

La reutilización de aguas regeneradas para riego de un campo de golf: evolución geoquímica y probable afección a un acuífero volcánico (Islas Canarias)

M. C. Cabrera⁽¹⁾, M.P. Palacios⁽²⁾, E. Estévez⁽¹⁾, T. Cruz⁽¹⁾, J. M. Hernández-Moreno⁽³⁾ y J. R. Fernández-Vera⁽⁴⁾

(1) Dpto. de Física. Univ. de Las Palmas de Gran Canaria. España.
mcabrera@dfis.ulpgc.es; eestevez@proyinv.es; tcruz@becarios.ulpgc.es
(2) Dpto. de Patología Animal, Producción Animal y Ciencia y Tecnología de los Alimentos.
Univ. de Las Palmas de Gran Canaria. España.
mpalacios@dpal.ulpgc.es

(3) Dpto. de Edafología y Geología. Univ. de La Laguna. España.
jmoreno@ull.es

(4) Granja Agrícola Experimental del Cabildo de Gran Canaria.
jfernandez@grancanaria.com

RESUMEN

La reutilización para riego de las aguas depuradas presenta ventajas incuestionables, aunque recientemente se ha puesto de manifiesto que existen algunos posibles efectos desfavorables que requieren su estudio a largo plazo. Se ha seleccionado el campo de golf de Bandama (NE de Gran Canaria) para llevar a cabo un estudio integrado a medio-largo plazo, dado que se riega con agua depurada desde hace más de 30 años. La caracterización del agua de riego, el suelo, el agua que abandona el mismo y del funcionamiento del acuífero infrayacente ha permitido sacar unas primeras conclusiones referentes a la importancia que tiene la naturaleza del suelo, la pluviometría, el manejo del riego y los condicionantes hidrogeológicos en la respuesta del suelo y el acuífero. En la zona de estudio, este hecho se complica aún más dada la existencia de una zona no saturada de unos 250 m de espesor conformada por materiales volcánicos en los que el agua debe discurrir preferentemente por fracturas, haciendo imposible su muestreo.

Palabras clave: acuífero volcánico, aguas regeneradas, Gran Canaria, reutilización, zona no saturada

The reuse of regenerated water for irrigation of a golf course: evolution geochemistry and probable affection to a volcanic aquifer (Canary Islands)

ABSTRACT

Irrigation reuse of treated urban wastewater presents unquestionable advantages, but recently some possible unfavourable effects that need to be studied in the long term have been detected. The Bandama golf course, located at the NE of Gran Canaria, has been selected to develop an integrated study of the affection on a medium-long term, due to it has been irrigated with reused water for more than 30 years. The characterization of irrigation water, soil, soil lixiviate and aquifer functioning has allowed to obtain preliminary conclusions pointing to the importance of the soil nature, the precipitation, the irrigation management and the hydrogeologic conditions in the soil and aquifer response. In the study area, this is complicated for the existence of about 250 m thick unsaturated zone conformed by volcanic materials where water must flow through fractures, making impossible to be sampled.

Key words: Gran Canaria, no saturated zone, regenerated waters, volcanic aquifer, water reuse

Introducción

La reutilización de aguas depuradas para usos diversos es una práctica cada vez más extendida, destacando desde siempre su utilización para riego en zonas con escasez de recursos hídricos. Sin embargo, esta práctica puede tener efectos desfavorables si se lleva a cabo de forma poco controlada, tanto en el sistema planta-suelo como en las redes de drenaje

superficiales, en la zona no saturada y los acuíferos infrayacentes. El conocimiento de los procesos que se producen en todo el sistema propicia que se puedan tomar medidas para minimizar los efectos indeseables, que dependen sobremanera de las características del medio.

En Gran Canaria, la reutilización de aguas depuradas para riego es una práctica utilizada desde hace más de treinta años, dada la escasez de recursos

hídricos que existe en la isla (Marrero y Palacios, 1996), representando actualmente un 8% de los recursos hídricos utilizados (CIAGC, com. per.). Ello ha dado lugar a una amplia infraestructura que favorece la distribución del agua regenerada para riego, llevada a cabo primero por el Consorcio Insular de Aprovechamiento de Aguas Depuradas y posteriormente por el Consejo Insular de Aguas de Gran Canaria. Por lo tanto, el escenario posibilita que puedan desarrollarse trabajos conducentes a la caracterización de los procesos que puedan haberse desarrollado a medio y largo plazo debido a esta práctica.

El estudio de la reutilización de aguas depuradas en todas sus facetas se ha abordado dentro del programa de investigación del Ministerio de Ciencia e Innovación español CONSOLIDER-TRAGUA (CSD 2006-00044, Tratamiento y Reutilización del Agua Residual para una Gestión Sostenible). Este programa aborda de manera integrada los diferentes aspectos implicados en la reutilización de aguas depuradas, incluyendo el estudio detallado de la reutilización de aguas para la recarga de acuíferos y riego en zonas concretas y la caracterización de los procesos que se producen en dichas zonas en diversas áreas dentro del territorio español.

Para llevar a cabo la investigación en Canarias se seleccionó el campo de golf de Bandama, situado al

NE de la isla de Gran Canaria y que es uno de los más antiguos de España (Figura 1). El presente trabajo presenta los primeros resultados obtenidos de este estudio.

Este campo ha sido regado desde 1976 con agua depurada de la E.D.A.R. de la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria, con calidades que han ido mejorando a lo largo del tiempo con la mejora de las infraestructuras. Así, a partir de 2002, la instalación de un sistema de desalación posterior a la depuración supuso un salto cualitativo importante en esta mejora. Con una dimensión aproximada de 14.5 has, el campo de golf es actualmente visitado por unas 200 personas/día y es regado por aspersion desde 1983. La especie regada es el Kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum*), una gramínea C4 muy bien adaptada a ambientes cálidos y suelos salinos. Las frecuencias de riego, determinadas por el responsable del campo de golf, varían entre el invierno y el verano, donde las dosis alcanzan máximas de 7 mm/día.

El campo de golf está situado en una zona que presenta una precipitación media de 300 mm, y se caracteriza por recibir la influencia de los vientos alisios (templados y de componente NE, cargados de humedad) y de la corriente fría de Canarias. Por ello, las temperaturas son moderadas, con una media de 19°C (22°C en el mes más cálido y 16°C en el más frío) y

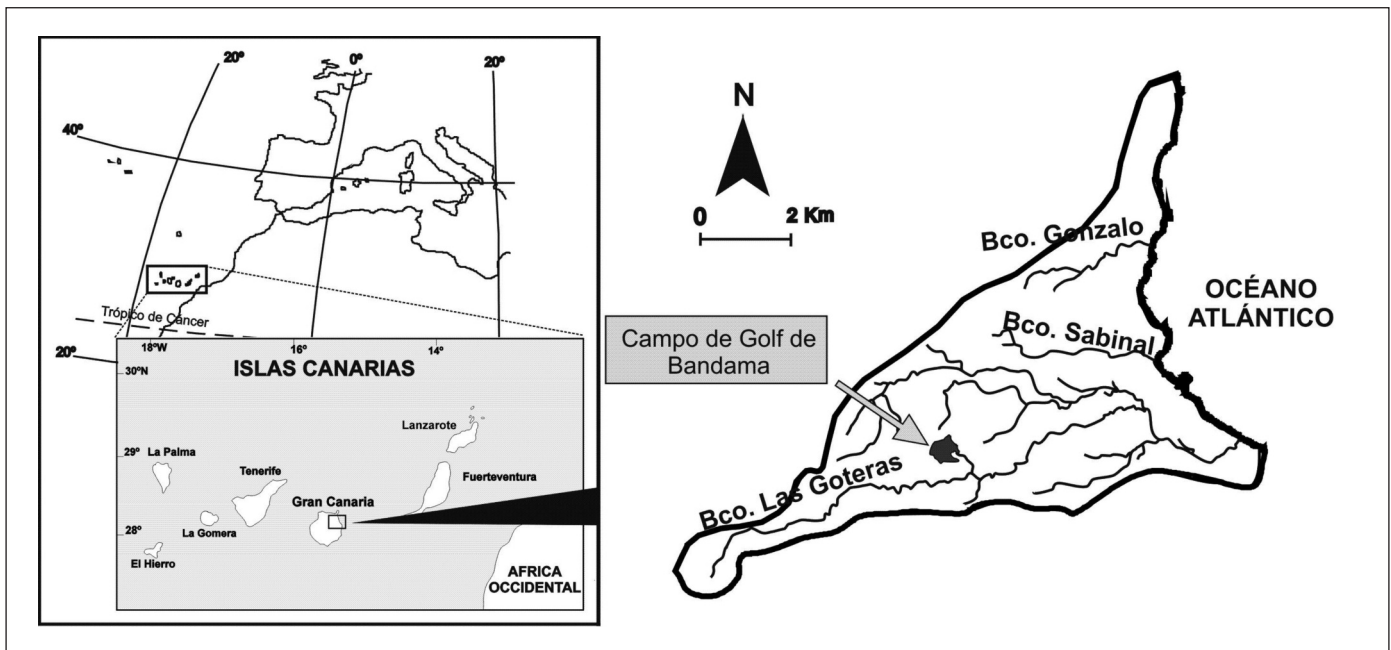


Figura 1. Localización del área de estudio en la isla de Gran Canaria. El mapa de la derecha incluye la zona N4 de la Planificación Hidrológica de la Isla, en la que se indica el campo de golf de Bandama, indicado en la figura y los tres barrancos principales
Figure 1. Study area location in Gran Canaria Island. The right map includes the N4 zone, defined on the Island Hydrologic Plan and the golf course and the three main ravines are indicated

humedades que alcanzan el 78% de mínima en invierno y 85% de máxima en verano. El invierno 2008/09 ha sido lluvioso, con una precipitación total registrada de 440 mm.

Los materiales que afloran en la zona son lavas y piroclastos basálticos con 2000 años de antigüedad y, por tanto, muy poco alterados. Estos materiales fueron emitidos en las erupciones que dieron lugar al Pico y la Caldera de Bandama, que cubrieron de cenizas más de 50 km² y que abrieron un hoyo de unos 900 m de diámetro y 250 m de profundidad (Hansen y Moreno, 2008). Estos materiales se sitúan sobre materiales basálticos y fonolíticos más antiguos (hasta 13 Ma) entre los que se intercalan conglomerados aluviales, que afloran en el interior de la Caldera.

Los estudios tienen como objetivo la caracterización de los procesos que sufre el agua desde que se infiltra en el suelo del campo de golf hasta que llega al acuífero, considerando el proceso evolutivo sufrido a lo largo de toda su trayectoria: desde el agua de riego hasta el agua subterránea, teniendo en cuenta los cambios producidos en el suelo y en la zona no saturada.

Materiales y métodos

Se ha llevado a cabo una caracterización del suelo en el campo de golf, tomándose además muestras del agua de riego y del agua del lixiviado del suelo (mediante la instalación de un lisímetro).

El muestreo de suelo se ha planteado en dos calles: la calle 7 (suelo in situ) y la calle 2 (suelo transportado de cotas superiores de la misma vertiente de la isla) (Figura 2). Se han realizado dos muestreos de suelo en los mismos puntos (21 localizaciones del horizonte superficial) con un año de diferencia (años 2008 y 2009), tanto para la calle 7 (6 muestras en la calle y 5 en el rough) como para la calle 2 (5 en la calle y 5 en el rough).

El lixiviado del suelo se está caracterizando mediante la instalación de un lisímetro (Figura 3) (Drain Gouge, Decagon Devices, Inc.) en la calle 12, que presenta un suelo "in situ" similar al de la calle 7 (franco-arcillo-arenoso). Este suelo tiene dos horizontes, el superficial (de 0 a 30 cm de profundidad) y el inferior (entre 30 y 60 cm) y se sitúa directamente sobre lapilli basáltico suelto con permeabilidad alta.

Paralelamente, se ha caracterizado la hidrogeología en la zona N4 de la planificación hidrológica de Gran Canaria (Figura 1, derecha) y se han identificado los puntos de muestreo de agua subterránea. El funcionamiento hidrogeológico de la zona se ha establecido a partir de sendos inventarios de puntos de agua realizados en 1997 (CIAGC, 1997) y en 2009 (realizado para este trabajo). El agua subterránea se está muestreando periódicamente en una galería de agua situada dentro de la Caldera (Galería El Culatón) y en pozos seleccionados situados en los alrededores del campo de golf (fundamentalmente en el Barranco de Las Goteras).

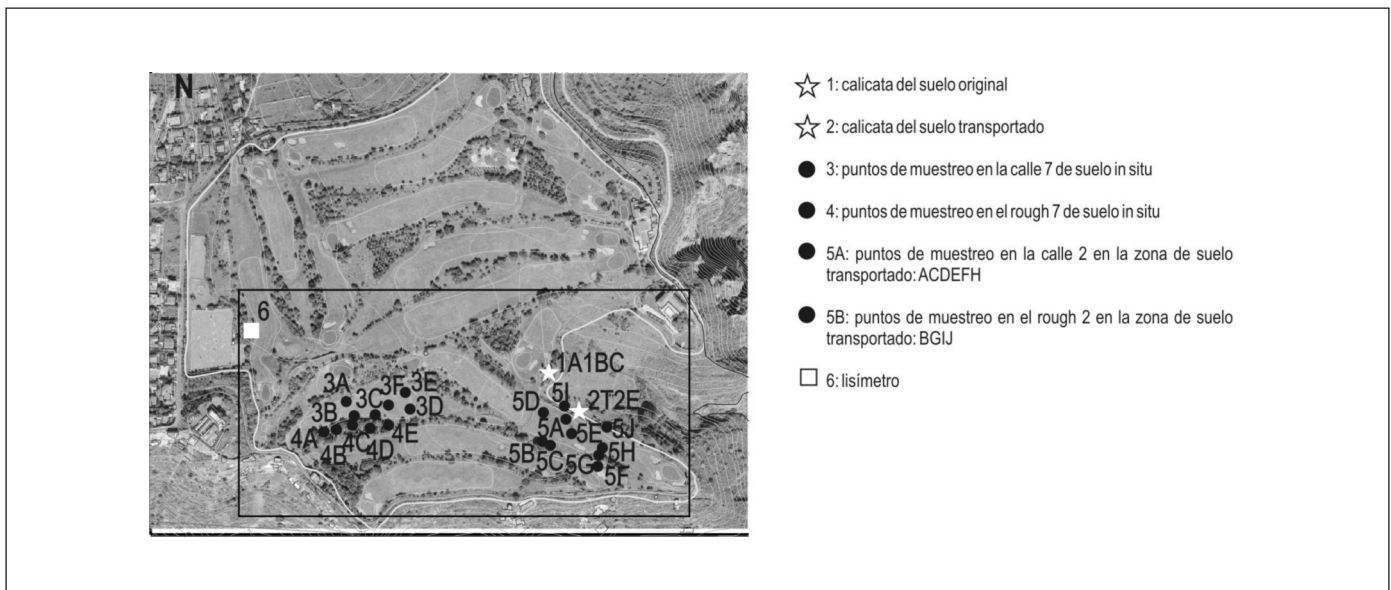


Figura 2. Ortofoto del campo de golf de Bandama y localización de las calicatas y de las muestras de suelo tomadas en 2008
Figure 2. Orthophotograph of Bandama golf course and location of the trial pits and the soil samples taken in 2008



Figura 3. Instalación del lisímetro (Drain Gouge, Decagon Devices, Inc.) en el campo de golf de Bandama. (A): tubo colector antes de la instalación, (B): calicata practicada para la instalación del lisímetro, obsérvese el tubo por donde se lleva a cabo la succión para tomar las muestras

Figure 3. Installation of the lysimeter (Drain Gouge, Decagon Devices, Inc.) in Bandama golf course. (A) Collector tube before the installation. (B) Trial pit made for the lysimeter installation, note the tube to suction the water for sampling

Caracterización del suelo

Dada la geología de la zona, el suelo *in situ* está conformado por piroclastos basálticos poco alterados a una profundidad de 0.25-0.5 m, sobre los que se ha desarrollado una cubierta de alteración. Los resultados de 2008 para algunos parámetros físico-químicos de los dos suelos muestreados se muestran en la Figura 4. La Tabla 1 recoge los valores estadísticos de los mismos y la diferencia entre los valores de 2008 y 2009.

Los resultados apuntan a que el suelo presenta una alta variabilidad incluso considerando separadamente cada zona homogénea respecto al manejo del agua (calle o rough). Este efecto se nota fundamentalmente en el rough donde el manejo del agua es menos cuidadoso, aunque también se manifiesta en parte en la calle del suelo transportado (calle 2).

Caracterización hidrogeológica

El funcionamiento hidrogeológico de las Islas Canarias se caracteriza por la existencia de un acuífe-

ro único con una superficie piezométrica en forma de domo que alcanza máximos en el centro de la isla (SPA-15, 1975). Este conjunto puede ser complejo dependiendo de la geología de cada edificio insular, por lo que puede haber salidas intermedias del agua del acuífero a los barrancos en forma de manantiales. En Gran Canaria, estos manantiales han desaparecido o han mermado su caudal en gran medida debido a los descensos generalizados de los niveles freáticos por las captaciones (pozos y galerías) (Custodio y Cabrera, 2008) (Figura 5). En este modelo, la zona de estudio se enmarca en las medianías de la zona N4 de la zonificación hidrológica de la isla.

La Figura 6 representa la piezometría de la zona, elaborada a partir de datos de 1997 (CIAGC, 1997) y de 2009 (recopilados para el presente proyecto).

De la figura se deduce que el flujo subterráneo se produce desde el OSO al ENE, siguiendo el esquema general para la isla (de cumbre a costa), situándose el nivel piezométrico general a más de 200 m de profundidad por debajo del campo de golf, sin que llegue a entrar en contacto con la superficie del terreno ni siquiera en el fondo de la Caldera de Bandama. A partir de la piezometría, se puede concluir que existe una

	Año	Cond. 1:5 (dS/m)		M.O. %		NO ₃ (mg/kg)		P (mg/kg)		B (mg/kg)	
		media	sd	media	sd	media	sd	media	sd	media	sd
calle 2	2008	0,20	0,05	6,9	2,0	57	20	143	70	5,5	1,1
	2009	0,13	0,03	4,1	1,3	44	26	99	66	5,8	2,8
	2008-2009	0,07		2,8		12		44		-0,3	
rough 2	2008	0,30	0,07	7,2	2,9	73	34	82	40	5,4	0,8
	2009	0,13	0,05	2,7	1,3	19	10	60	36	6,1	3,3
	2008-2009	0,17		4,5		53		22		-0,7	
calle 7	2008	0,20	0,05	5,5	0,9	120	39	83	18	9,6	1,2
	2009	0,12	0,02	3,1	0,6	31	13	95	29	5,9	1,3
	2008-2009	0,09		2,4		89		-12		3,7	
rough 7	2008	0,10	0,07	4,1	1,6	98	45	36	24	4,4	2,8
	2009	0,15	0,18	3,6	1,7	264	371	24	27	3,7	2,2
	2008-2009	-0,05		0,5		-166		12		0,7	

Tabla 1. Valores estadísticos de los análisis de suelos correspondientes a los muestreos realizados en las calles y roughs 2 y 7 del campo de golf de Bandama. Se incluye la diferencia entre los valores de 2008 y 2009 (sombreados en gris)

Table 1. Statistic values from the soil analysis corresponding to the sampling campaigns made on the tees and roughs 2 and 7 of the Bandama Golf Course. The differences between 2008 and 2009 values are included (in grey)

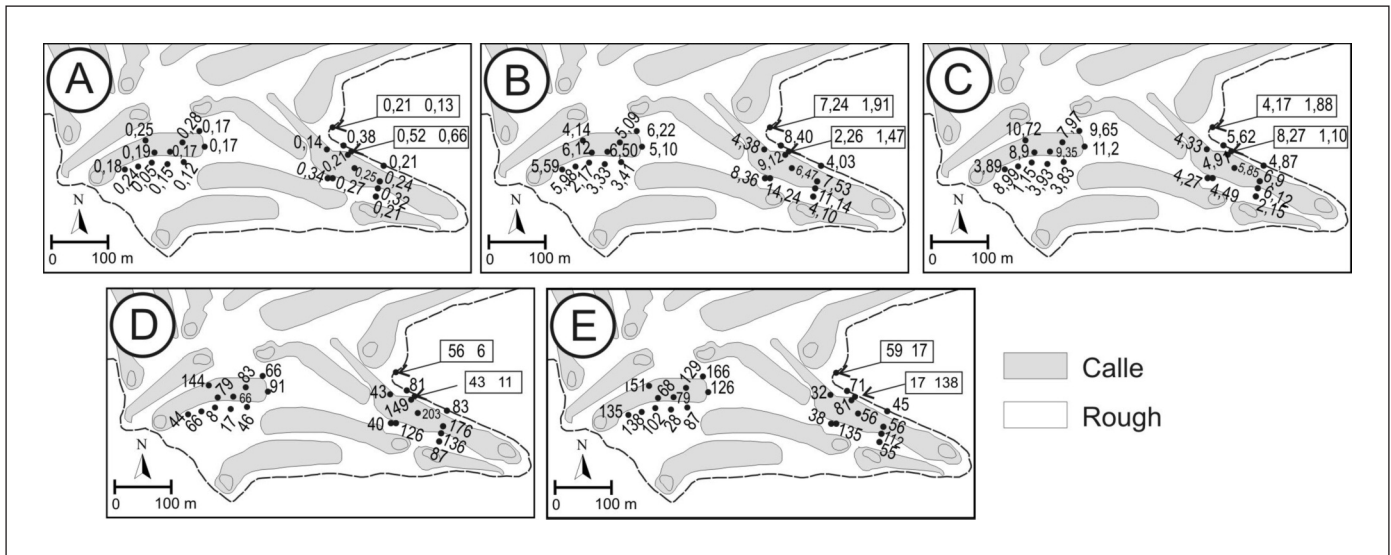


Figura 4. Mapas con los resultados de (A) Conductividad Eléctrica 1:5 (dS/m), (B) Materia Orgánica (%), (C) Boro (mg/kg), (D) Fósforo (mg/kg) y (E) Nitratos (mg/kg) de las muestras de suelo tomadas en la campaña de 2008

Figure 4. Maps showing the results of (A) Electric conductivity 1:5 (dS/m), (B) Organic Matter (%), (C) Boron (mg/kg), (D) Phosphorus (mg/kg) and (E) Nitrates (mg/kg) from the 2008 sampling

línea de flujo preferente por el Barranco de las Goteras (al Sur del Campo de golf), como atestigua la presencia preferente de pozos en su curso. Estos pozos tienen profundidades diferentes, por lo que los niveles medidos en los mismos deben ser tomados con precaución a la hora de elaborar la piezometría. Asimismo, se puede concluir que, a grandes rasgos,

no existe un cambio notable en el sistema de flujo entre las dos fechas consideradas.

Hay que destacar la existencia de la galería de agua El Culatón, situada en el escarpe Oeste de la Caldera, justo debajo del campo de golf (Figura 6). Esta galería se encuentra a cota 400 y se sitúa a favor de una fractura desarrollada en sentido SO-NE, trans-

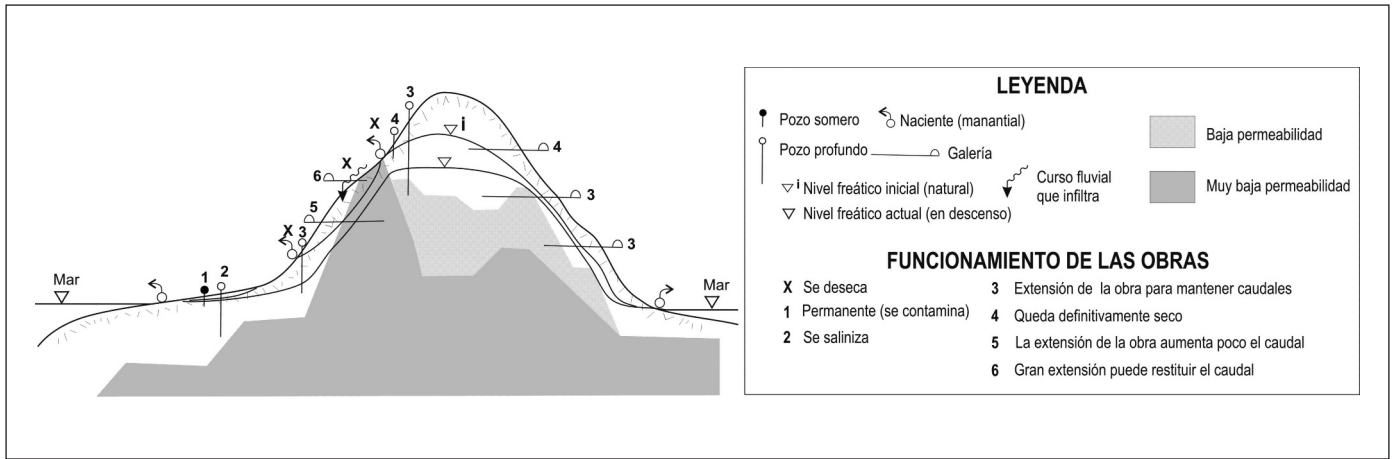


Figura 5. Perfil esquemático de la evolución hidrogeológica de Gran Canaria al ser sometida a extracción (modificada de Custodio y Cabrera, 2002)

Figure 5. Schematic profile of the hydrogeologic evolution of Gran Canaria when is subjected to groundwater exploitation (modified from Custodio and Cabrera, 2002)

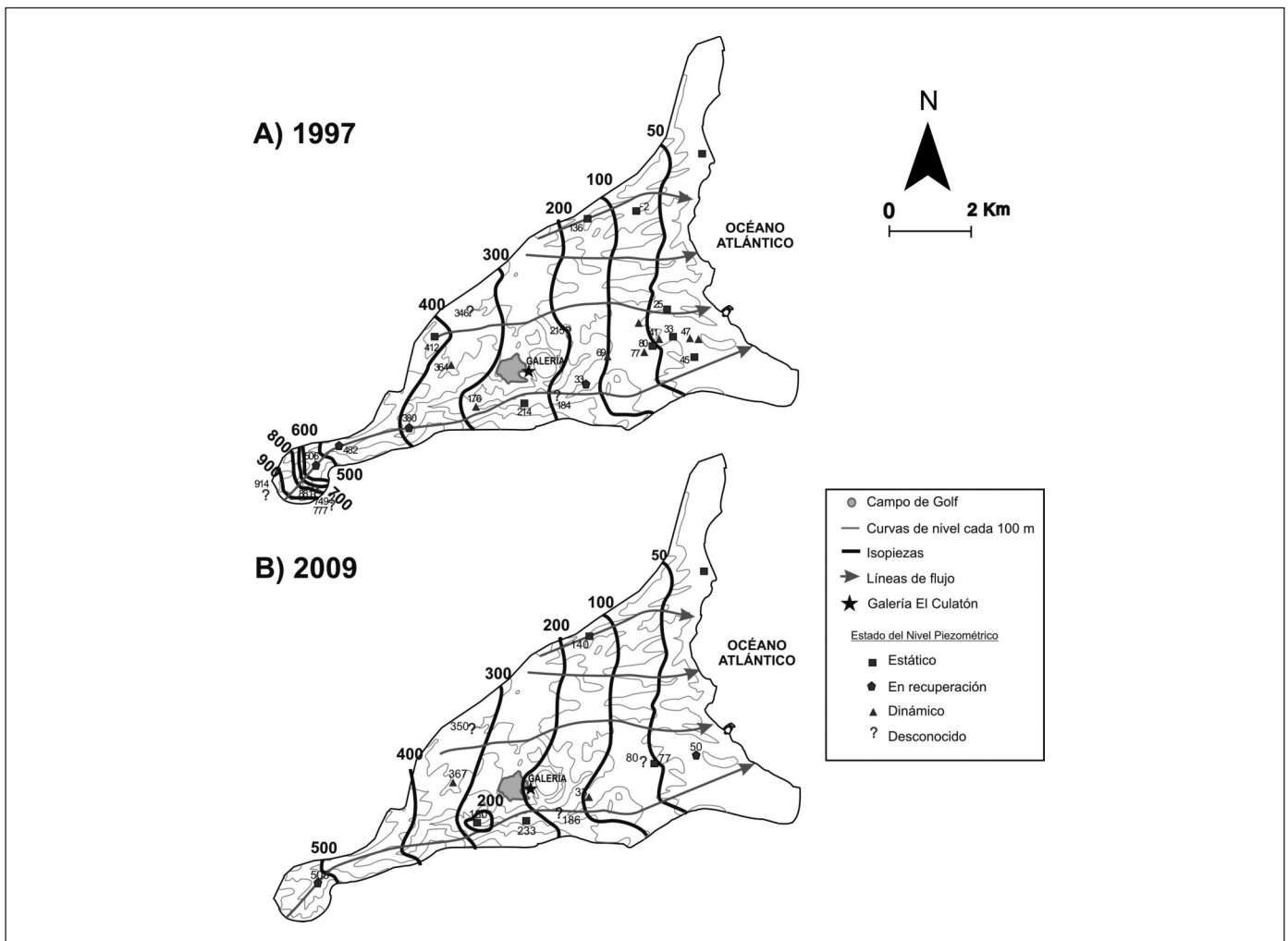


Figura 6. Piezometría de la zona N4 de Gran Canaria para 1997 (CIA, 1997) y 2009. Se indica la situación del campo de golf de Bandama

Figure 6. Piezometric maps of the N4 zone of Gran Canaria for 1997 (CIA, 1997) and 2009. The Bandama golf course location is indicated

versal a la fracturación NO-SE que dio lugar al complejo volcánico (Hansen y Moreno, 2008), en el torrente denominado El Culatón. Se ubica claramente por encima del nivel piezométrico insular que se desprende de la piezometría y constituye un nivel colgado desarrollado en el contacto entre materiales basálticos del Ciclo Roque Nublo (más antiguos) y los materiales más modernos correspondientes a la formación del Pico y la Caldera de Bandama (más jóvenes y permeables).

La hidrogeoquímica del agua subterránea en la zona N4 responde también al modelo insular, de forma que la salinidad del agua aumenta de cumbre a costa, paralelamente con el tiempo de residencia del agua en el acuífero y a la llegada de aguas de recarga cada vez más salinas según aumenta la cercanía al mar. Este hecho queda patente en la Figura 7,

que muestra las isocloruros en las aguas subterráneas de la zona a partir del inventario de 1997 (CIA, 1997) y las obtenidas para este trabajo en 2009. También en la Figura 7 se recoge la evolución espacial de los Nitratos en las aguas subterráneas (según datos con la misma procedencia) y evidencia un aumento de la concentración en el Barranco de Las Goteras, situado al Sur de la zona de estudio, que se relaciona con una zona con cultivos y casas dispersas.

En el muestreo de aguas subterráneas de la zona N4 de enero de 2009, los datos apuntan hacia un ligero aumento de la salinidad de la misma con respecto a 1997, tal como queda patente en la Figura 7. Este incremento de salinidad se evidencia fundamentalmente por un aumento de los contenidos de cloruros. Los nitratos experimentan un incremento en la zona

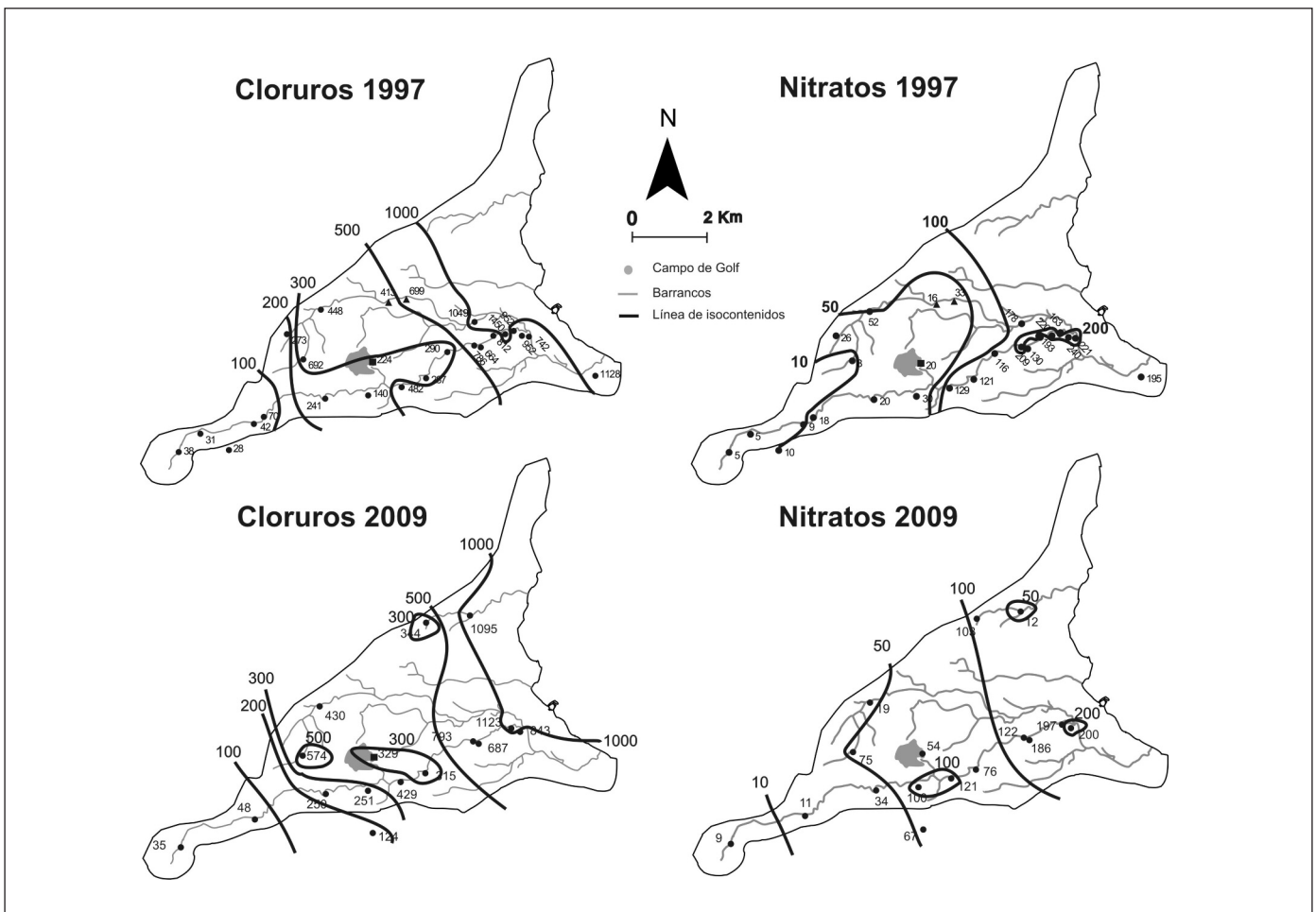


Figura 7. Isocontenidos en Cl (mg/L) y NO₃ (mg/L) en la zona N4 de Gran Canaria para los datos de 1997 (CIA, 1997) y de 2009. Se indica la situación del campo de golf de Bandama
 Figure 7. Isovalues of Cl (mg/L) (A-C) and NO₃ (mg/L) (B-D) in the zone N4 of Gran Canaria for 1997 (CIA, 1997) and 2009 data. The Bandama golf course location is indicated

del campo de golf, pero disminuyen en el curso bajo del Barranco de Las Goteras, hecho que puede ser atribuido a la construcción de sistemas de saneamiento en el mismo.

Resultados y discusión

Como primeros resultados de la comparación entre los valores del suelo en los muestreos de 2008 y 2009 (Tabla 1), se deduce que casi todos los valores (CE, MO y nitratos) han disminuido, lo que coincide con los resultados obtenidos por otros autores que también obtienen diferencias en función de las condiciones ambientales (Caballero *et al.*, 2001). Este hecho resulta coherente con la elevada pluviometría del periodo 2008/2009 y con el probable efecto superpuesto de una mayor actividad biológica en el suelo para los elementos poco móviles (caso del fósforo). Para el B es de destacar la gran variabilidad entre ambos suelos: en el de la calle 7 (más arenoso) el B aportado con el agua depurada durante años ha provocado que los valores del 2008 fueran muy elevados, mientras que las elevadas lluvias del periodo 2008/2009 han permitido su lavado parcial. Sin embargo, en el suelo transportado (calle 2, más arcilloso) se produce una retención que al mismo tiempo disminuye su transporte, por lo que los valores del

2008 eran inferiores pero no se observa su lavado durante este periodo (parte del B puede ser inmovilizado sin ser detectado en el análisis pero la concentración detectada es muy estable).

La Tabla 2 muestra los análisis de agua de riego, del agua recogida en el lisímetro y de la galería de agua El Culatón en fechas posteriores a su instalación.

Como primeras consideraciones, puede afirmarse que se produce un incremento en los iones de las aguas recogidas en el lisímetro respecto al agua de riego: se incrementan Na⁺, K⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, NH₄⁺, NO₃⁻ y B, y más discreto en el caso de los Cl⁻. La mayor concentración en el lisímetro respecto al agua de riego se debe al efecto de lixiviación de sales con las elevadas fracciones de lavado producidas por la elevada pluviometría y por el riego. El agua de la galería es variable en las dos muestras recogidas, indicando que no solamente recoge el agua de riego, sino también agua de otra procedencia (lluvia y/o agua subterránea procedente de un acuífero colgado que se recarga aguas arriba).

En la Figura 8 se representan en un diagrama de Schoeller los análisis de las muestras de agua subterránea tomados en enero de 2009, tanto de la galería El Culatón como de varios pozos situados en el Barranco de Las Goteras por encima y por debajo del campo de golf.

Fecha	AGUA DE RIEGO					AGUA DEL LISÍMETRO					GALERÍA	
	07/11/08	12/02/09	19/02/09	12/03/09	18/03/09	13/11/08	03/02/09	12/02/09	19/02/09	18/03/09	12/11/08	15/01/09
pH	7,3	7,1	7,0	8,1	7,3	8,0	8,6	8,6	8,3	8,1	7,5	8,1
Cond.	1024	844	736	812	1112	1743	2310	1724	2240	3120	1666	1713
RS	600	504	453	527	665	1169	-	-	-	-	974	1146
Na ⁺	171,5	136,8	118,9	124,0	170,0	323,6	474,4	517,9	504,0	647	305,0	199,1
K ⁺	11,2	12,0	11,6	11,0	14,0	31,8	36,0	39,7	40,4	48	7,4	13,2
Ca ²⁺	12,3	16,1	15,2	19,0	17,0	25,9	29,8	25,5	25,2	28	8,4	69,1
Mg ²⁺	6,8	7,8	6,8	12,0	8,9	9,0	14,8	15,3	14,7	19	9,7	61,4
Cl ⁻	207	169,1	149,9	141,0	211,0	297	194,0	161,7	153,8	387	332,4	251,5
SO ₄ ²⁻	42	43,3	37,1	47,0	47,0	85	63,8	54,8	52,4	40	124,3	273,0
HCO ₃ ⁻	118,3	109,2	108,6	153,0	179,0	396,5	-	-	-	-	140,3	178,7
NO ₃ ⁻	29,2	9	4	21	18	1,3	81	75	70	17	47	100
NH ₄ ⁺	0,60	< 0,03	0,40	0,3	13,0	6,04	6,90	4,64	2,89	2	< 0,03	0,07
B	1,46	1,094	1,061	1	1	7,44	4,930	4,447	4,402	4,22	0,50	0,193

Tabla 2. Resultados de los análisis del agua de riego, agua del lisímetro y galería El Culatón en el campo de golf de Bandama. La Conductividad eléctrica está expresada en $\mu\text{S}/\text{cm}$ y los iones en mg/L

Table 2. Results of irrigation water, lisimeter water and El Culatón water gallery analysis in the Bandama golf course. The electric conductivity is expressed in $\mu\text{S}/\text{cm}$ and the ions are expressed in mg/L

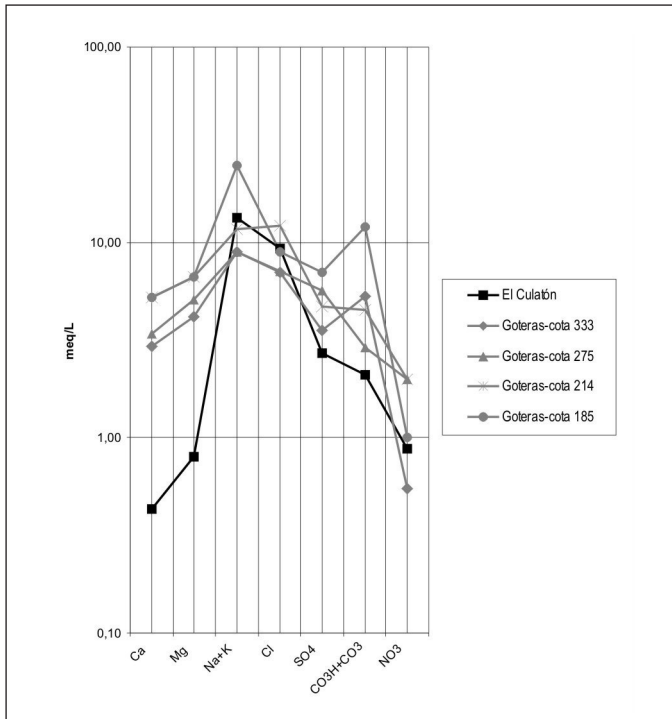


Figura 8. Diagrama de Schoeller representando los análisis de agua subterránea de los puntos de agua existentes cerca del campo de golf de Bandama (galería El Culatón y pozos situados en el Barranco de Las Goteras). Los análisis corresponden al muestreo de enero de 2009

Figure 8. Schoeller diagram representing the water analysis of groundwater from the water points located near the Bandama golf course (water gallery El Culatón and wells located in Las Goteras ravine). The analysis correspond to the sampling of January 2009

La comparación entre la química de la galería El Culatón y de los pozos situados en el barranco permite deducir que se trata de dos tipos de agua diferente: el agua de la galería muestra un contenido mayor en Na+K, Cl y NO₃ y menor en Ca, Mg, SO₄ y HCO₃, mientras que el agua procedente del barranco muestra un aumento progresivo en salinidad según disminuye la cota de los pozos dentro de un mismo patrón. Así, se puede concluir que la galería puede ser considerada un punto de muestreo intermedio entre el agua que abandona el suelo y el agua que llega al acuífero insular, por lo que los resultados de la misma deberán ser valorados según los resultados de los muestreos periódicos que están previstos.

Conclusiones

El trabajo realizado contempla de forma integrada los procesos que tienen lugar en un medio natural cuan-

do se lleva a cabo un riego con agua depurada en un plazo de tiempo dilatado. Como primeras conclusiones, se puede apuntar que se observa una respuesta diferencial al riego con una misma calidad de agua y con el mismo manejo (dosis y frecuencias de riego) en función del tipo de suelo regado (in situ o transportado). Así la mayor variabilidad dentro de la calle y entre la calle y el rough se ha observado en el suelo arcilloso (transportado). Además, el manejo del agua también ha demostrado ser un factor crítico encontrándose diferencias entre las calles y el rough. Se observa también un incremento de la salinidad entre el agua de riego y el agua del lisímetro mientras que el agua de la galería El Culatón es variable químicamente, apuntando a que integra aguas de diferentes procedencias y que drena un acuífero colgado. Este hecho queda confirmado por la comparación entre el agua de la galería y de los pozos del Barranco de Las Goteras, situado al Sur.

Por otro lado, queda en evidencia la naturaleza de una zona no saturada de más de 200 m de espesor, conformada fundamentalmente por materiales volcánicos (aglomerados, lavas y piroclastos de naturaleza basáltica y fonolítica). La parte superficial de esta zona está constituida por un suelo de poco espesor, que es susceptible de estudio. En el resto de la zona no saturada, el agua debe discurrir preferentemente por fracturas, aunque dependiendo de la naturaleza de los materiales, cierta fracción puede fluir por porosidad.

Agradecimientos

El presente trabajo se enmarca en el Programa CONSOLIDER-TRAGUA (CSD2006-00044). Se agradece al Real Club de Golf de Las Palmas, y especialmente a D. Pelayo Navarro y el personal del mismo, el acceso a todos los datos históricos del campo de golf de Bandama y facilitarnos en todo momento la toma de muestras. Los análisis han sido realizados en el Laboratorio de la Granja Agrícola Experimental del Cabildo de Gran Canaria.

Referencias

- Caballero R., Bustos A. y Román R. 2001. Soil salinity under traditional and improved irrigation schedules in Central Spain. *Soil Science Society of America Journal*, 65: 1210-1218.
- Consejo Insular de Aguas de Gran Canaria (CIAGC) 1997. Inventario de puntos de agua, zona N4. Datos internos, sin publicar.
- Custodio, E. y Cabrera, M.C. 2002. ¿Cómo convivir con la

- escasez de agua?. El caso de las Islas Canarias. *Boletín Geológico y Minero de España*, 113 (3), 243-258.
- Custodio, E. y Cabrera, M.C. 2008. Synthesis of the Canary Islands hydrogeology. Hydrogeology of volcanic rocks, *SIHD-2008*, Djibouti, 51-56.
- Hansen, A. y Moreno, C. 2008. *El Gran Volcán. La Caldera y el Pico de Bandama*. Ediciones Consejería de Medio Ambiente y Aguas del Cabildo de Gran Canaria, Gran Canaria, 310 pp.
- Marrero, A. y Palacios, M. P. 1996. *Depuración y reutilización de aguas en Gran Canaria*. Consorcio Insular de Aprovechamiento de Aguas Depuradas de Gran Canaria, Gran Canaria, 55 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.

Recibido: mayo 2009
Revisado: agosto 2009
Aceptado: agosto 2009
Publicado: diciembre 2009