

CARACTERIZACIÓN DE LOS SUBSTRATOS DE CAMPOS DE GOLF MEDIANTE TOMOGRAFÍA DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA

R. Lovera¹, J.C. Tapias², M. Himi¹, E. Margui³, I. Queralt⁴, A. Casas¹

¹ Departamento de Geoquímica, Petrología y Prospección Geológica. Universidad de Barcelona. C/. Martí i Franquès s/n. 08028-Barcelona. e-mail: rlovera@ub.edu

² Departamento de Productos Naturales, Biología Vegetal y Edafología. Universidad de Barcelona. Avda. Joan XXIII s/n. 08028-Barcelona. e-mail: jtapias@ub.edu

³ Departamento de Química. Universidad de Girona. Campus Montilivi. 17071-Girona. e-mail: eva.margui@udg.edu

⁴ Instituto de Ciencias de la Tierra- Jaime Almera. CSIC. C/. Solé Sabarís s/n. 08028-Barcelona. e-mail: iqueralt@ija.csic.es

RESUMEN. Los substratos de los campos de golf (y en particular de los *greens*) presentan características especiales desde diferentes puntos de vista. Por un lado, se trata de un substrato artificial de textura determinada y con una capacidad de drenaje bien definida, que ha de permitir mantener en buenas condiciones su cubierta de césped. Por otro lado, el cada vez más frecuente riego con agua regenerada de elevada salinidad puede dar lugar a la salinización de la zona radicular y también la contaminación de los acuíferos subyacentes.

Por consiguiente, para la buena gestión de un campo de golf es necesario conocer las propiedades hídricas particulares de cada parte del campo y también su evolución temporal.

En este estudio se presenta la utilidad de la tomografía de resistividad eléctrica como técnica no destructiva de investigación del subsuelo para caracterizar los substratos de los campos de golf y la correlación existente entre la resistividad eléctrica y las propiedades hídricas de los suelos.

ABSTRACT. The substrates of golf courses (and particularly of putting greens) have special characteristics from different points. By one side is an artificial sandy substrate having a well defined texture and drain capacity that let to maintain in good condition the grass cover. By other side the more and more widespread irrigation with reclaimed water of high salinity can cause the salinisation of the root zone and also the pollution of the underlying aquifers.

Consequently for an appropriate management of golf courses is necessary know the particular hydraulic properties of each part of the course and also temporal evolution.

In this study the effectiveness of the electrical resistivity tomography as a non-destructive method for testing subsoil structure and properties of golf courses is demonstrated. The proposed methodology can be used not only for defining the stratigraphy of the non saturated zone but also for assessing the hydraulic properties of soils and substrates through the well known relationships between electrical resistivity, clay content and permeability of soils and sediments.

1.- Introducción

La industria del golf en España ha experimentado un desarrollo extraordinario desde 1950. En España hay ahora cerca de 300 campos de golf y casi un cuarto de millón de jugadores federados, mientras que hace solamente 15 años el número de practicantes de este deporte no superaba los 30.000. Sin embargo, el golf no puede considerarse simplemente como un deporte debido al considerable interés económico que promueve. En Cataluña el golf produce un impacto económico de cerca de 20 millones de euros al año y las Autoridades responsables del turismo de Cataluña han propuesto hace algunos años el golf como una política para atraer un turismo de alto poder adquisitivo (Priestley y Sabí-Bonastre, 1993).

Desde este punto de vista, España es el segundo polo de atracción para la práctica del golf de Europa, con las Islas Baleares, la Costa del Sol y Cataluña como destinos principales. Sin embargo, a consecuencia de su rápida expansión en zonas de marcado déficit hídrico, el desarrollo de los campos de golf ha generado a menudo controversia. En los últimos años ha habido una considerable demanda a los campos de golf para que adopten estrategias de desarrollo sustentable en el diseño, construcción, y gestión (Tapias y Salgot, 2006).

A pesar de que no es habitual la aplicación de métodos geofísicos para caracterizar los substratos de los campos de golf en este estudio se muestra que la tomografía eléctrica puede proporcionar un mejor conocimiento de las propiedades hídricas de los suelos y substratos existentes en un campo. Estas propiedades no solo influyen en la calidad del césped sino que también afectan aspectos ambientales, como por ejemplo el lixiviado de nutrientes y

2.- Objetivos

El objetivo principal de este estudio es evaluar el potencial de la tomografía de resistividad eléctrica como técnica geofísica no destructiva para caracterizar los substratos y mejorar los trabajos de mantenimiento y remodelación de los campos de golf, y en particular de los *greens* que son las zonas más sensibles.

Generalmente, para determinar la geometría y las

propiedades texturales de los suelos y sustratos se extraen muestras de diferentes partes del campo de golf y se envían a laboratorios de análisis de suelos para su caracterización. Hasta ahora se han publicado pocos trabajos indicando la utilidad de los métodos geofísicos para el reconocimiento rápido y económico de suelos y sustratos de los campos de golf. Boniak et al. (2002) utilizaron con éxito la técnica de radar de subsuelo en dos campos de golf de Illinois para caracterizar el subsuelo (estratigrafía y conductos de drenaje). Allred et al (2005) se centraron en la aplicación de métodos electromagnéticos de inducción en el dominio de frecuencias y el radar de subsuelo en diferentes partes de tres campos de golf de Ohio y Ontario. Por su parte, Xia y Miller (2007) utilizaron varios métodos geofísicos integrados para analizar el riesgo y evaluar los fenómenos de subsidencia en un campo de golf construido sobre un antiguo vertedero de residuos urbanos en Kansas.

Desde el punto de vista social una de las principales preocupaciones ambientales que plantean los campos de golf es el elevado consumo de agua para su mantenimiento. Existe una opinión generalizada de que los campos de golf consumen un exceso de agua que limita su disponibilidad para otros usos, y que la práctica del golf es una actividad suntuaria. Esto ha obligado a los gestores de los campos de golf a reducir el consumo de agua como una estrategia ecológica y social y también para mitigar el creciente costo del agua. El consumo de agua de un campo de golf depende de sus dimensiones, clima local, retención de agua de los sustratos, y necesidades de agua del césped. Una buena aproximación sobre el consumo de agua de un campo de golf de 18 hoyos es aproximadamente 0'3 Mm³ por año (Tapias, 1998).

La mayor parte de las administraciones competentes en materia de agua están obligando por ley a los gestores de los campos de golf a regar con recursos de agua alternativos, principalmente con agua regenerada. Muchos campos de golf en España utilizan agua regenerada para el riego. Ya que el agua regenerada ha pasado a ser una opción básica, es necesario llevar a cabo estudios detallados sobre los problemas técnicos y sanitarios. El agua regenerada se caracteriza normalmente por su mayor salinidad, siendo necesario un control cuidadoso de los potenciales riesgos relacionados al lixiviado de sales y agroquímicos hacia el subsuelo (Brauen y Stahnke, 1995).

Durante la construcción de los *greens* de un campo de golf normalmente se elimina la capa superficial del suelo y se sustituye por un sustrato de arena cuya función es prevenir la compactación y mejorar el drenaje del agua de riego. Los sustratos arenosos tienen una menor capacidad de retención de agua y nutrientes que los suelos arcillosos o limosos (Brown y Doble, 1975). La infiltración es generalmente más rápida cuanto mayor es la granulometría del sustrato y debe aplicarse agua con mayor frecuencia. En consecuencia para calcular el volumen y programación de los riegos, es necesario determinar la tasa a la que el agua se infiltra a través del suelo.

3. - Metodología

El estudio se ha llevado a cabo en el Club de Golf Girona situado aproximadamente a 100 km al norte de la ciudad de Barcelona y ha consistido en la realización de perfiles de tomografía eléctrica sobre los 18 *greens* del campo.

Los datos fueron tomados con un resistivímetro Syscal Pro utilizando un dispositivo electródico mixto Wenner-Schlumberger con una configuración de 48 electrodos separados 0'5 metros. La profundidad máxima de investigación de este dispositivo es aproximadamente 4'5 metros, suficiente para los objetivos de nuestro estudio. Como electrodos se emplearon clavos de acero inoxidable de 1 mm de diámetro para evitar causar ningún daño a la delicada cubierta de césped de los *greens* (Fig. 1).



Fig. 1. Disposición de los electrodos sobre uno de los *green*

Para la interpretación de las medidas de resistividad aparente se ha utilizado el programa RES2DINV que se basa en la inversión por mínimos cuadrados con suavizado de los datos de la pseudo-sección (Loke y Barker 1996). Durante el proceso de inversión se adopta como criterio de convergencia el valor del error cuadrático medio (RMS) entre los datos experimentales y la respuesta del modelo actualizado en cada iteración. Si el valor del RMS o su disminución relativa se sitúan por debajo de un valor predefinido se considera que la inversión ha terminado. En este caso, 2% y 0'01 se han utilizado como valores mínimos.

De forma paralela se ha llevado a cabo un análisis textural de muestras tomadas con una sonda manual en cada uno de los sustratos de los 18 *greens* del campo mediante dos técnicas: ensayo granulométrico y método de Bouyoucos. Para el ensayo granulométrico se han usado una serie de tamices de 2, 1, 0'5, 0'30, 0'25, 0'2 y 0'1 milímetros de luz. Para el ensayo de Bouyoucos (1951) se pesaron 100 g de muestra de suelo seco. Después, se introdujo la muestra en una botella de 1 litro, se añadieron 200 mL de agua destilada y 20 mL de solución de Calgon (50 g de Calgon L⁻¹) y se dejó durante 20 minutos en agitador mecánico. Se trasvasó a una probeta de litro y se enrasó con agua destilada. Finalmente, se dejó sedimentar seleccionando los tiempos para efectuar las lecturas mediante un hidrómetro.

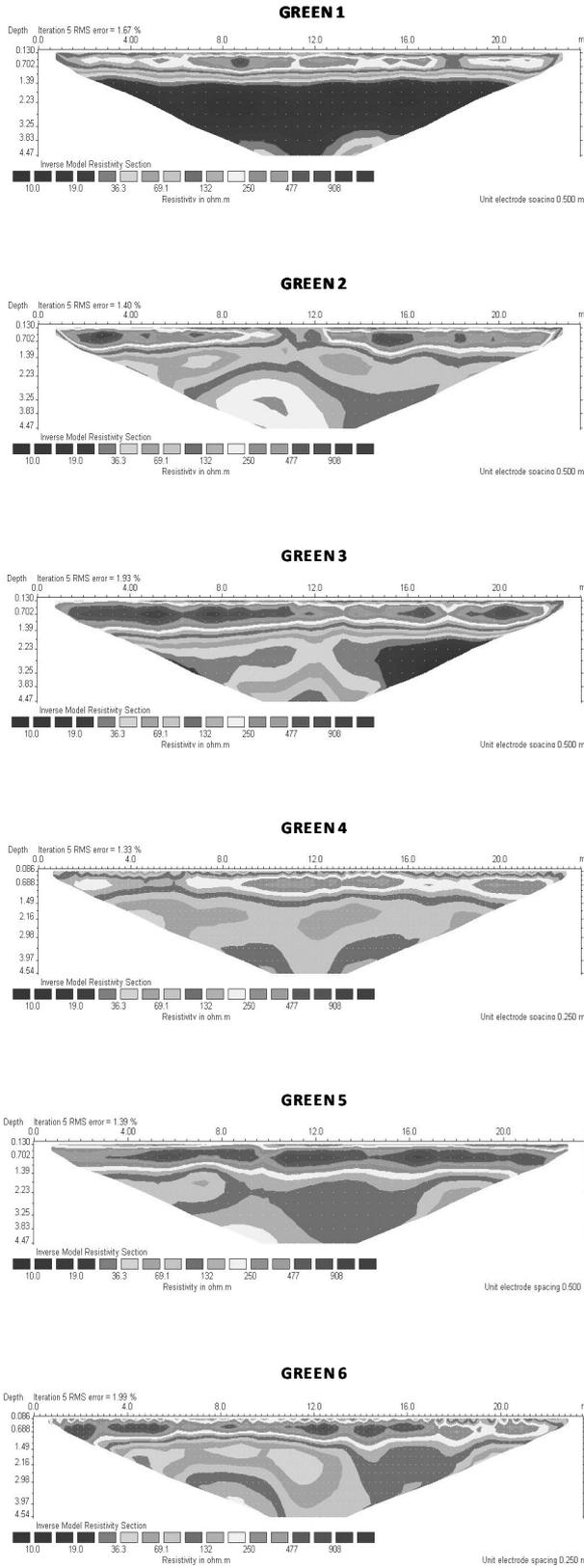


Fig. 2. Perfiles de tomografía eléctrica obtenidos en los greens de los hoyos 1 al 6 del Club de Golf Girona

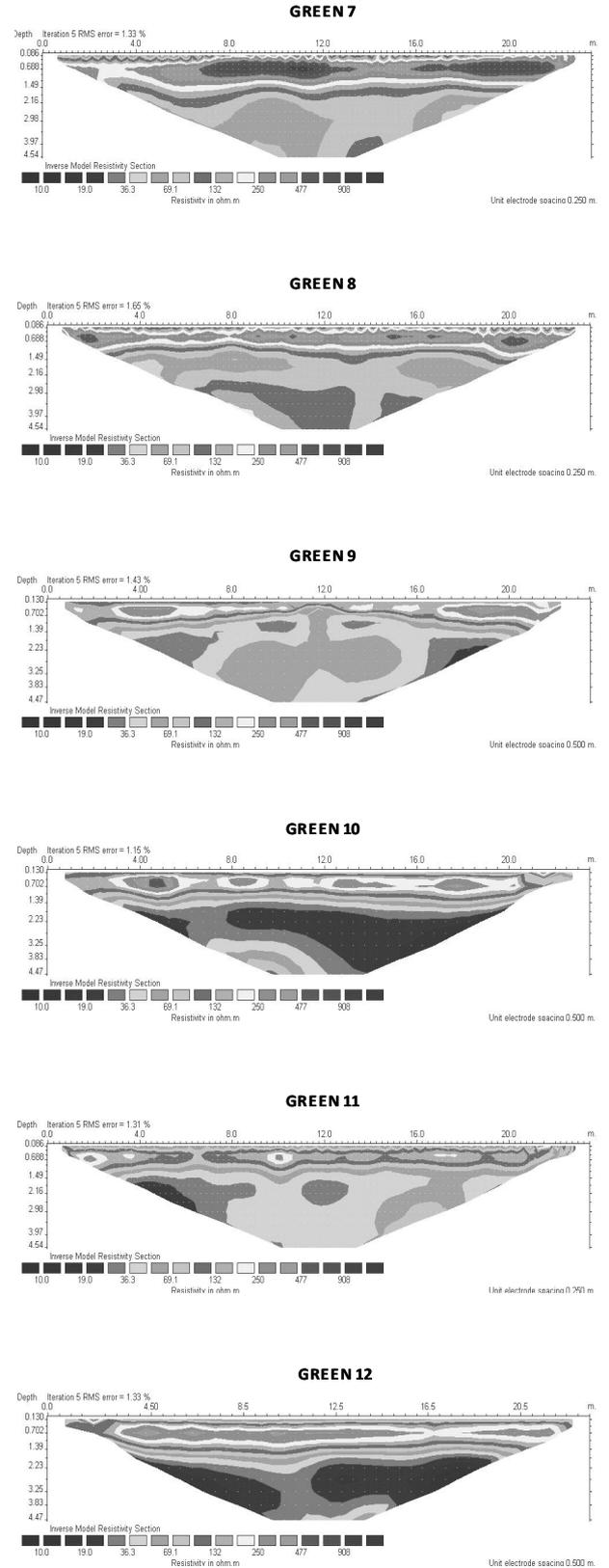


Fig. 3. Perfiles de tomografía eléctrica obtenidos en los greens de los hoyos 7 al 12 del Club de Golf Girona

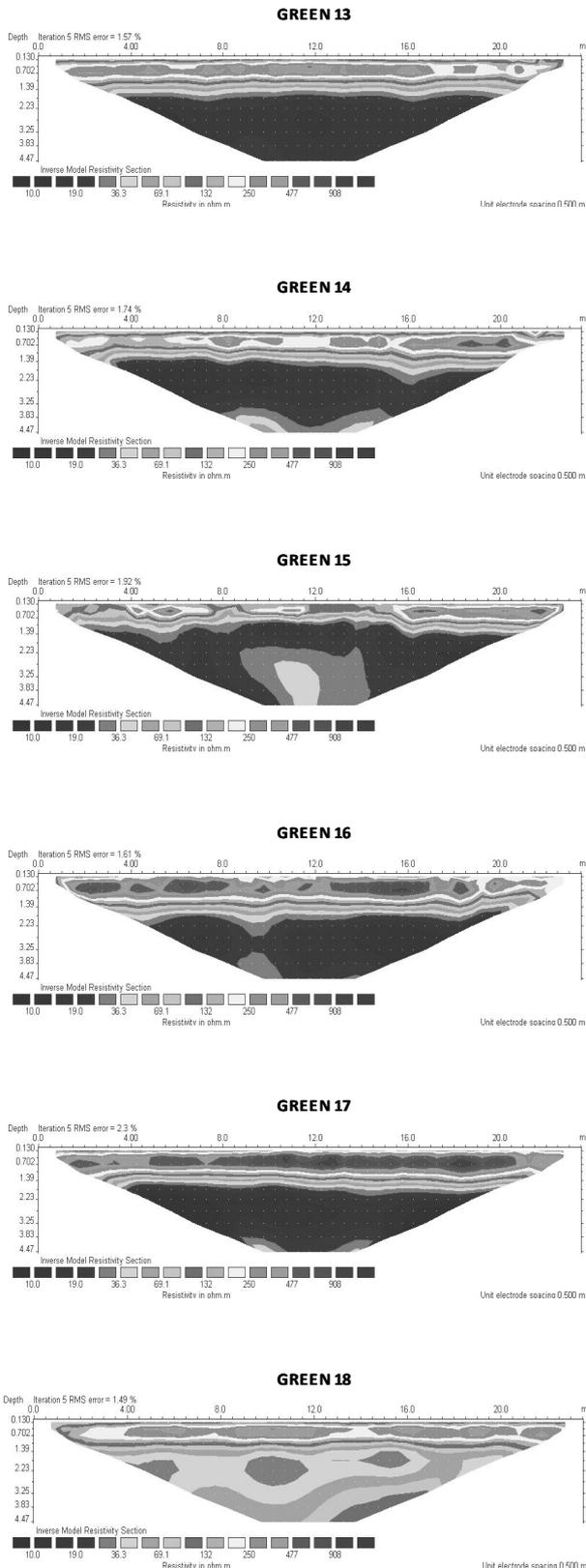


Fig. 4. Perfiles de tomografía eléctrica obtenidos en los greens de los hoyos 13 al 18 del Club de Golf Girona

4. - Resultados

En Figs 2, 3 y 4 se muestran los perfiles de resistividad eléctrica obtenidos en los 18 greens del campo Club de Golf Girona. Cada sección muestra una misma estructura de dos capas, con una capa superficial de alta resistividad seguida de una capa de baja resistividad. Sin embargo, son evidentes las diferencias en grosor y valores de resistividad de la capa superior arenosa.

La capa superior de arena en los greens 16 y 17 aparece bastante gruesa, continua y de alta resistividad, mientras que en otros greens el grosor es más irregular y menor, y también más baja la resistividad eléctrica.

Para comprobar la efectividad de la interpretación de los perfiles de tomografía eléctrica se ha llevado a cabo una comparación entre los valores de resistividad eléctrica de la capa superior de arena de los greens y su composición textural determinada a partir del análisis granulométrico.

Para obtener una representación precisa de la distribución se ha utilizado la técnica de las curvas granulométricas acumulativas. Estas permiten la valoración visual y numérica rápida de los criterios más significativos sobre la distribución del tamaño de grano de las partículas. Algunas propiedades necesarias para poder describir la distribución de arenas y suelos arenosos para campos de deporte pueden deducirse de las curvas acumulativas. A menudo estas propiedades se utilizan en las especificaciones técnicas de los materiales de construcción y mantenimiento de los campos deportivos en general y de los campos de golf en particular.

Para valorar los resultados de los ensayos nos hemos basado en las especificaciones que, según la USGA (1993) y Adams y Gibbs (1994) deben cumplir los substratos. Todos los substratos de los greens del Club de Golf Girona tienen composición arenosa con tamaño de grano medio, aunque presentan una cierta gradación como se aprecia en la Fig. 5.

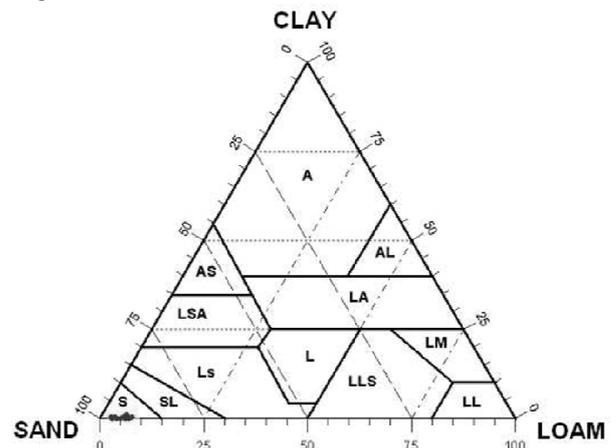


Fig. 5. Análisis textural de los substratos de los 18 greens del campo del Club de Golf Girona

La interpretación de las curvas acumulativas nos permite determinar diferentes parámetros; como son los valores de D_{50} y D_{90}/D_{10} . Según Adams y Gibbs (1994) el valor recomendado de D_{50} es de $0'33 \pm 0'03$ mm y el de D_{90}/D_{10} es de 5'3. Todos los substratos analizados cumplen estas recomendaciones.

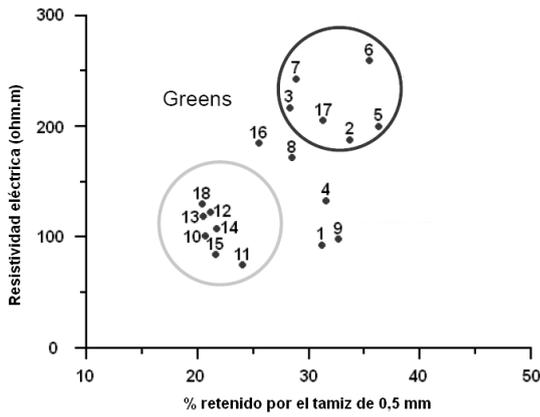


Fig. 6. Correlación entre la resistividad eléctrica y el contenido en partículas finas de los sustratos de los 18 greens numerados del 1 al 18

La comparación entre la resistividad eléctrica y la textura muestra una notable correlación ($R=0,65$) entre ambas variables de forma que cuanto mayor es la resistividad eléctrica menor es la proporción de partículas finas del sustrato del green. En la Fig. 6 se muestra que la mayoría se agrupan en dos polos bastante bien definidos. En el inferior, que incluye los greens 10, 11, 12, 13, 14, 15 y 18, los sustratos tienen un mayor contenido en finos mientras que los greens 2, 3, 5, 6, 7 y 17 se agrupan en el otro polo que se caracteriza por mayores valores de resistividad eléctrica y menor proporción de partículas de textura fina.

A partir de la interpretación de estos resultados se pueden evaluar las propiedades hídricas de cada uno de los greens, como son la capacidad de retención y la tasa de drenaje del agua aportada para mantener la cubierta de césped en las condiciones requeridas para la práctica de este deporte. Finalmente, en los perfiles de tomografía eléctrica también se pone de manifiesto las diferencias en el valor de la resistividad eléctrica de los sedimentos naturales situados debajo del sustrato arenoso que constituye cada green. En la Fig. 7 puede apreciarse que los valores promedio de la resistividad eléctrica de esta capa oscilan entre mínimos inferiores a $20 \Omega\cdot m$ en los hoyos 1, 13 y 17, a valores máximos superiores a $100 \Omega\cdot m$ en los hoyos 2 y 5. La clara tendencia a aumentar la resistividad eléctrica de este a oeste está relacionada con la litología de los sedimentos, que varían desde típicamente arcillosos al este del campo a limos arenosos al oeste.

Esta información puede utilizarse para evaluar el riesgo a la contaminación de las aguas subterráneas como consecuencia del lixiviado de nutrientes y plaguicidas a través de los sustratos arenosos de los greens.

5.- Conclusiones

El estudio ha cumplido por completo los objetivos planteados aportando una significativa contribución a la investigación sobre la caracterización de los suelos y sustratos del campo de golf mediante métodos geofísicos.

La mayoría de los campos de golf utilizan para el diagnóstico de suelos y sustratos los resultados de análisis

clásico de pocas muestras puntuales que pueden no ser representativas cuando deben tomar importantes decisiones relativas al mantenimiento y renovación de los greens.

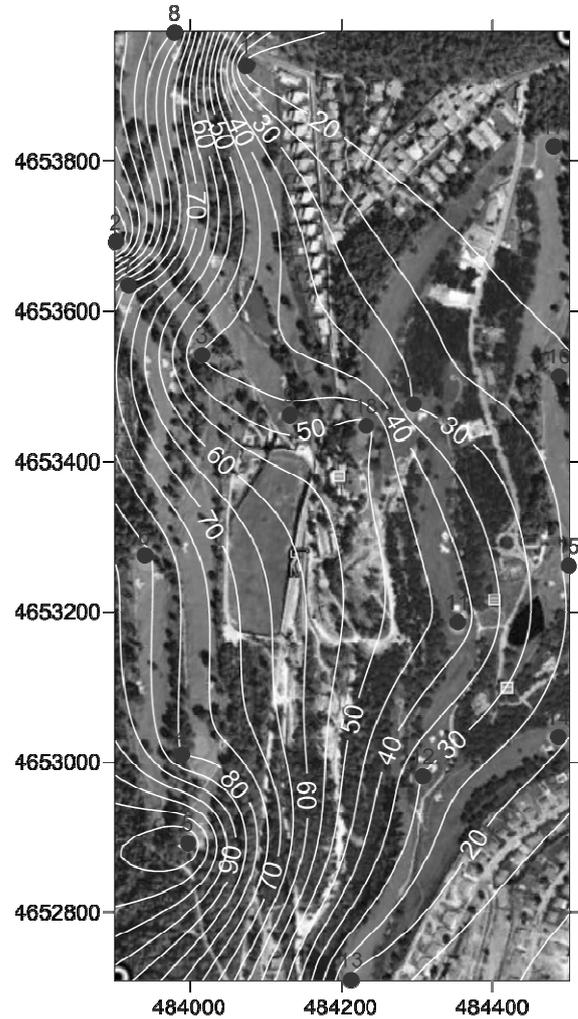


Fig. 7. Distribución de la resistividad eléctrica de los sedimentos naturales situados debajo de los 18 greens del campo del Club de Golf de Girona

Los resultados de nuestro estudio indican que la tomografía de resistividad eléctrica es una técnica eficiente que puede servir a los gestores y greenkeepers de los campos de golf para definir la variabilidad lateral y vertical de los suelos y sustratos de los campos de golf y prevenir los riesgos de salinidad cuando se riegan con agua regenerada.

Agradecimientos. Esta investigación se ha llevado a cabo en el marco de los CGL2009-07025 y CSD2006-00044 financiados por el Ministerio de Ciencia e Innovación. Los autores agradecen la autorización del Sr. Pere Ramió, y la colaboración de Xavier Giol greenkeeper del Club de Golf Girona.

6.- Referencias

- Adams W.A. y Gibbs R.J. (1994) *Natural Turf for Sport y America: Science & Practice*. CAB International. Wallingford, UK. 404 págs.
- Allred, B.J., Redman, J.D., McCoy, E.L y Taylor, R.S. (2005) *Golf Course Applications of Near-Surface Geophysical Methods: A Case*

- Study. *Journal of Environmental and Engineering Geophysics*, 10, 1-19.
- Boniak, R., Chong, S.K., Indorante, S.J., y Doolittle, J.A. (2002) Mapping golf course green drainage systems and subsurface features using ground penetrating radar: in *Proceedings of SPIE, Ninth International Conference on Ground Penetrating Radar*, Koppenjan, S.K., and Lee, H. (ed.). Santa Barbara, California, 477-481.
- Bouyoucos G.J. (1951) A recalibration of the hydrometer: Method of making mechanical analysis of soils, *Agron. Journal*, 43: 434-438.
- Brauen, S.E. y Stahnke, G. (1995) Leaching of nitrate from sand putting greens. *USGA Green Section Record*, 33(1), 29-32
- Brown, K.W. y Doble R.L. (1975) Physical characteristics of soil mixtures used for golf green construction. *Agronomy Journal*, 67: 647-652.
- Loke M.H. y Barker R.D. (1996) Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections using a quasi-Newton method. *Geophysical Prospecting*, 44: 131-152.
- Priestley, G.K. y Sabí-Bonastre, J. (1993) The Environment and Golf in Catalonia: Problems and perspectives. *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, 23: 45-74.
- Tapias, J.C. (1998) *Estrategias de gestión de los recursos hídricos en los campos de golf*. Tesis Doctoral. Universitat de Barcelona, 432 pàgs.
- Tapias, J.C. y Salgot, M. (2006) Management of soil – water resources in golf courses. *Tourism and Hospitality Research*. 6(3): 197-203.
- Xia, J. y Miller R.D. (2007) Integrated geophysical survey in defining subsidence features on a golf course. *Journal of Geophysics and Engineering*, 6: 197-203.
- USGA (1993) USGA recommendations for a method of putting green construction. *USGA Green Section Record*, March-April, pp. 1-30.