

## **RESULTADOS PRELIMINARES DE LOS EFECTOS DE LA UTILIZACIÓN DE AGUA DEPURADA PARA RIEGO EN EL CAMPO DE GOLF DE BANDAMA (GRAN CANARIA)**

**M. Pino Palacios<sup>1</sup>, Esmeralda Estévez<sup>2</sup>, M. Carmen Cabrera<sup>2</sup>, José Manuel Hernández-Moreno<sup>3</sup>, Víctor González-Naranjo<sup>1</sup>, Tatiana Cruz<sup>2</sup> y Juan Ramón Fernández-Vera<sup>4</sup>**

1 Dpto. de Patología Animal, Producción Animal y Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Univ. de Las Palmas de Gran Canaria. mpalacios@dpat.ulpgc.es

2 Dpto. de Física. Univ. de Las Palmas de Gran Canaria. mcabrera@dfis.ulpgc.es; eestevez@proyinves.ulpgc.es; tcruz@becarios.ulpgc.es

3 Dpto. de Edafología y Geología. Univ. de La Laguna. España. jhmoreno@ull.es

4 Granja Agrícola Experimental del Cabildo de Gran Canaria, jrfernandez@grancanaria.com

**Palabras clave:** Reutilización, Aguas regeneradas, acuífero volcánico, Gran Canaria

**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. En este trabajo se presentan los resultados preliminares del estudio de la reutilización en un campo de golf que lleva regándose más de 30 años con agua depurada, disponiéndose de los datos de calidad y cantidad de agua aplicada, los resultados de las analíticas de suelos, frecuencia de corte de las especies cespiciosas, calidad de agua en algunas captaciones de agua subterránea bajo el campo, y, más recientemente, de las calidades del agua que abandona la zona explorada por las raíces. El estudio conjunto de estos datos permite analizar las consecuencias a largo plazo del riego con aguas regeneradas en un entorno volcánico para tomar medidas que eviten que se produzcan en el futuro los efectos desfavorables posibles.*

**ABSTRACT.** *The reuse of treated urban wastewater for irrigation presents unquestionable advantages, although some possible unfavourable effects requiring a long-term study have recently been detected. This work presents the preliminary results of a study of a golf course that has been irrigated with treated wastewater for more than 30 years, including data on quality and quantity of applied water, soil analysis, mowing frequency, quality of groundwater captured at several points underneath the golf course and, more recently, data on the quality of water filtering down from the roots in the study area. These data allow the long-term consequences of irrigation with regenerated water in a volcanic medium to be assessed in order to avoid the harmful effects of this practice in the future.*

### **1. INTRODUCCIÓN**

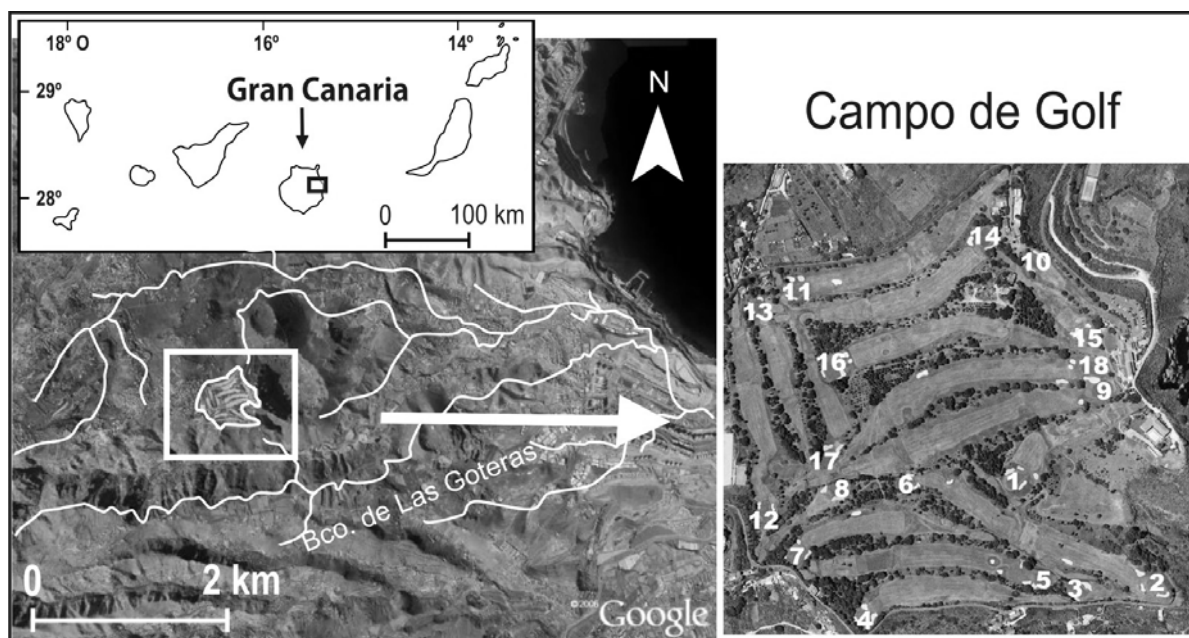
La reutilización de aguas depuradas para usos diversos es una práctica cada vez más extendida, destacando desde siempre el uso para riego en zonas con escasez de recursos hídricos. Sin embargo, esta práctica puede tener efectos desfavorables si se lleva a cabo de forma poco controlada, tanto en el sistema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

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 riegos en zonas concretas y la caracterización de los procesos que se producen en dichas zonas.

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). Ello a 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 plazo.

Para llevar a cabo la investigación se seleccionó el campo de golf de Bandama, situado en las “medianías”, al NE de la isla de Gran Canaria y que es uno de los más antiguos de España (Figura 1). 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.



**Figura 1.** Localización del área de estudio en la isla de Gran Canaria. La fotografía de la derecha muestra la disposición de las calles (consignadas por su numeración) en el Campo del Golf de Bandama.

El campo de golf de Bandama situado en una zona que presenta una precipitación media de 400 mm, está caracterizada 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 humedades que alcanzan el 78% de mínima en invierno y 85% de máxima en verano. 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 km<sup>2</sup> 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. Para ello, 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). Paralelamente, se ha caracterizado la hidrogeología en la zona y se han identificado los puntos de muestreo de agua subterránea.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Caracterización edafológica del campo de golf

Con una dimensión aproximada de 14.5 has, el campo de golf actualmente es visitado por unas 200 personas/día y es regado por aspersión desde 1983. Este sistema de riego se caracteriza por un caudal nominal de 92.8 l/min y una distancia media entre aspersores de 21.5 m. 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.

Se han caracterizado edafológicamente los suelos en dos calles del campo, realizando sendas calicatas. Las calles se han seleccionado porque representan dos tipologías diferentes: un suelo in situ (calle 7) y un suelo transportado desde alturas superiores de la misma vertiente de la isla (calle 2).

Dada la geología de la zona, el suelo in situ está conformado por piroclastos basálticos poco alterados a cierta profundidad, sobre los que se ha desarrollado una cubierta de alteración. Además, se han realizado dos muestreos en los mismos puntos (21 localizaciones del horizonte superficial) con un año de diferencia (años 2008 y 2009, Figura 2), tanto para la calle 7 (6 muestras en la calle y 5 en el rough) como para la 2 (5 en la calle y 5 en el rough).

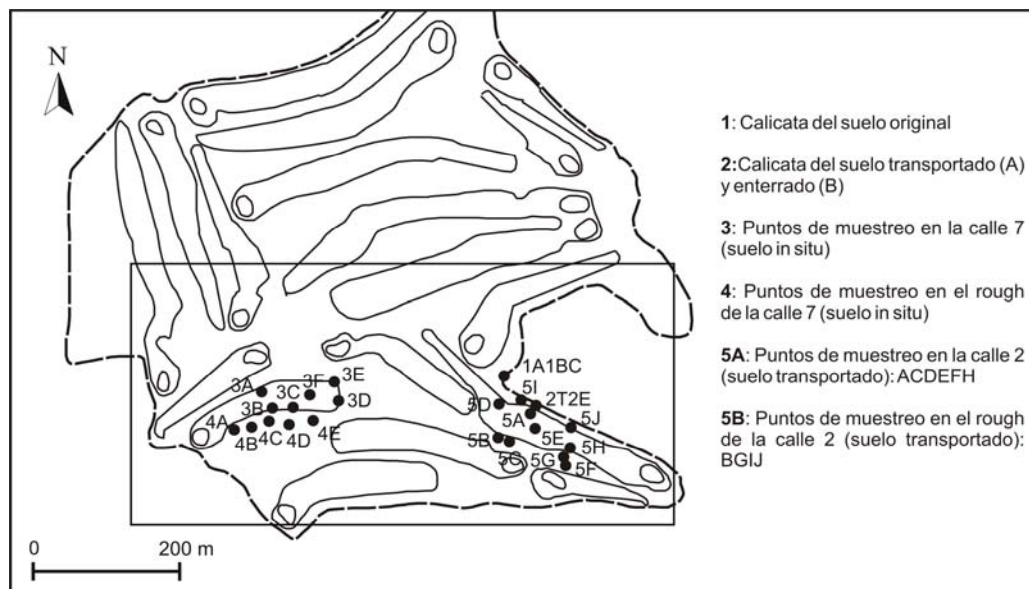
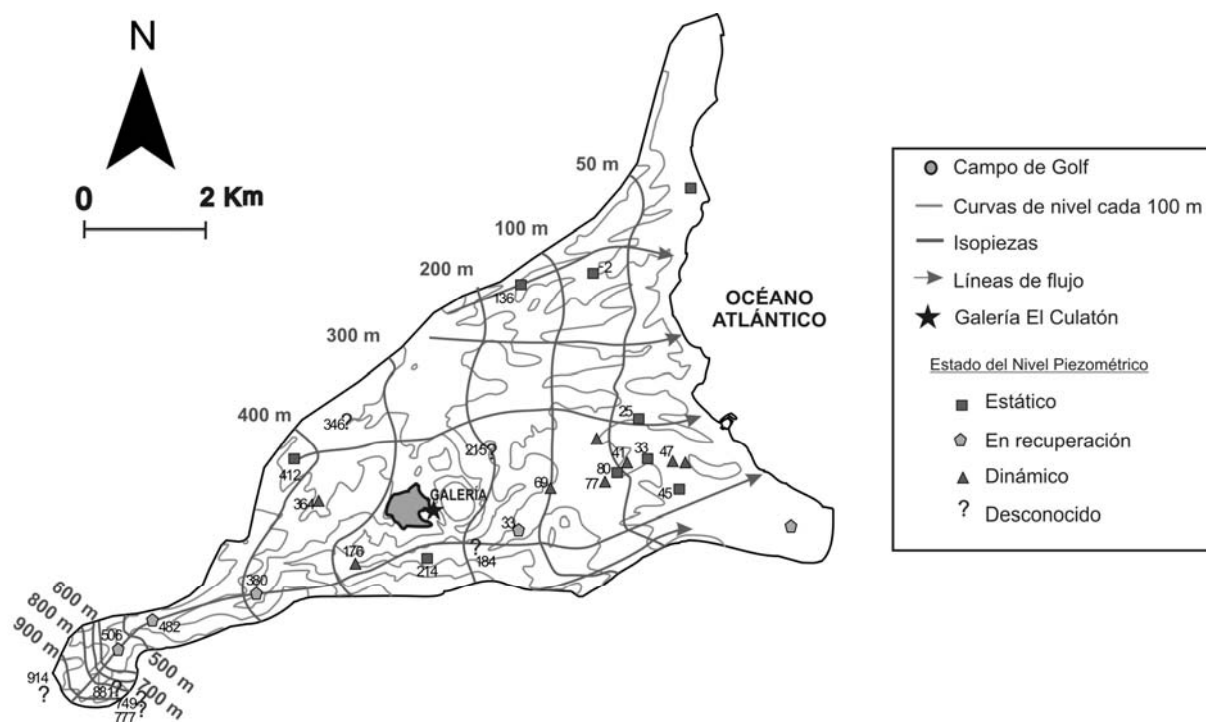


Figura 2. Localización de las muestras de suelo tomadas en 2008.

Dentro del presente trabajo se ha procedido a realizar muestreos periódicos del agua de riego, agua de lixiviado del suelo y agua subterránea. El lixiviado del suelo se está caracterizando mediante la instalación de un lisímetro (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.

## 2.2. Caracterización hidrogeológica

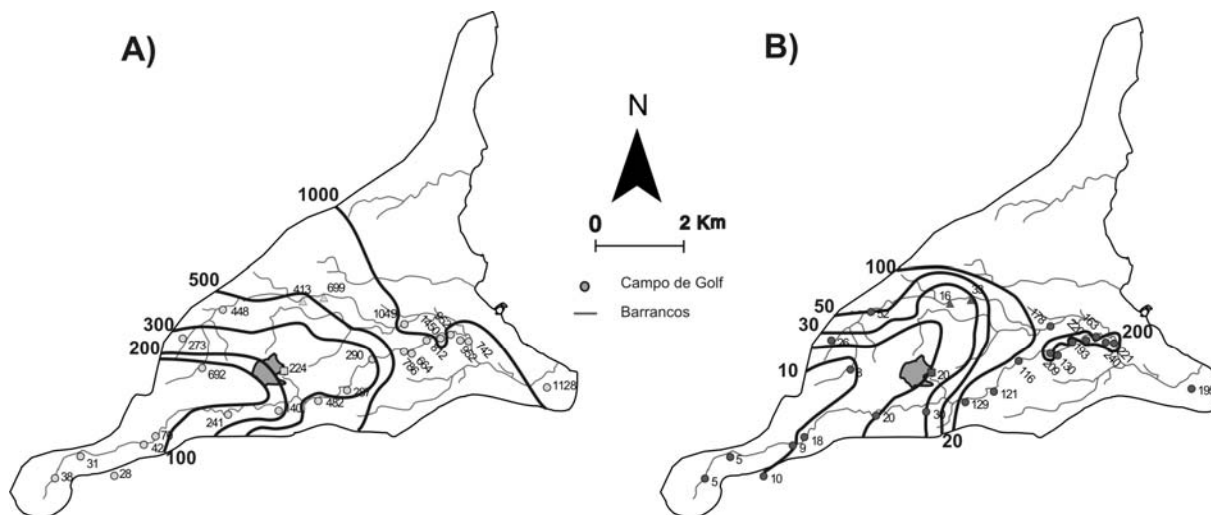
El funcionamiento hidrogeológico de las Islas Canarias se caracteriza por la existencia de un acuífero único con una superficie piezométrica en forma de domo que alcanza máximos en el centro de la isla (SPA-15, 1975). Este conjunto puede ser complejo dependiendo de la geología de cada edificio insular, 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 4.** Piezometría de la zona N4 de Gran Canaria para 1997 (CIA, 1997). Se indica la situación del campo de golf de Bandama,

A partir de datos de inventario de puntos de agua del verano de 1997 (CIA, 1997) se ha caracterizado la zona N4 de la isla, en que se enmarca el área de estudio. Así, la piezometría de la zona (Figura 4) refleja que el flujo subterráneo se produce desde el ONO al ESE, 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. 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

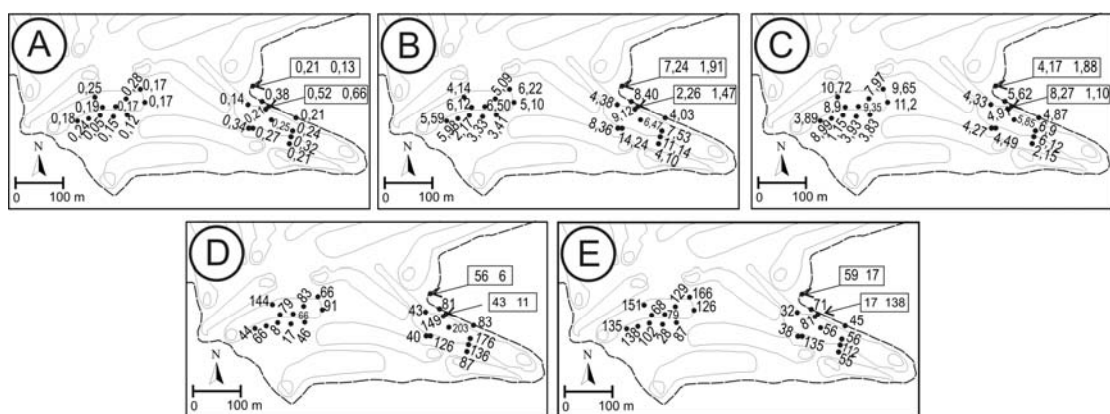
residencia del agua en el acuífero y con la llegada de aguas de recarga cada vez más salinas según aumenta la cercanía al mar. Este hecho queda patente en la Figura 5A, que muestra las isocontornos de Cloruros en las aguas subterráneas de la zona a partir del inventario de 1997 (CIA, 1997). Las concentraciones en  $\text{NO}_3$  en las aguas subterráneas se observan en la Figura 5B (según estos mismos datos), que evidencia su aumento en el Barranco de Las Goteras, situado al Sur de la zona de estudio, que corresponden con una zona con cultivos y casas dispersas.



**Figura 5.** Isocontornos en Cl (A) y  $\text{NO}_3$  (B) en la zona N4 de Gran Canaria para los datos de 1997 (CIA, 1997). Se indica la situación del campo de golf de Bandama.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la campaña del 2008, los valores de conductividad 1:5 en agua, Materia Orgánica (M.O., combustión seca), Nitratos (cromatografía iónica), Fósforo (Olsen) y Boro (Agua caliente) se muestran en la Figura 3, mientras que los valores estadísticos de los mismos y la diferencia entre los valores de 2008 y 2009 se recogen en la Tabla 1.



**Figura 3.** 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) en las muestras de suelo.

**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).

	Año	Cond. 1:5 (dS/m)		M.O. %		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (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	

Un análisis global de los valores obtenidos para los parámetros físico-químicos analizados (Tabla 1), ha puesto de manifiesto la importante variabilidad espacial del campo de golf, incluso considerando separadamente cada zona homogénea respecto al manejo del agua (calle o rough). Sin embargo, el rango de variabilidad encontrado se mantiene en los mismos intervalos de otros estudios que abordan zonas amplias y condiciones reales de campo. Así por ejemplo, Román et al. (2002) citan variabilidades espaciales superiores al 70% para cloruros y nitratos. En nuestro estudio, mientras que algunos parámetros como la Conductividad Eléctrica (CE) o el contenido en Materia Orgánica (MO) se mantienen en un rango de variabilidad (CV) en torno al 20-25%, otros, como los nitratos, fosfatos o el B evidencian en algunas zonas de muestreo tal variabilidad (CV próximos al 50%), que imposibilita el llegar a conclusiones definitivas en el análisis temporal. 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). Por ello, en el futuro habrá que incrementar el número de puntos de muestreo teniendo en cuenta esta información o renunciar a obtener conclusiones definitivas para estas zonas.

Se observa que casi todos los valores (CE, MO y nitratos) han disminuido entre 2008 y 2009, 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, para los elementos poco móviles, de una mayor actividad biológica en el suelo (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).

En cuanto al muestreo de agua en la zona no saturada y el acuífero, hay que destacar la existencia de una galería de agua en el escarpe oeste de la Caldera, justo debajo del campo de golf (Figura 4). Esta galería se encuentra a cota 400 m y se sitúa a favor de una falla desarrollada en sentido SO-NE, transversal a la fracturación NO-SE que dio lugar al complejo volcánico (Hansen y Moreno, 2008), en el Torrente denominado El Culatón. Se sitúa claramente por encima del nivel piezométrico insular (estimado a unos 270 m de cota) 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). A partir de estos datos, se considera que la galería de El Culatón constituye el punto idóneo para muestrear el agua subterránea representativa de recibir los lixiviados del campo de golf.

En el muestreo de enero de 2009 de las aguas subterráneas de la zona N4, los datos apuntan hacia un ligero aumento de la salinidad de la misma desde 1997. Hay que destacar que en tanto en la galería El Culatón como en los pozos situados en el Barranco de Las Goteras que se encuentra más próximos al campo de golf, este incremento de salinidad se evidencia tanto por un aumento en los contenidos de cloruros como en los nitratos y los sulfatos.

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 la instalación del mismo.

**Tabla 2.** Resultados de los análisis del agua de riego, agua del lisímetro y galería en el campo de golf de Bandama. La Conductividad está expresada en  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ( $1 \mu\text{S}/\text{cm} = 1000 \text{ dS}/\text{m}$ ) y el Residuo Seco (RS) y los iones en  $\text{mg}/\text{L}$ .

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

Como primeras observaciones, 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<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y B, y más discreto en el caso de los Cl<sup>-</sup>. 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 que se usan en el campo de golf. Esta tendencia coincide con la descrita por el modelo proporcional de Jensen (Jensen et al, 1990), aunque algunos autores obtienen ratios de descarga de iones en lixiviado respecto al agua de riego inferiores a la unidad (Bustos et al, 2006). 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). Por otro lado, ha quedado patente la naturaleza de una zona no saturada de más de 200 m de espesor conformada por fundamentalmente materiales volcánicos (aglomerados, lavas y piroclastos de naturaleza basáltica y fonolítica). La parte superficial de esta zona está conformada 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.

La galería El Culatón 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.

#### 4. CONCLUSIONES

El trabajo realizado contempla de forma integrada los procesos que tienen lugar en un medio natural cuando se produce 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). Además, el manejo del agua también ha demostrado ser un factor crítico encontrándose diferencias entre las calles y el rough. Este hecho pone de manifiesto la posible influencia de los factores citados sobre los acuíferos afectados por el riego con agua depurada. Se observa también un incremento de la salinidad entre el agua de riego y el agua del lisímetro y que el agua de la El Culatón es variable químicamente, apuntando a que integra aguas de diferentes procedencias y que drena un acuífero colgado. Los trabajos futuros a desarrollar dentro de este estudio se basarán en las caracterizaciones ya realizadas y deberán ir enfocados a la evolución cualitativa y cuantitativa de los retornos de riego del campo de golf y su influencia en la calidad del agua de la galería El Culatón y del acuífero insular.

*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

- Bustos A., Caballero R. y Román R. 2006. Net changes of main ions in the soil profile of irrigated field plots in central Spain. *Irrig Sci* 25: 1-9.
- Caballero R., Bustos A. y Román R. 2001. Soil salinity under traditional and improved irrigation schedules in Central Spain. *Soil Sci Soc Am J* 65: 1210-1218
- Consejo Insular de Aguas de Gran Canaria (CIA), 1997. Inventario de puntos de agua, zona N4. Datos internos, sin publicar.
- 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.
- Jensen ME., Burman RD., Allen RG (eds). 1990. Evapotranspiration and irrigation water requirements (Chapter 5). In: *Evapotranspiration and irrigation water requirements*. ASCE Manuals and Reports No 70Am Soc Civil En., New York pp 60-74.
- 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, 55 pp.
- Román R., Caballero R. y Bustos A. 2002. Variability of soil solution ions in fallow-land field in Central Spain. *Edafología* 9:161-172
- 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.