

CARACTERIZACIÓN Y EVOLUCIÓN DEL SUELO Y EL AGUA DE UN CAMPO DE GOLF DE GRAN CANARIA REGADO DESDE 1976 CON AGUAS REGENERADAS

E. Estévez¹, J.R. Fernández-Vera², A. Benavides¹, V. Mendoza-Grimón³, F. Fonseca⁴, T. Cruz¹, M.C. Cabrera¹, J.M. Hernández-Moreno⁵, M.P. Palacios-Díaz³

¹ Dpto. de Física. Univ. de Las Palmas de Gran Canaria. eestevez@proyinv.es; abenavides@proyinv.es; tcruz@becarios.ulpgc.es; mcabrera@dfis.ulpgc.es;

² Laboratorio Fitopatológico y Agroalimentario del Cabildo Insular de Gran Canaria, jrfernandez@grancanaria.com

³ Dpto. de Patología Animal, Producción Animal y Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Univ. de Las Palmas de Gran Canaria. vmendoza@dpata.ulpgc.es; mpalacios@dpata.ulpgc.es

⁴ Institut de recerca i tecnologia agroalimentària. Tecnologia del Riego. Centro Lleida, francisco.fonseca@irta.cat

⁵ Dpto. de Edafología y Geología. Univ. de La Laguna. España. jhmoreno@ull.es

RESUMEN. En este trabajo se caracteriza el suelo del campo de golf de Bandama (regado desde hace más de treinta años con agua depurada) estudiando su evolución durante los tres últimos años. El campo está compuesto por 18 hoyos, cuyas calles y greens ocupan 14,5 ha. Algunas calles fueron establecidas directamente sobre el suelo natural (conformado sobre piroclastos basálticos con 2000 años de antigüedad), mientras que el resto de las calles se diseñaron en suelos arcillosos transportados desde las zonas agrícolas de medianías de la isla. Para este estudio se analiza la relación entre la ET (evapotranspiración), los datos pluviométricos y los datos que caracterizan el manejo del riego (distinto para el riego de calles y rough), además de la calidad del agua de riego y del lixiviado extraído desde un lisímetro instalado en una calle de suelo in situ. Así mismo, se ha muestreado el agua de la galería "El Culatón", emboquillada a 400 m snm y ubicada por encima del nivel freático insular.

El objetivo del trabajo es estudiar la evolución del suelo en el periodo 2008-2010, describiendo los rangos de variabilidad de los distintos parámetros analizados: la Conductividad Eléctrica (CE), el contenido en Materia Orgánica (MO), así como la concentración de cationes, nitratos, fósforo (P), y boro (B), considerándola en función de los factores: suelo, manejo del riego y variación estacional e interanual. Se han tenido en cuenta los datos obtenidos del balance de agua y el análisis de la calidad del agua de riego, del lisímetro y de la galería, el manejo del riego y la química del horizonte superficial del suelo.

La calidad de agua de la galería apunta a que se está produciendo un exceso de riego, pues se cuantifican en ella elementos poco móviles en el suelo (P y B). La concentración de nitratos no parece ser originada en el campo de golf. La disminución de la salinidad del agua de riego desde enero de 2010 tiene un efecto directo en los parámetros medidos en suelo y en el agua recogida en el lisímetro, lo que puede estar influyendo en la estabilidad de los agregados del suelo. El incremento del contenido de agua con la profundidad durante el periodo húmedo estudiado coincide con el exceso de agua calculado anteriormente.

ABSTRACT. In this study we characterize the soil of the

Bandama golf course (irrigated for more than thirty years with treated water) by studying its evolution over the past three years. The field consists of 18 holes which fairways and greens occupy 14.5 ha. Some fairway were laid directly on the natural soil (formed on basaltic pyroclastic 2000 years old), while the rest of the fairways were designed in clay soils transported from the agricultural lands of the island. In this study we analyze the relationship among: the ET, rainfall data and irrigation management (different between fairway and rough) as well as the quality of irrigation water and extracted leachate from a lysimeter installed on a fairway in soil in situ. Also, it has been sampled groundwater from the gallery "El Culatón", 400 m above sea level and located above the piezometric level of the insular aquifer. The aim of this work is to study the evolution of the soil in the period 2008-2010, describing the range of variability of different parameters: electrical conductivity (EC), organic matter (OM) and cations, nitrates, phosphorus (P) and boron (B), seen in terms of the factors: soil, irrigation management and seasonal and interannual variation. It also lists the data obtained from water balance and analysis of its quality (irrigation, lysimeter and gallery), the water management and the contents analyzed in the surface layer of soil.

The water quality of the gallery indicates that a large amount of excess irrigation is being produced, because it quantifies some low mobile soil elements (P and B). Nitrate concentration does not seem to be originating from the golf course. The increased water consumption and the reduction of its salinity from January 2010 (due to lower proportion of reclaimed water) has a direct effect on the parameters measured in soil and water from the lysimeter, which may be influencing stability of soil aggregates. The increase in volumetric water content with depth during the wet period studied was in agreement with the previously calculated excess water.

1.- Introducción

Debido a su prolongada experiencia en el riego con

aguas regeneradas, el campo de golf de Bandama ha sido objeto de estudio durante los últimos tres años, 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), donde se ha tratado de evaluar la posible afección al acuífero como consecuencia de dicho riego.

La zona de estudio se localiza en el sector NE de Gran Canaria. Los materiales que afloran en la zona son lavas y piroclastos basálticos con 2000 años de antigüedad muy poco alterados. Estos materiales fueron emitidos en las erupciones que dieron lugar al Pico y la caldera de Bandama (Fig. 1), que cubrieron de cenizas más de 50 km² y 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 del Grupo Roque Nublo (in situ y deslizados) y fonolíticos más antiguos (hasta 13 Ma) entre los que se intercalan conglomerados aluviales que afloran en el interior de la caldera.

Unos 60 m por debajo del campo de golf, en el escarpe Oeste de la caldera de Bandama se localiza la galería de agua “El Culatón” (Fig. 1), que se sitúa a favor de una fractura 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. Está ubicada por encima del nivel freático insular y representa un nivel colgado desarrollado en el contacto entre dos unidades de materiales deslizados del Grupo Roque Nublo. Estas zonas de contacto se caracterizan por la presencia de material arcilloso triturado que constituyen las unidades de despegue durante el deslizamiento en bloques diferenciados. Tiene una longitud de 40 m y un caudal de 0,05 L/s (según medidas de octubre del 2010).



Fig. 1. Localización del área de estudio, disposición de las calles en el campo de golf y modelo digital del terreno en tres dimensiones (Google Earth, 2009) donde se sitúa el campo de golf, el Bco. de Las Goteras, la galería El Culatón, la Caldera y el Pico de Bandama.

Estudios previos realizados por este equipo (Cabrera et al. 2009) muestran que en la cuenca del barranco de Las Goteras el flujo subterráneo responde al modelo insular (OSO a ENE) y que el nivel piezométrico general se sitúa a más de 200 m de profundidad por debajo del campo de golf (Fig. 2). Sin embargo, los pozos tienen profundidades diferentes, por lo que los niveles medidos en los mismos deben ser tomados con precaución. En el mencionado estudio se demuestra que la química de la galería El Culatón y de los pozos situados en el barranco es diferente, concluyendo 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.

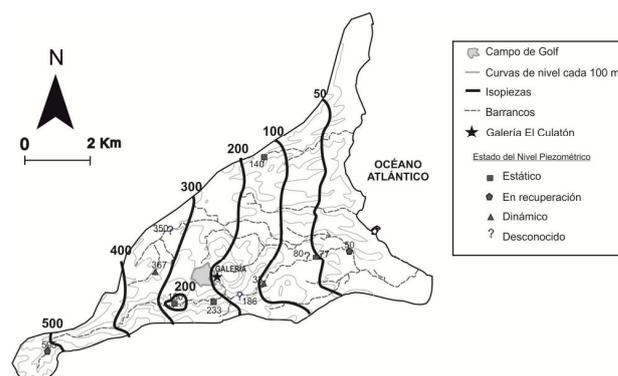


Fig. 2. Piezometría tentativa de la zona de estudio según los datos del inventario de 2009. Cabrera et al. (2009).

Palacios et al. (2009) caracterizaron el suelo del campo de golf, distinguiendo dos tipos diferentes en función de su origen: in situ (calle 7) y transportado (calle 2) (Fig. 1).

Dada la geología de la zona, el suelo in situ está conformado por piroclastos basálticos poco alterados con una potencia de 0.25-0.5 m, sobre los que se ha desarrollado una cubierta de alteración franco-arenosa. El suelo transportado de cotas superiores de la misma vertiente de la isla (calles 1, 2 16 y 18), tiene una potencia similar y es de naturaleza arcillo-limosa.

El campo de golf se riega desde 1976 con agua depurada en la Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) de la ciudad de Las Palmas Gran Canaria. A partir del 2002 la instalación de un sistema de tratamiento terciario de desalación por ósmosis inversa supuso un salto cualitativo en mejora de la calidad del agua (Consejo Insular de Aguas, 1999).

El objetivo del trabajo es estudiar la evolución del suelo en el periodo 2008-2010, describiendo los rangos de variabilidad de los distintos parámetros analizados: la Conductividad Eléctrica (CE), el contenido en Materia Orgánica (MO), así como la concentración de cationes, nitratos, fósforo (P) y boro (B), considerándola en función de los siguientes factores: suelo, manejo del riego y variación estacional e interanual. Así mismo se relacionan los datos obtenidos del balance de agua y el análisis de su calidad (de riego, del lisímetro y de la galería), el manejo de la misma y los contenidos analizados en el horizonte superficial del suelo.

2.- Material y Métodos

2.1-Situación y descripción

La zona de estudio se localiza en el sector NE de Gran Canaria (Fig. 1). Se caracteriza por un clima semiárido, con una precipitación media 300 mm/año, temperaturas medias anuales de 19°C (22°C en el mes más cálido y 16°C en el más frío) y una humedad mínima del 78% en invierno y del 85% de máxima en verano, y una ET calculada por Thornthwaite (Jensen et al. 1990) de 745

mm en el periodo 1961-1990. Se dispone de una estación termopluviométrica muy próxima a la zona de estudio pero dicha estación no permite el cálculo de ET a partir de la ecuación de Penman-Monteith.

Se ha actualizado la serie histórica de datos pluviométricos y se han considerado los datos de consumo de agua descritos en estudios anteriores (Palacios et al. 2009).

La superficie, de 14,5 ha se riega por aspersión desde 1983, con dosis y frecuencias de riego que varían en función de las decisiones del técnico de mantenimiento del campo, encontrando variaciones entre el invierno y el verano, donde las dosis alcanzan máximas de 7 mm/día. Una descripción más detallada del riego puede encontrarse en Estévez et al. (2010). La especie predominante en las calles es el Kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum*). Las calles del campo no se fertilizan desde el 2007. Los tees y greens se fertilizan a voleo bimensualmente con nitrato cálcico granulado a una dosis de 10 g/m².

Para este estudio se muestreó: i) suelo del campo de golf, ii) agua de riego procedente del terciario de Las Palmas de GC, recogida en la tubería a la entrada del campo, iii) agua de un lisímetro (Drain Gauge, Decagon Devices, Inc.) instalado en noviembre del 2008 (LIS1), cuya instalación se realizó por debajo de la zona explorada por las raíces en la calle 12 (suelo original) y iv) el agua de la galería “El Culatón” que tiene 40 m de longitud y está emboquillada a 400 m snm, justo debajo el campo de golf (Fig. 1). Se instaló un segundo lisímetro en Febrero del 2010 sobre el suelo transportado (calle 2) pero no ha sido posible disponer de datos suficientes para analizar la calidad del agua. Los lisímetros disponen de sensores automáticos de medida de humedad de suelo, que fueron instalados en febrero del 2010 a tres profundidades (0,15, 0,35 y 0,7 m) y de un sensor que estima el drenaje.

En noviembre del 2010 se muestrearon en el suelo los mismos puntos del horizonte superficial (0-0,15m) que en las campañas anteriores (2008 y 2009), para la calle 7: 6 muestras en la calle y 5 en el rough y, para la calle 2: 4 en la calle y 5 en el rough. Se presentan los resultados medios, las desviaciones y los coeficientes de variación para el periodo 2008-2010 (tres muestreos). Además, con objeto de valorar la variación estacional, se realizó en noviembre de 2009 un muestreo suplementario de los puntos situados en las calles, presentándose los resultados de los 4 muestreos realizados desde el 2008 al 2010 en forma de diagramas box-plot. Para las muestras de suelo se determinaron pH (método electrométrico), CE (1:5), MO, nitrato, P y B. Los métodos analíticos por el laboratorio de análisis (Laboratorio Fitopatológico y Agroalimentario del Cabildo de Gran Canaria) utilizados fueron: electrometría para pH y CE, electrodo selectivo para nitratos, combustión seca para N y C, Olsen-colorimétrico para el P, y la extracción del B en agua caliente con determinación por ICP.

También se analizaron las calidades de agua de riego (mensual), las recogidas con el LIS 1 (época de lluvias) y la de la galería (trimestral), determinando los siguientes parámetros pH, CE, Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻,

NO₃⁻, NH₄⁺, B y P (Tablas 2, 3, y 4). Los análisis de las muestras de agua también se llevaron a cabo por el laboratorio Fitopatológico y Agroalimentario del Cabildo de Gran Canaria usando las siguientes metodologías: electrometría para determinar pH y CE, ICP para B, P y cationes, excepto el NH₄⁺ (espectrofotometría UV), cromatografía iónica para determinar Cl⁻, SO₄²⁻ y NO₃⁻, y acidimetría para HCO₃⁻.

3.- Resultados y discusión

En la Fig. 3 se presentan los resultados de la serie de los datos pluviométricos desde 2002.

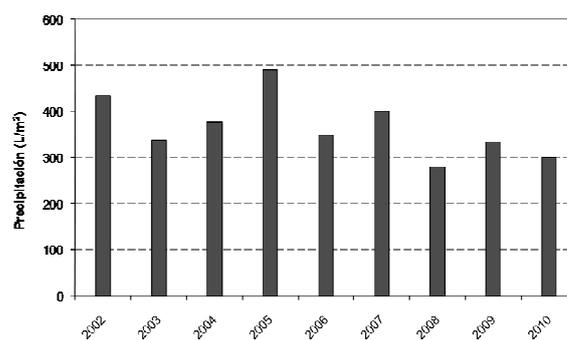


Fig. 3. Precipitación anual desde 2002 medida en el pluviómetro del campo de golf.

Estudios anteriores mostraron que el consumo de agua varía entre los 1500 y los 2000 mm anuales, que comparado con el cálculo de la ET según Thornthwaite para una estación cercana (745 mm anuales) permite estimar un exceso en el riego, como ya se describió en Estévez et al. (2010). En los últimos años la precipitación (Fig. 3) y la ET se han mantenido prácticamente constantes.

En el año 2010 desciende la salinidad del suelo (Fig. 4), aunque es importante destacar que los valores ya estaban muy por debajo del umbral de salinidad del kikuyu.

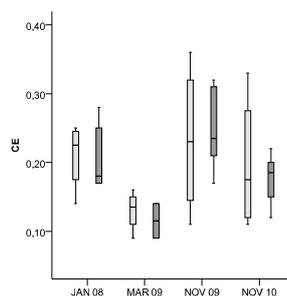


Fig. 4. Evolución de la conductividad eléctrica (CE, en dS/m) del suelo (1:5), en las calles 2 y 7 a lo largo del tiempo.

Este hecho coincide con la importante disminución de la salinidad agua de riego (0,3 dS/m), como se verá en los resultados de dicha calidad de agua. Además se observa una variación estacional de la salinidad, que disminuye coincidiendo con el final del periodo húmedo. Este hecho

pone de manifiesto la importancia de tener en cuenta las fechas en las que se programa el muestreo para estos estudios.

En la Fig. 5 se presentan los resultados en las calles para el resto de los parámetros (MO, nitrato, P y B).

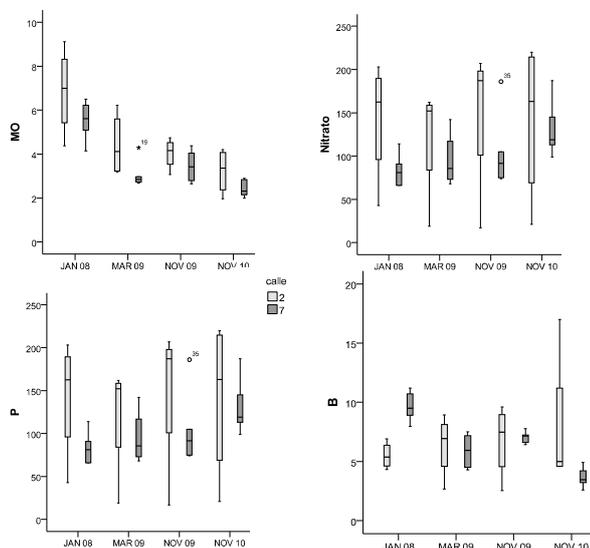


Fig. 5. Evolución de la MO, nitrato, P y B en el suelo de las calles 2 y 7 a lo largo del tiempo.

En la tabla 1 se presentan los resultados de los análisis de suelo correspondientes a los muestreos completos (calle y rough), en los que influyen tanto el cambio en la calidad y cantidad de agua como el efecto estacional de la época del muestreo, lo que explica la gran variación observada en la mayoría de los parámetros.

Tabla 1. Resultados medios, desviaciones y los coeficientes de variación (CV) de pH, CE (1:5), MO, relación carbono nitrógeno (C/N), nitratos, P y B en el periodo 2008-2010 (tres muestreos) para las calles (C) y los roughs (R) de las calles 2 y 7.

Estadísticos		pH	CE 1:5 dS/m	M.O. %	C/N	AGUA DE RIEGO		
						NO ₃ ⁻ mg/kg	P mg/kg	B mg/kg
MEDIA	C 2	8,1	0,2	4,8	9,6	40,8	135,2	6,6
DESVEST	C 2	0,16	0,07	2,12	1,32	23,70	71,30	3,67
CV	C 2	0,02	0,39	0,44	0,14	0,58	0,53	0,56
MEDIA	R 2	8,3	0,2	4,6	10,7	36,0	76,6	6,7
DESVEST	R 2	0,29	0,10	3,11	1,21	30,03	44,08	2,91
CV	R 2	0,03	0,45	0,68	0,11	0,84	0,58	0,43
MEDIA	C 7	8,1	0,2	3,7	9,3	57,4	102,9	7,6
DESVEST	C 7	0,38	0,05	1,51	1,31	50,92	32,59	1,93
CV	C 7	0,05	0,32	0,41	0,14	0,89	0,32	0,26
MEDIA	R 7	7,6	0,1	3,4	11,2	97,2	30,1	3,3
DESVEST	R 7	0,63	0,12	1,45	1,25	169,95	22,37	2,21
CV	R 7	0,08	0,83	0,42	0,11	1,75	0,74	0,66

Como ya destacaron Palacios et al. (2009), la variabilidad es inferior en las calles, lo que confirma un manejo del riego menos cuidadoso en el rough. En la tabla 1 se observa un incremento en la variación de la CE y MO respecto al observado en el estudio anterior, explicable al disminuir los valores del 2010 (Figs. 4 y 5).

Se observa una tendencia a mayores valores en el suelo transportado (2) que en el suelo in situ (7), tanto para la MO

como para el P. Los valores tan elevados de P en ambas calles son difícilmente explicables con el programa de abonado definido por el responsable del campo, ya que no se cita ningún abonado fosfórico. Los contenidos de nitrato son muy variables y anormalmente elevados en el rough de la calle 7, fundamentalmente por altos valores del muestreo realizado en la primavera de 2009. Este hecho resulta difícil de explicar a menos que dicho rough reciba el agua concentrando el abonado de las calles adyacentes. El cambio en la calidad de agua usada en los últimos años, cuyos contenidos en B son inferiores como se verá en la tabla 2, puede explicar la disminución en el suelo de los contenidos de B medidos en el 2010.

En las tablas 2, 3 y 4, se presentan resultados de los muestreos de agua de riego, lisímetro y galería “El Culatón”.

Tabla 2. Resultados de los muestreos de agua de riego, para los parámetros pH, CE (dS/m) y Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻, NO₃⁻, NH₄⁺, B y P, expresados en mg/L.

Fecha	AGUA DE RIEGO											
	07-11-08	19-02-09	12-03-09	18-03-09	30-04-09	12-01-10	03-02-10	03-03-10	19-04-10	04-05-10	05-07-10	
pH	7,3	7	8,1	7,3	7,4	7,8	7,5	7,5	7,7	7,7	7,8	
CE	1,02	0,74	0,81	1,11	0,93	0,28	0,29	0,3	0,23	0,27	0,22	
Na ⁺	172	119	124	170	165	23	28	32	18	24	17	
K ⁺	11	12	11	14	11	3	2	3	2	2	2	
Ca ²⁺	12	15	19	17	8	15	14	12	13	12	12	
Mg ²⁺	6,8	6,8	12	8,9	5,1	10	9,9	8,1	9,8	9,2	8,5	
Cl ⁻	207	149,9	141	211	183	37	40	42	27	32	25	
SO ₄ ²⁻	42	37,1	47	47	34	12	14	15	13	13	8	
HCO ₃ ⁻	118,3	108,6	153	179	123	88	83	73	67	73	74	
NO ₃ ⁻	29,2	4	21	18	26	3,5	7,4	12	7,3	7,6	4	
NH ₄ ⁺	0,6	0,4	0,3	13	0,46	0	0	0,68	0	0,18	0	
B	1,46	1,06	1,00	1,00	1,23	0,08	0,16	0,22	0,05	0,12	0,07	
P	0,7	1,6	0,01	0,01	1,5	0,01	0,01	0,1	0,1	0,1	0,2	

Tabla 3 Resultados de los muestreos de agua del lisímetro (LIS1), para los parámetros pH, CE (dS/m) y Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻, NO₃⁻, NH₄⁺, B y P, expresados en mg/L.

Fecha	AGUA DEL LISÍMETRO								
	13-11-08	03-02-09	12-02-09	19-02-09	18-03-09	30-04-09	12-01-10	22-02-10	04-03-10
pH	8	8,6	8,6	8,3	8,1	8,7	8,3	8	7,81
CE	1,74	2,31	1,72	2,24	3,12	2,98	5,36	4,77	4,32
Na ⁺	323,6	474,4	517,9	504	647	667	927	731	679
K ⁺	31,8	36	39,7	40,4	48	52	101	78	75
Ca ²⁺	25,9	29,8	25,5	25,2	28	38	99	118	114
Mg ²⁺	9	14,8	15,3	14,7	19	25	76	87	78
Cl ⁻	297	194	161,7	153,8	387	393	1261	1047	927
SO ₄ ²⁻	85	63,8	54,8	52,4	40	51	100	152	144
HCO ₃ ⁻	396,5	-	-	-	-	-	1060	671	-
NO ₃ ⁻	1,3	81	75	70	17	36	82	302	298
NH ₄ ⁺	6,04	6,9	4,64	2,89	2	3	1	7	0,15
B	7,44	4,93	4,447	4,402	4,22	4,65	5,18	4,16	4,33
P	0,16	-	0,3	2,5	0,8	0,5	0,6	0,3	0,01

En general, la mayor concentración en el lisímetro respecto al agua de riego se debe al efecto de lixiviación de iones con las elevadas fracciones de lavado, aunque algunos autores obtienen ratios de descarga inferiores a la unidad (Bustos et al, 2006).

Paradójicamente a partir del cambio en la calidad del agua de riego en invierno del 2010, en LIS1 se observa una tendencia contraria entre la salinidad del agua de riego (que disminuye) y el agua del lisímetro (que se incrementa desde su instalación) (Fig. 6). La salinidad del agua de la galería El Culatón permanece constante. No se

ha podido muestrear agua del segundo lisímetro (LIS2) pese al tiempo que lleva instalado.

Tabla 4 Resultados de los muestreos de agua de la galería “El Culatón”, para los parámetros pH, CE (dS/m) y Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻, NO₃⁻, NH₄⁺, B y P, expresados en mg/L.

Fecha	GALERÍA							
	12-11-08	28-01-09	14-07-09	03-11-09	03-02-10	04-05-10	05-07-10	26-10-10
pH	7,5	7,9	7,6	7,5	7,4	7,6	7,5	8
CE	1,67	1,65	1,91	1,63	1,64	1,62	1,62	1,5
Na ⁺	305,0	301,1	301,0	295,0	310,0	315,0	300,0	300,0
K ⁺	7,4	7,6	8,0	8,2	7,4	7,7	6,8	7,5
Ca ²⁺	8,4	8,6	8,5	8,1	9,7	7,5	8,0	7,8
Mg ²⁺	9,7	9,8	9,4	9,8	11,0	9,8	9,4	9,9
Cl ⁻	332,4	329,1	336,0	332,0	346,0	308,0	331,0	320,0
SO ₄ ²⁻	124,3	130,2	131,0	133,0	131,0	122,0	126,0	128,0
HCO ₃ ⁻	140,3	128,1	154,0	110,0	139,0	135,0	142,0	121,0
NO ₃ ⁻	47,0	54,4	48,0	58,0	55,0	55,0	50,0	66,0
NH ₄ ⁺	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03
B	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5
P	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4

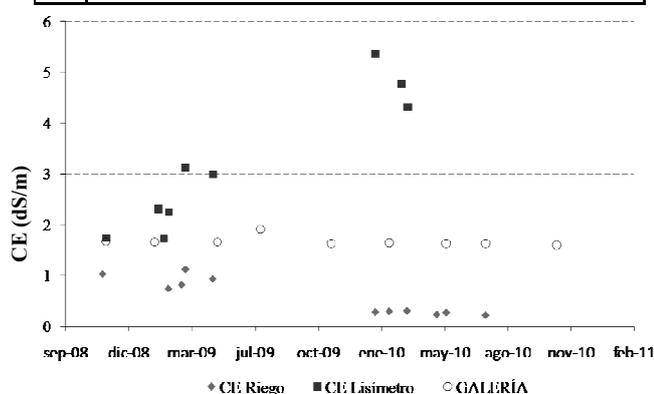


Fig. 6. Evolución de la Conductividad Eléctrica (dS/m) del agua de riego, de lisímetro y de la galería.

Aunque los valores de nitrato del agua de riego no son muy elevados, se encuentran cantidades apreciables en el lisímetro, cuyos valores máximos no parecen relacionarse con los contenidos del agua de riego, siguiendo la tendencia inversa descrita para la salinidad. La variación encontrada en el lisímetro coincide su con la gran variabilidad de este parámetro en el suelo. En la galería se encuentran cantidades apreciables (por encima de los 50 mg/L) que se muestran estables en el tiempo aunque su valor se ha incrementado respecto a los datos del 1997 (Cabrera et al. 2009). Estos valores son inferiores a los observados en pozos próximos lo que induce a pensar en que su origen está fuera del campo de golf. Este resultado es coherente con la adecuada gestión del abonado nitrogenado que se lleva a cabo en el campo de golf. Los contenidos de amonio son bajos en el agua de riego y se incrementan en el lisímetro (aunque se puede descartar que se produzca la amonificación en el reservorio de muestreo). En la galería se encuentran cantidades despreciables, lo que resulta lógico.

El P encontrado en el lisímetro parece relacionarse con la calidad del agua de riego. Aún cuando en el agua de riego los contenidos de P suelen ser bajos (<1 mg/L), eventualmente se incrementan. Dichos incrementos coinciden con épocas con valores superiores de P en el lisímetro, aunque en general el agua del lisímetro suele

tener un contenido de P más estable (lo que es coherente con su alta capacidad de adsorción en el suelo). Los contenidos de P determinados en la galería son muy estables y ligeramente elevados considerando la baja movilidad de este elemento. Al asociar estos valores de la galería con un balance de agua excesivo, capaz de lavar durante años el P del suelo, se pueden explicar estos resultados.

El B se incrementa alrededor de un orden de magnitud en el agua del lisímetro respecto a la de riego, encontrándose concentraciones muy elevadas. Como el B es un elemento poco móvil en el suelo es esperable que el exceso de agua aplicado haya contribuido a su lavado. Este elemento también se encuentra en el agua de la galería, pero en valores muy estables, hecho que resulta coherente con su lento transporte en el suelo. Pese a que las concentraciones de K⁺ en el agua de riego de menor salinidad (a partir de enero del 2010) son un orden de magnitud inferiores a las medidas en el periodo anterior, para el sulfato son aproximadamente de la mitad, y para el Ca²⁺ y Mg²⁺ se mantienen constantes, en el lisímetro el valor de K⁺ y sulfato se duplica y para el Ca²⁺ y Mg²⁺ se triplica a partir de dicha fecha. Este hecho puede ser consecuencia de una desestabilización de los agregados.

La Fig. 7 representa la evolución diaria de la precipitación, el riego de las calles (con dosis variables entre 2,3 y 4,7 mm), el drenaje y la humedad del suelo medida por los sensores del lisímetro de la calle 12 (LIS1), en el periodo 24/02/10-18/02/11. Relacionando la precipitación y el riego de las calles con la humedad del suelo y el drenaje, se observa que los episodios de drenaje son muy poco frecuentes, hecho que coincide con los múltiples muestreos en los que no se extrajo solución. De hecho sólo se producen 6 pequeños drenajes (menos de 2,5 mm) después de lluvias inferiores a 5 mm mientras que los episodios de drenaje importantes (92 y 39 mm) se producen a finales de diciembre del 2010, después de las fuertes lluvias (con un máximo diario de 170 mm). Este resultado no coincide con los excesos calculados en el balance (Estévez et al. 2010), pese a lo obtenido por Arauzo et al. (2010) que demostraron una perfecta coincidencia entre ambos cálculos. Por ello, nuestros resultados sólo pueden explicarse si existe algún impedimento que limite la recogida del agua. Sin embargo, y coincidiendo con los cálculos del balance, cabe interpretar el contenido volumétrico de agua medido por los sensores. La humedad se incrementa con la profundidad, y es sensiblemente constante en las profundidades de 0,35 y 0,7 m durante el periodo húmedo del 2010. Este hecho sugiere que se está produciendo un lavado constante, aunque no se pueda recoger agua de drenaje. Los datos de humedad que proporcionan los sensores explican el comportamiento de los suelos, pero con la calibración por defecto del fabricante dan valores muy bajos de contenido volumétrico, por lo que estos datos sólo pueden emplearse para realizar comparación entre sensores.

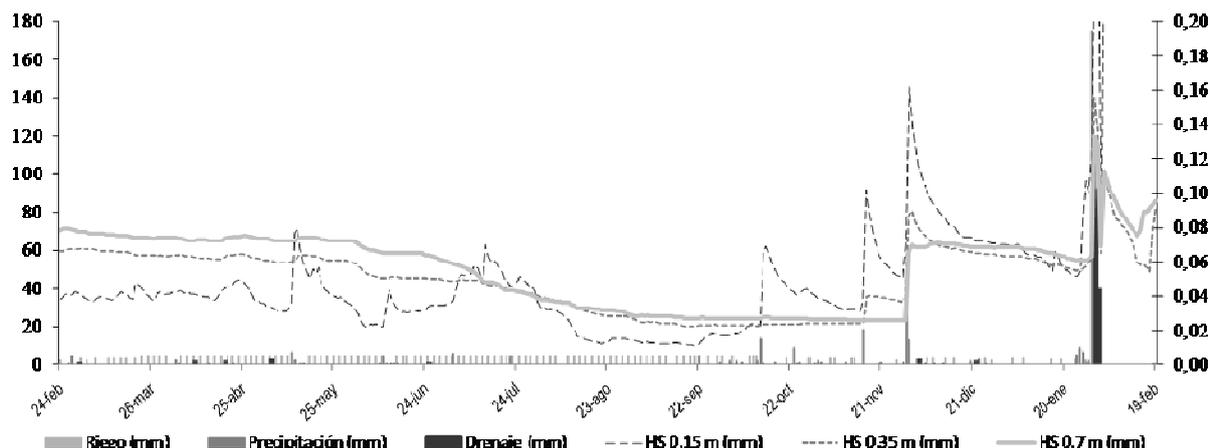


Fig. 7. Evolución diaria de la precipitación (mm), riego (mm) y drenaje (mm) (eje izquierdo) y de la humedad del suelo (mm) (eje derecho) medida por los sensores instalados a 0,15m, 0,35m y 0,7 m en el lisímetro de la calle 12 (LIS1), en el periodo 24/02/10-18/02/11.

4.- Conclusiones

La disminución de la salinidad agua de riego (0,3 dS/m) a partir de diciembre del 2010, ha producido un importante descenso de la salinidad del suelo en el 2010 cuyos valores ya estaban muy por debajo del umbral tolerado el kikuyu grass.

Las principales fuentes de variación que explican la gran variabilidad de los parámetros del suelo son: el manejo del riego, el tipo de suelo, la calidad y cantidad de agua y la estacionalidad del muestreo.

Los altos contenidos en P asimilable son difícilmente explicables ya que no se abona con dicho nutriente y el agua de riego lo aporta en baja concentración. La presencia de este nutriente tan poco móvil en el agua de la galería apunta a un prolongado exceso en el balance de agua del campo de golf. La misma tendencia se observa para el B. Los estables contenidos de nitrato en la galería oscilan alrededor de los 50 mg/L, no pareciendo ser el campo de golf el causante de esta contaminación.

A partir del uso de agua de riego de baja salinidad los valores de Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+ y sulfato medidos en el lisímetro se incrementan significativamente lo que apunta a que se está produciendo una desestabilización de los agregados.

Los episodios de drenaje medidos con el lisímetro son muy poco frecuentes y sólo coincidentes con eventos de lluvia. El incremento del contenido volumétrico de agua con la profundidad durante el periodo húmedo estudiado coincide con el exceso de agua calculado en balances anteriores.

Agradecimientos. El presente trabajo se enmarca en el Programa CONSOLIDER-TRAGUA (CSD2006-00044) y el proyecto REDESAC (CGL2009-12910-C03-02). Se agradece a los propietarios de los pozos y al Real Club de Golf de Las Palmas, y especialmente a D. Pelayo Guerra, 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 Fitopatológico y Agroalimentario del Cabildo de Gran Canaria.

5.- Referencias.

- Arauzo A, Martínez-Bastida, J.J.; Valladolid, M. y Díez, J.A (2010); Field evaluation of Gee Passive Capillary Lysimeters for monitoring drainage in non-gravelly and gravelly alluvial soils: A useful tool to estimate nitrogen leaching from agriculture. *Agricultural Water Management* 97 465-474
- Cabrera, M.C.; Palacios, M.P.; Estévez, E.; Cruz, T., Hernández-Moreno, J.M. y Fernández-Vera, J.R. (2009): La reutilización de aguas regeneradas para riego de un campo de golf: evolución geoquímica y probable afección a un acuífero volcánico (Islas Canarias). *Boletín Geológico y Minero* 120(4), 543-552.
- Consejo Insular de Aguas, 1999. "Plan Hidrológico". Boletín Oficial de Canarias. BOE1999/073 Martes 8 de Junio de 1999, Real Decreto 82/1999, de 6 de mayo.
- Estévez, E., Cabrera, M.C., Fernández, J.R., Hernández-Moreno, J.M., Mendoza Grimón, V. y Palacios, M.P (2010). 25 years using reclaimed water to irrigate a golf course in Gran Canaria. *Spanish J of Agr Res* 8(S2), 95-101.
- 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. Las Palmas 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, *Am Soc Civil En.*, 70, 60-74.
- Palacios M.P., Fernandez-Vera J.R., Fernández-Pinazo F., Echevarria F., Hernandez-Moreno J.M. (2008). Desalination versus Reclaimed water reuse under sustainability criteria In: *UNESCO UCI Int Conf Water Scarcity*. Irvine California.
- Palacios, M.P., Estévez, E. , Cabrera, M.C., Hernández-Moreno, J.M., González-Naranjo, V. , Cruz, T. y Fernández, J.R.(2009); Resultados preliminares de los efectos de la utilización de agua depurada para riego en el campo de golf de Bandama (Gran Canaria); *ZNS 09 Estudios de la zona no saturada del suelo, Vol IX*, 184.
- 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.