTE EL BALANCE DIARIO DE AGUA EN EL SUELO

Gema NARANJO<sup>1</sup>, María del Carmen CABRERA<sup>1</sup>, Tatiana CRUZ-FUENTES<sup>1</sup>,  
Luis Fernando MARTÍN<sup>2</sup> y Emilio CUSTODIO<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Dpto. de Física (GEOVOL), Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Edificio de Ciencias Básicas, 35017 Tafira Baja. Las Palmas de Gran Canaria. España. [gnaranjo@proyinvest.ulpgc.es](mailto:gnaranjo@proyinvest.ulpgc.es); [mcarmen.cabrera@ulpgc.es](mailto:mcarmen.cabrera@ulpgc.es); [tcruz@proyinvest.ulpgc.es](mailto:tcruz@proyinvest.ulpgc.es)

<sup>2</sup> Dpto. de Ingeniería Civil (GEOVOL), Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Edificio de Ingenierías, 35017 Tafira Baja. Las Palmas de Gran Canaria. España. [lmartin@dic.ulpgc.es](mailto:lmartin@dic.ulpgc.es)

<sup>3</sup> Dpto. de Ingeniería del Terreno y Cartográfica. Universidad Politécnica de Cataluña (UPC). Jordi Girona 1-3, 08034 Barcelona. España. [emilio.custodio@upc.edu](mailto:emilio.custodio@upc.edu)

### RESUMEN

La recarga al acuífero noreste de Gran Canaria ha sido calculada dentro del proyecto REDESAC mediante la realización de un balance diario de agua en el suelo. Para llevarlo a cabo ha sido necesario adaptar los datos de partida existentes referentes a la pluviometría, la evapotranspiración ( $ET_0$  y ETP) y los parámetros del suelo. La zona se ha dividido en subzonas según la situación de las estaciones pluviométricas y atendiendo a las características climáticas. Los cálculos realizados mediante la utilización del código Easy-Bal han arrojado una recarga de unos  $15\pm 4$   $hm^3/a$ , lo que supone el  $13\pm 4\%$  de la precipitación, la mayor parte de la misma concentrada en las zonas altas y de medianías.

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

### ABSTRACT

Groundwater recharge calculation was carried out within the REDESAC project by performing a daily water balance in the soil in the northeast aquifer of Gran Canaria. Existing data concerning to rainfall, evapotranspiration ( $ET_0$  and PET) and soil parameters had to be adapted. The area was divided into subzones according to the situation of the rainfall stations and to climatic characteristics. Calculations made using the Easy-Bal code give a recharge of about  $15\pm 4$   $hm^3/y$ , which represents  $13\pm 4\%$  of precipitation, most of it concentrated in the high and medium areas.

**Key words:** *Recharge, soil water balance, volcanic aquifer, Gran Canaria.*

### INTRODUCCIÓN

La recarga de un acuífero es un fenómeno natural muy complejo, con destacable 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.

El Norte de Gran Canaria ha sido objeto de trabajos dentro del proyecto de investigación REDESAC debido a que es donde se produce la mayor recarga al acuífero insular. En la zona de estudio se ha llevado a cabo la estimación de la recarga utilizando el método del Balance de Cloruros de origen atmosférico, resultando una recarga media multianual estimada de  $25,4 \pm 18 \text{ hm}^3/\text{año}$ , o sea  $22 \pm 16\%$  de la precipitación (Naranjo et al., 2014) que se puede ajustar mejor con mayor tiempo de observaciones. Para contrastar esta estimación se ha realizado un balance diario de agua en el suelo en la misma zona, cuyos resultados se muestran en el presente trabajo.

## **CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO**

La zona de estudio se localiza en el sector noreste de la isla de Gran Canaria, tiene una superficie de  $312 \text{ km}^2$  e incluye las zonas N3, N4 y parte de la zona N2 de la zonificación hidrológica de Gran Canaria (Figura 1). Los límites de dichas zonas coinciden con el mar y con las divisorias de las cuencas hidrográficas de barrancos principales. En superficie afloran los materiales más jóvenes y permeables, con suelos poco retentivos y vegetación de moderada densidad, lo que favorece la recarga. El clima en la zona es muy variable de costa a cumbre debido al gradiente altitudinal y la dirección predominante de los vientos alisios. La precipitación media anual varía entre  $800 \text{ mm/a}$  a cotas altas y  $115 \text{ mm/a}$  a cotas bajas, con una precipitación media ponderada para la zona de estudio de  $389 \text{ mm/a}$ . Las temperaturas máximas y mínimas medias anuales varían desde  $14^\circ\text{C}$  en las zonas altas a  $21^\circ\text{C}$  en la costa, con una temperatura media de  $18^\circ\text{C}$ .

## **MARCO HIDROGEOLOGICO**

Geológicamente la isla tiene su origen en un vulcanismo intraplaca de punto caliente. En la zona de estudio afloran fundamentalmente lavas e ignimbritas Pliocenas y Cuaternarias y sedimentos de la Formación Detrítica de Las Palmas de edad Miocena y Pliocena. La mayoría de los pozos de la zona explotan los materiales Pliocenos y los materiales fonolíticos-traquíticos Miocenos infrayacentes. El funcionamiento hidrogeológico de Gran Canaria se caracteriza por la existencia de un acuífero único insular, con una superficie piezométrica en forma de domo. 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 mediante las extracciones de pozos y galerías, que han mermado las descargas naturales intermedias por los manantiales (nacientes) que existían donde afloran materiales menos permeables o en valles profundos (MOP-UNESCO, 1975). En la zona de estudio el espesor de la zona no saturada vale en promedio  $100 \text{ m}$ , mayor en los interfluvios y menor en los barrancos.

## **METODOLOGÍA Y TRATAMIENTO DE LOS DATOS**

### **Datos utilizados para los cálculos**

El balance diario de agua en el suelo se ha realizado usando la hoja de cálculo Easy-Bal 3.0, elaborada por el Curso Internacional de Hidrología Subterránea, considerando la recarga natural en el periodo 1980 a 2013. Este programa simplificado requiere introducir los parámetros del suelo: espesor, capacidad de campo y punto de marchitez permanente y, partir de una situación dada de humedad inicial, (aunque este último dato no es relevante para largos tiempos de cálculo), la pluviometría diaria (mm) y el umbral de escorrentía (mm).

Los datos del suelo fueron estimados para las áreas consideradas a partir de 8 perfiles detallados de suelo (Sánchez, 1975), cuya situación espacial se muestra en la Figura 1. Los umbrales de escorrentía se calcularon a partir del Número de Curva (Cruz-Fuentes et al., 2014). La pluviometría diaria (mm) procede de once estaciones pluviométricas del Consejo Insular de Aguas de Gran Canaria (CIAGC). La  $ET_0$  diaria (evapotranspiración de referencia calculada por Penman-Monteith) procede de dos estaciones agroclimáticas de la red SIAR (Figura 1). Para el resto de las estaciones, la falta de datos disponibles obliga a aplicar un método alternativo de estimación que utiliza las temperaturas medias, por lo que se calcula la ETP mediante Thornthwaite.

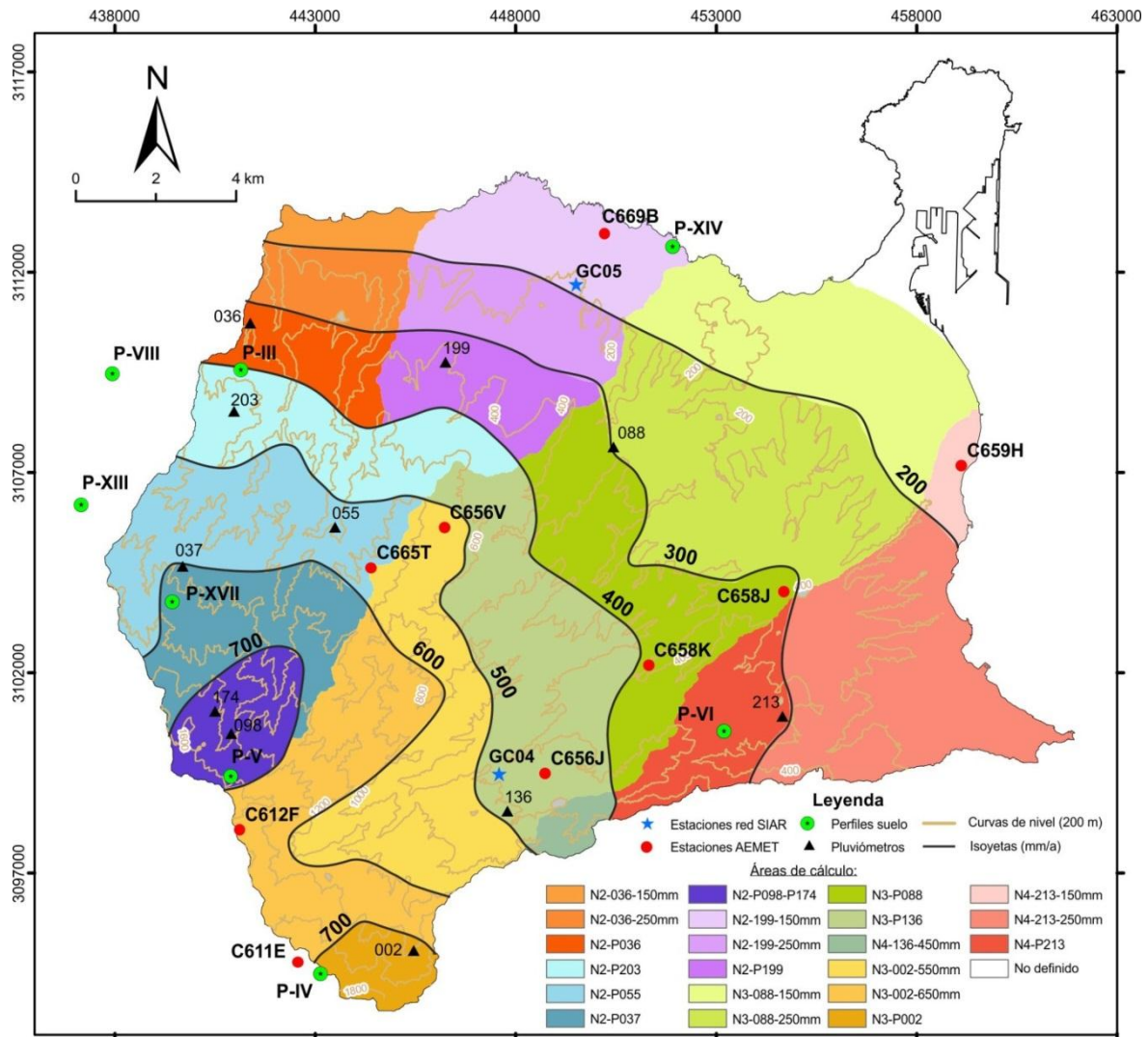


Figura 1.- Zona de estudio y localización de las estaciones pluviométricas, perfiles de suelo, estaciones climatológicas de AEMET, estaciones agroclimáticas red SIAR y áreas consideradas en el cálculo de la recarga.

La zona se dividió en áreas diferenciadas en base a la situación de los datos de partida (Figura 1). La extrapolación de los valores puntuales de las estaciones por zonas se realizó atendiendo fundamentalmente a las alturas de las estaciones y la situación de las isoyetas, debido a las características climáticas de la zona.

### Evapotranspiración de referencia ( $ET_0$ )

La  $ET_0$  diaria en las dos estaciones consideradas ha sido calculada con el método de

Penman-Monteith desde el año 2001 a 2013. Se dispone de entre un 80% y un 90% de los datos de  $ET_0$  necesarios; el resto se completó con la media del mismo día en los otros años. Paralelamente se ha calculado la ETP por el método de Thornthwaite a partir de los datos diarios de temperatura en las 9 estaciones de AEMET existentes en la zona entre 1980 y 2013. El número de medidas de temperatura de los que se dispone oscilan entre unos 2000 y 11000 medidas (de 12012 medidas totales). Por ello, a partir de la estación con mayor número de medidas se completaron las series del resto mediante correlaciones bivariadas.

Finalmente, en el balance se utilizaron los datos de ETP generados para el periodo 1980-2013, transformando los datos obtenidos por Thornthwaite para las estaciones de AEMET con un factor de corrección calculado a partir de la correlación entre la ETP de Thornthwaite (estaciones AEMET) y la  $ET_0$  de Penman-Monteith (estaciones SIAR), teniendo en cuenta la cercanía y climatología de ambos tipos de estaciones. Los valores mensuales de Thornthwaite se reparten homogéneamente en los días del mes correspondiente.

### Parámetros del suelo

La capacidad de campo y el punto de marchitez permanente ponderales se calcularon a partir de los porcentajes de arcillas (Ac), limos (L) y arenas (Ar) de cada uno de los horizontes de los perfiles de suelo de que se dispone (Sánchez, 1975), según las siguientes expresiones tomadas de una adaptación de Saxton et al. (1986):

$$\begin{aligned} \text{CC (\% peso suelo seco)} &= 0,48 \cdot \text{Ac} + 0,162 \cdot \text{L} + 0,023 \cdot \text{Ar} + 2,62 \\ \text{PMP (\% peso suelo seco)} &= 0,302 \cdot \text{Ac} + 0,102 \cdot \text{L} + 0,0147 \cdot \text{Ar} \end{aligned}$$

A partir de estos cálculos y conociendo la densidad aparente de cada tipo de suelo, se han obtenido dichos parámetros por unidad de volumen, tomando un único valor representativo para cada perfil a partir de la media ponderada de los valores de los distintos horizontes, que se ha multiplicado por el espesor del suelo edáfico, para obtener esos parámetros en mm. Dado que la zona de estudio presenta irregularidades en cuanto al espesor de suelo (Sánchez, 1995), el valor medio de espesor de suelo para cada una de las áreas se ha calculado mediante un sistema de información geográfica.

## RESULTADOS

La tabla 1 muestra los parámetros utilizados y los resultados obtenidos a partir del balance diario de agua en el suelo para cada una de las áreas establecidas (Figura 1). Extrapolando los resultados obtenidos del balance diario de agua en el suelo en cada área de cálculo (Tabla 2) a toda la zona de estudio se observa que la recarga obtenida asciende a unos 15,3 hm<sup>3</sup>/a, lo que supone un 13% de la precipitación.

La incertidumbre en el cálculo del valor de la recarga media anual obtenida deriva de los errores de los datos de partida y de la de los parámetros del balance. Se ha estimado a partir de la varianza de la recarga ( $\sigma_R^2$ ) obtenida llevando a cabo un análisis de sensibilidad a las variaciones de los parámetros que intervienen en el cálculo. Si  $\delta R/\delta P_i$  representa la sensibilidad de la recarga a las variaciones del parámetro  $P_i$  y  $\sigma_{P_i}^2$  la varianza del mismo, la varianza  $\sigma_R^2$  viene dada por:

$$\sigma_R^2 = \sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial R}{\partial P_i} \sigma_{P_i} \right)^2$$

Tabla 1.- Recarga obtenida mediante el balance diario de agua en el suelo en el periodo 1980-2013 en cada una de las áreas consideradas. Parámetros de suelo empleados (espesor medio del

suelo, CC= capacidad de campo media y PM=Punto de marchitez medio obtenidos de cada perfil expresados en mm). P= Pluviometría media de cada estación; P<sub>0</sub>=Umbral de escorrentía y Estación considerada para la ETP.

Estación CIAGC	Área de cálculo	Espesor (cm)	Área (km <sup>2</sup> )	Perfil	CC (mm)	PM (mm)	P media (mm/a)	P <sub>0</sub> (mm)	Estación ETP	R (mm/a)	%R/P
002	N3-002-550mm	60	22,4	P-IV	0,25	0,13	690	29	C611E	171	25
	N3-002-650mm	56	21,2	P-IV	0,25	0,13	690	29	C611E	175	25
	N3-P002	44	4,5	P-IV	0,25	0,13	690	29	C611E	188	27
036	N2-036-150mm	55	3,3	P-III	0,49	0,29	252	22	C669B	0,2	0,1
	N2-036-250mm	34	6,6	P-III	0,49	0,29	252	22	C669B	11	4
	N2-P036	40	7,2	P-III	0,49	0,29	252	22	C656V	4	2
037	N2-P037	50	13,4	P-XVII	0,26	0,14	570	20	C665T	81	14
055	N2-P055	55	18,7	P-XIII	0,39	0,23	566	31	C665T	85	15
088	N3-088-150mm	37	23,2	P-XIV	0,43	0,25	293	14	C659H	0,1	0,02
	N3-088-250mm	48	31,5	P-VI	0,23	0,12	293	14	C658J	5	2
	N3-P088	42	22,8	P-VI	0,23	0,12	293	14	C658K	5	2
136	N3-P136	55	25,9	P-VI	0,23	0,12	484	30	C656J	79	16
	N4-136-450mm	40	2,1	P-VI	0,23	0,12	484	30	C656J	96	20
199	N2-199-150mm	66	12,5	P-XIV	0,43	0,25	362	22	C669B	2	0,5
	N2-199-250mm	56	10,3	P-III	0,49	0,29	362	22	C669B	2	0,5
	N2-P199	44	10,1	P-III	0,49	0,29	362	22	C656V	9	3
203	N2-P203	61	14,9	P-III	0,49	0,29	455	37	C656V	25	5
213	N4-213-150mm	38	2,6	P-XIV	0,43	0,25	317	16	C659H	1	0,3
	N4-213-250mm	43	27,6	P-VI	0,23	0,12	317	16	C658J	12	4
	N4-P213	55	10,3	P-VI	0,23	0,12	317	16	C658K	6	2
098-174	N2-P098-P174	37	8,2	P-V	0,24	0,13	727	23	C612F	203	28

Tabla 2.- Recarga media anual obtenida en la zona de estudio. S = superficie de las diferentes áreas. ETR media obtenida del balance diario de agua en el suelo. Áreas delimitadas por las isoyetas: baja < 400 mm/a; media entre 400 y 600 mm/a; alta > 600 mm/a.

Zona	AREA	S (km <sup>2</sup> )	ETR (mm/a)	PRECIPITACION		RECARGA		%R/P <sub>total</sub>	%R/R <sub>total</sub>
				mm/a	hm <sup>3</sup> /a	mm/a	hm <sup>3</sup> /a		
N2	Baja	50	281	243	12	4	0,2	0,2	1
	Media	34	421	527	18	59	2	2	13
	Alta	22	379	654	14	131	3	3	19
	<b>Total:</b>	<b>105</b>			<b>44</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>33</b>
N3	Baja	77	232	233	18	3	0,3	0,2	2
	Media	48	346	518	25	106	5	4	33
	Alta	26	349	663	17	171	4	4	29
	<b>Total:</b>	<b>151</b>			<b>60</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>64</b>	
N4	Baja	41	245	258	11	8	0,3	0,3	2
	Media	2	319	490	1	98	0,2	0,2	1
	<b>Total:</b>	<b>42</b>			<b>12</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>4</b>	
<b>TOTAL</b>		<b>299</b>			<b>116</b>	<b>15</b>	<b>13</b>	<b>100</b>	

Los parámetros a los que la recarga es especialmente sensible son la reserva útil de



agua en el suelo ( $R_u$ ) de forma que a menor reserva útil máxima, la recarga y el umbral de escorrentía ( $P_0$ ), son mayores, obteniéndose valores de recarga mayores a mayor umbral de escorrentía, quedando la fórmula de la incertidumbre de la siguiente forma:

$$\sigma_R^2 = \left(\frac{\partial R}{\partial R_u}\right)^2 \cdot \sigma_{R_u}^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial P_0}\right)^2 \cdot \sigma_{P_0}^2$$

La Tabla 3 muestra los cálculos de incertidumbre realizados en cada una de las áreas a partir del análisis de sensibilidad. De los mismos se desprende que la recarga es más sensible de forma general a las variaciones del umbral de escorrentía que a las variaciones de la reserva útil especialmente en las zonas altas, donde el rango de valores de recarga obtenido es considerablemente mayor que en el resto de las áreas. La recarga en la zona baja es igualmente sensible a ambos parámetros. La recarga en las zonas medias y altas es igualmente sensible a las variaciones de la reserva útil máxima mostrando aproximadamente el mismo rango de valores de recarga obtenidos.

Tabla 3.- Cálculo de la incertidumbre de la recarga en las diferentes zonas. El rango se toma como el valor medio  $\pm 0,25$ .  $\delta R/\delta P_i$  se calcula como la diferencia entre recarga máxima y mínima dividida por el valor del rango del parámetro.  $R_u$ =reserva útil media y  $P_0$ =umbral de escorrentía medio, como valores ponderados en cada zona. Sus errores se ha estimado a partir del conocimiento del área, adoptando como coeficientes de variación  $CV_{R_u}=0,21$  (según CC, PM y espesor) y  $CV_{P_0}=0,2$ .

Zona	Área	$P_i$ (mm)	Valor medio (mm)	Rango (mm)	$R_{\min} - R_{\max}$ mm/a	$(\delta R/\delta P_i)^2$ (a <sup>-2</sup> )	$\sigma_{P_i}^2$ (mm <sup>2</sup> )	$\sigma_R$ (mm/a)
N2	baja	$R_u$	97	73 - 122	2 - 9	0,02	597	4
		$P_0$	22	17 - 29	2 - 7	0,2	19	
	media	$R_u$	108	81 - 135	43 - 70	0,3	739	17
		$P_0$	34	25 - 42	39 - 64	2	46	
	alta	$R_u$	50	38 - 63	129 - 159	1,4	159	29
		$P_0$	21	16 - 27	106 - 168	35	18	
N3	baja	$R_u$	55	41 - 69	2 - 7	0,04	192	4
		$P_0$	14	11 - 18	1 - 7	0,7	8	
	media	$R_u$	65	49 - 81	110 - 141	0,9	265	25
		$P_0$	29	22 - 36	96 - 145	12	34	
	alta	$R_u$	58	43 - 72	168 - 199	1	208	31
		$P_0$	29	21 - 36	144 - 210	21	32	
N4	baja	$R_u$	59	44 - 74	4 - 11	0,1	219	5
		$P_0$	16	12 - 20	2 - 11	1	10	
	media	$R_u$	44	33 - 56	84 - 112	2	124	21
		$P_0$	30	22 - 37	74 - 111	6	36	

Áreas delimitadas por las isoyetas: baja < 400 mm/a; media, entre 400 y 600 mm/a; alta, > 600 mm/a.

Aplicando este método, el error medio estimado para la zona de estudio es de  $\pm 13,1$  mm/a ( $\pm 3,9$  hm<sup>3</sup>/a), un error aceptable para el valor de recarga medio obtenido (15,3 hm<sup>3</sup>/a). En el futuro se deberán estudiar los valores de  $\sigma$  con datos experimentales y de calibración.

## DISCUSIÓN

Los datos empleados en el balance de agua en el suelo arrastran numerosas incertidumbres. Hay que tener en cuenta que los datos referentes a las características del suelo proceden solamente de ocho perfiles (Figura 1). A partir de estos perfiles se han estimado los valores que se han introducido para calcular el balance por zonas, pero posiblemente los datos no sean extrapolables porque no existe una cartografía detallada de

suelos. Además, hay que destacar que la geología y topografía existente en la zona condiciona que existan amplias zonas sin ningún suelo desarrollado, por ejemplo en las laderas, por lo que esta extrapolación puede introducir un amplio error en los cálculos.

A la hora de calcular la  $ET_0$  se optó por tomar los datos de las estaciones del SIAR calculadas por Penman-Monteith, ya que se utilizan valores diarios de temperatura y se tiene en cuenta la energía incidente en la superficie estudiada. Estos datos se utilizan para corregir las series de datos de Thornthwaite que utiliza medias mensuales (Jensen et al., 1990, Custodio et al. 1997). La distribución espacial de estas estaciones (Figura 1) puede no reflejar apropiadamente toda la zona, aunque se ha intentado minimizar el error tomando los valores según las alturas a que están situadas según la climatología del área.

Este método no ha sido calibrado debido a que se carece de series de datos suficientemente largas de variación de niveles piezométricos en la zona. Además, la potencia de la zona no saturada hace que la recarga tenga un considerable retraso y amortiguación respecto a la infiltración en el suelo, además que en parte se debe producir a través de discontinuidades (fisuras), que no son consideradas en el cálculo del balance.

En la Tabla 4 se muestra la relación entre la pluviometría y la recarga media anual estimada a partir del balance de agua en el suelo. Para la zonas bajas la relación es casi nula ya que se produce muy poca recarga, pero en las zonas medias y altas la dispersión existente en la relación recarga-pluviometría es típica de climas semi-áridos, por lo que no todas las recargas son proporcionales a la precipitación que las ha generado (Espinosa, 2014).

Tabla 4.- Relación de la pluviometría anual con la recarga producida. P pluviometría media anual.  $P_0$  umbral de escorrentía medio. ETR evapotranspiración real media y R recarga media obtenida en el balance diario de agua en el suelo. Aquí no se han calculado los márgenes de error.

zona	Área	P (mm/a)	$P_0$ (mm)	ETR (mm/a)	R (mm/a)	Relación P vs. R
N2	baja	324	21,7	281	$4 \pm 1$	$R = 0,05 \cdot (P - 232)$
	media	516	33,6	421	$59 \pm 4$	$R = 0,31 \cdot (P - 327)$
	alta	630	20,9	379	$131 \pm 14$	$R = 0,4 \cdot (P - 312)$
N3	baja	293	14,3	232	$3 \pm 2$	$R = 0,04 \cdot (P - 191)$
	media	598	29,2	346	$106 \pm 9$	$R = 0,43 \cdot (P - 317)$
	alta	690	28,5	349	$171 \pm 12$	$R = 0,45 \cdot (P - 295)$
N4	baja	317	16,0	245	$8 \pm 2$	$R = 0,09 \cdot (P - 213)$
	media	484	29,8	319	$96 \pm 7$	$R = 0,46 \cdot (P - 274)$

$R = \alpha \cdot (P - P_0)$ , siendo P= precipitación anual media (mm/a); R= recarga media anual (mm/a);  $P_0$ = precipitación umbral a partir de la cual se produce recarga;  $\alpha$  = pendiente de la recta de regresión.

Para las zonas medias y altas, el umbral medio de pluviometría necesario para que exista recarga es de 274-327 mm/a.

## CONCLUSIONES

La recarga obtenida para la zona de estudio mediante el balance de agua en el suelo es de  $15 \pm 4 \text{ hm}^3/\text{a}$ , lo que supone entre un 9% y un 17% de la precipitación. Especialmente la recarga estimada se produce principalmente a cotas medias y altas (48% y 47% de la recarga total respectivamente), siendo muy pequeña en la zona de costa, donde no se supera los  $0,8 \text{ hm}^3/\text{a}$  (5% de la recarga total de la zona de estudio). En cuanto a las zonas

hidrológicas, casi el 65% de la recarga total se produce en la zona N3 que ocupa el 50% de la superficie de estudio, mientras que en la N4 se produce el 4% de la recarga de la zona de estudio. La incertidumbre derivada del análisis de sensibilidad de los parámetros empleados en el balance de agua en el suelo es mayor en las zonas altas y muestran una mayor sensibilidad al umbral de escorrentía. Esta primera evaluación sirve para contrastar los resultados obtenidos frente a los de la Planificación Hidrológica, donde se estima la recarga en un 19% de la precipitación (PHGC, 1999).

## AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se enmarca en el proyecto REDESAC (CGL2009-12910-C03-02) del Ministerio de Ciencia e Innovación. Los datos diarios de pluviometría fueron suministrados por el Consejo Insular de Aguas de Gran Canaria. Los datos de temperatura diaria fueron cedidos por la Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

## REFERENCIAS

- Cruz-Fuentes, T., Naranjo, G., Cabrera, M.C., Custodio, E. (2014). *Estimación de la escorrentía superficial mediante la generación automática del número de curva con un SIG. Aplicación al norte de Gran Canaria (Islas Canarias, España)*. II Congreso Ibérico de las Aguas Subterráneas, CIAS2014. Valencia: 217-232.
- Custodio, E., Llamas, M.R.; 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. ISBN: 84-7840-292-6
- Espinosa, S. (2014). *Estimación de la recarga media anual de acuíferos: aplicación al Baix Ebre*. Tesis Doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 199pp + Anejos.
- Jensen, M.E., Burman, R.D. and Allen, R.G. Ed.(1990). *Evapotranspiration and irrigation water requirements*. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practices No. 70, American Society of Civil Engineers. New York, 360 pp.
- MOP-UNESCO (1975). *Estudio científico de los recursos de agua en las Islas Canarias (SPA/69/515)*. Centro de Estudios Hidrográficos-Servicio Geológico de Obras Públicas. Las Palmas de Gran Canaria-Madrid.
- 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*. II Congreso Ibérico de las Aguas Subterráneas, CIAS2014. Valencia: 619-640
- PLAN HIDROLÓGICO DE GRAN CANARIA (PHGC) (1999). Boletín Oficial de Canarias 73, 08/06/1999. Decreto 82/1999.
- Sánchez, J. (1975). *Características y distribución de los suelos en la isla de Gran Canaria*. Tesis Doctoral, Universidad de La Laguna. 393 p.
- 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 València, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, 165 pp, + planos.
- Saxton, K.E., Rawls, W.J., Romberger, J.S. y Papendick R. I. (1986). *Estimating generalized soil-water characteristics from texture*. Soil Science Society of America Journal, 50. pp. 1031-1036.