

Document downloaded from the institutional repository of the University of Alcalá: <http://dspace.uah.es/dspace/>

This is a postprint version of the following published document:

ZALACÁIN, D., SASTRE-MERLÍN, A., MARTÍNEZ-PÉREZ, S., ÁLVAREZ-GUERRA, R. and BIENES, R., 2017. "Evaluación del impacto a medio-largo plazo del riego con agua regenerada sobre la salinidad del suelo en parques urbanos de la ciudad de Madrid". En *Estudios en la Zona No Saturada del Suelo. Vol. XIII. ZNS'17: Zaragoza, 8-10 noviembre 2017*. Ed. MORET-FERNÁNDEZ, D. y LÓPEZ, M.V. [Zaragoza]: CSIC, Universidad de Zaragoza, pp. 405-414

Universidad  
de Alcalá

*(Article begins on next page)*



This work is licensed under a

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives  
4.0 International License.

# EVALUACIÓN DEL IMPACTO A MEDIO-LARGO PLAZO DEL RIEGO CON AGUA REGENERADA SOBRE LA SALINIDAD DEL SUELO EN PARQUES URBANOS DE LA CIUDAD DE MADRID

D. Zalacáin<sup>1</sup>, A. Sastre-Merlín<sup>1</sup>, S. Martínez-Pérez<sup>1</sup>, R. Álvarez-Guerra<sup>1</sup>, R. Bienes<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Geología, Geografía y Medio Ambiente, Universidad de Alcalá. 28871, Alcalá de Henares (Madrid)  
[david.zalacain@uah.es](mailto:david.zalacain@uah.es), [antonio.sastre@uah.es](mailto:antonio.sastre@uah.es), [silvia.martinez@uah.es](mailto:silvia.martinez@uah.es), [raquelalvz@gmail.com](mailto:raquelalvz@gmail.com)

<sup>2</sup>Instituto Madrileño de Investigación, Desarrollo Rural, Agrario y Alimentario (IMIDRA). 28800, Alcalá de Henares (Madrid)  
[ramon.bienes@madrid.org](mailto:ramon.bienes@madrid.org)

**RESUMEN.** La ciudad de Madrid viene regando la mayoría de sus parques urbanos con agua regenerada desde hace más de una década. La sustitución del agua potable por la regenerada, de diferente composición físico-química y notablemente más mineralizada, podría estar alterando las características físico-químicas del suelo. En este trabajo se ha estudiado el posible riesgo de salinización en dos parques: el Parque Emperatriz María de Austria y el Parque Garrigues Walker, ambos equipados con dos parcelas experimentales, una regada con agua regenerada y otra, a modo de control, en la que se ha mantenido el riego con agua potable. Se ha instalado una red de tomamuestras de succión para tomar muestras de agua del suelo, además de las muestras de suelo. Los resultados obtenidos en ambos parques revelan una mayor salinidad en el agua del suelo y en el suelo en las parcelas regadas con agua regenerada, aproximándose a los valores límite señalados para plantas sensibles a la salinidad ( $CE_{\text{suelo}} > 2.000 \mu\text{S/cm}$ ). Este hecho apunta una tendencia a la salinización del suelo a largo plazo, en los suelos de parques regados con este tipo de agua.

**ABSTRACT.** The city of Madrid has been using reclaimed water to irrigate most of its urban parks for more than a decade. The substitution of tap water by reclaimed water, with different physico-chemical properties and significantly more mineralized, could be altering soil's physico-chemical characteristics. In this work, we study the potential soil salinization risk in two parks: Emperatriz María de Austria Park and Garrigues Walker Park, each of them with two plots: one irrigated by reclaimed water and the other by drinking water, as a control plot. A network of suction lysimeters has been installed to take soil solution samples, apart from taking soil samples. Results in both parks reveals a higher salinity in soil solution and soil in the plot irrigated by reclaimed water, close to the limit values for salt sensitive plants ( $EC_{\text{soil}} > 2.000 \mu\text{S/cm}$ ). This points to a soil salinization trend in the long-term, in soils of urban parks irrigated by reclaimed water.

tratadas o no tratadas (Biggs & Jiang 2009). El riego con este tipo de aguas lleva desarrollándose desde hace siglos, generalmente en zonas áridas y semiáridas (Mizyed, 2013). Ya desde la civilización Minoica, en la antigua Grecia, se utilizaban aguas residuales para el riego en agricultura (Angelakis et al. 2005). Sin embargo, es a partir del siglo XX cuando se comienza a regular el uso de este tipo de aguas para riego, siendo California una de las regiones pioneras (Asano & Levine 1996). Aunque no fue hasta la segunda mitad del siglo XX cuando se produjo un incremento, así como una mejora de estas prácticas, asociado a un aumento del déficit hídrico en muchas zonas del planeta (Bixio et al. 2006; Lyu et al. 2016). Actualmente, el progreso y los avances en los tratamientos de depuración han supuesto que cada vez sean más los países que usen aguas residuales depuradas para riego, también conocidas como aguas regeneradas. Sin embargo, algunas regiones de países en vías de desarrollo siguen utilizando aguas residuales sin tratar. Cabe destacar que, en la denominación de los tipos de agua, sigue habiendo gran controversia, ya que una parte de los artículos científicos no nombran adecuadamente el tipo de agua que utilizan en su estudio.

En España, el uso de aguas regeneradas se rige por el Real Decreto 1620/2007, que tiene como objeto establecer el régimen jurídico para la reutilización de las aguas depuradas. Este RD define al agua regenerada como “aquellas aguas residuales depuradas que, en su caso, han sido sometidas a un proceso de tratamiento adicional o complementario que permite adecuar su calidad al uso al que se destinan”. Asimismo, establece las condiciones de calidad que debe cumplir el agua regenerada para cada uso, indicando los usos permitidos y prohibidos. Entre los usos permitidos, está el riego de zonas verdes urbanas (parques, campos deportivos y similares).

A pesar de los beneficios que posee el uso de aguas regeneradas sobre el terreno, como pueden ser el incremento de nutrientes (N y P, entre otros) para las plantas (Ali et al. 2013; Pedrero et al. 2015) o la liberación de agua potable para destinarla a otros usos más exigentes como el de abastecimiento doméstico (Sastre Merlín et al. 2016), el uso de este tipo de aguas lleva asociado ciertos riesgos. En las aguas regeneradas, los niveles de salinidad son generalmente

---

## 1.- Introducción

Actualmente existen al menos 2 millones de hectáreas de tierra regadas con aguas residuales: tratadas, parcialmente

altos, ya que los tratamientos de depuración para eliminar estas sales son tan costosos que son poco comunes (Haruvy 2006), así que uno de los principales riesgos es el de salinización del suelo (Chen et al. 2013a), debido a una mayor carga de sales procedente de este tipo de aguas.

El fenómeno de la salinización provocado por el empleo de aguas de riego de mala calidad ha sido ampliamente estudiado para zonas agrícolas (Cassaniti et al. 2009; Letey et al. 2011). Entre los problemas asociados al aumento de la salinidad se encuentran: un incremento del estrés osmótico (McLain & Williams 2012), pérdidas del rendimiento a corto plazo (Munns & Tester, 2008), acumulación de iones específicos como el cloruro, sodio y boro, que pueden llegar a ser tóxicos para la planta (Lado et al. 2012; Porta, 1994) y, a largo plazo, la acumulación de sales en el suelo, lo que conducirá a una degradación de la estructura del suelo (Mok et al. 2014; Mujerigo, 1990).

Este fenómeno es uno de los que más preocupan tanto a los agricultores como a los gestores de las zonas verdes (O'Connor et al. 2008; Cassaniti et al. 2012). El complejo comportamiento de las sales dentro del sistema agua-suelo-planta está afectado por varios factores que incluyen: la calidad del agua regenerada, las prácticas de riego y las propiedades del suelo y de la planta (Chen et al. 2013b). Algunos autores como Pan et al. (2012), han demostrado que, en zonas verdes urbanas de Pekín regadas con agua regenerada, la salinidad del suelo era significativamente superior que en otras zonas regadas con agua potable o subterránea. Estos resultados sugieren que existe un alto potencial de salinización del suelo debido al riego con aguas regeneradas a largo plazo. Por lo general, los valores de conductividad eléctrica del agua regenerada de riego tienen una alta variabilidad según su procedencia y tratamiento, por lo que varían desde los 800  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Qian & Mecham 2005; Lubello et al. 2004), hasta alcanzar más de 3.500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Nicolás et al. 2016). Sin embargo, otro estudio (Chen et al. 2015) concluyó que no se había producido salinización del suelo en unas parcelas regadas con agua regenerada durante 3-9 años (los valores medios de CE del suelo no superaron los 2.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), aunque sí hubo una ligera alcalinización del suelo.

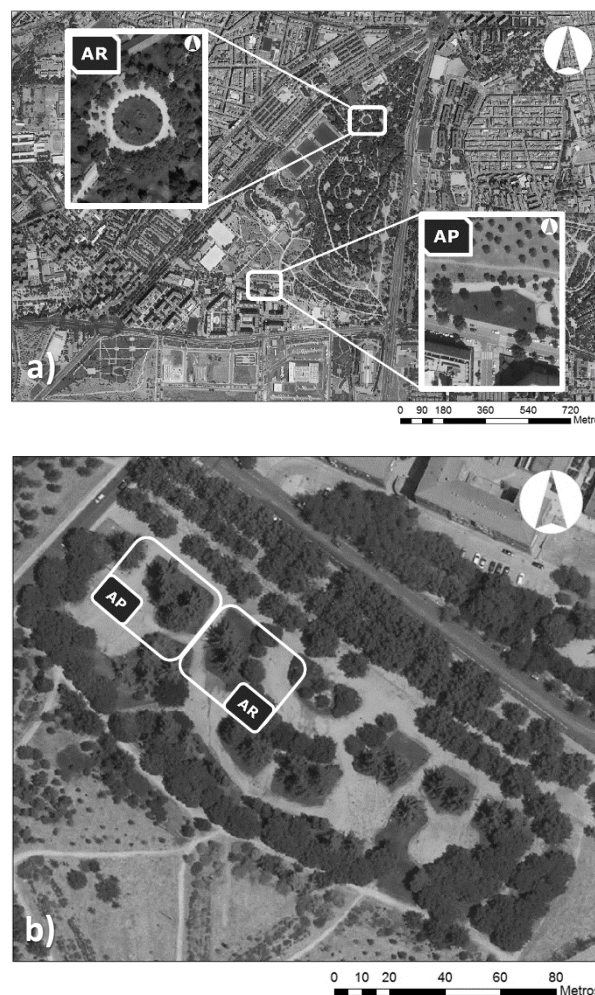
Así pues, el principal objetivo de este estudio es evaluar el posible riesgo de salinización, a medio-largo plazo, debido al riego con agua regenerada, que pueda estar ocurriendo en los parques urbanos de la ciudad de Madrid. La mayoría de estos son regados desde inicios de siglo con aguas regeneradas procedentes de las estaciones depuradoras de la capital. Este cambio en el agua de riego puede estar alterando las características físico-químicas del suelo y provocando un incremento en el riesgo de salinización, por lo que se ha realizado un seguimiento de los valores de conductividad eléctrica del agua de riego, del agua de suelo y de la pasta saturada del suelo durante siete años.

## 2.- Material y métodos

### 2.1. Área de estudio

Este trabajo se ha realizado durante siete años consecutivos (2010 – 2016) en dos parques públicos de la ciudad de Madrid: el parque Emperatriz María de Austria (PEMA) y el parque Garrigues Walker (PGW). Madrid posee un clima Mediterráneo continental, con inviernos fríos y veranos secos y calurosos.

El PEMA, situado al sur de la ciudad, fue construido a mediados de los años setenta y desde el año 2003 se riega con agua regenerada, manteniendo un sector del mismo regado con agua potable. La Figura 1a muestra la localización del parque, así como la de las dos parcelas en la que se está llevando a cabo el estudio desde 2010: la parcela regada con agua potable (PEMA\_AP) y la regada con agua regenerada (PEMA\_AR).



**Fig. 1.** Localización de los parques: a) Emperatriz María de Austria (PEMA) y las parcelas experimentales: PEMA\_AP y PEMA\_AR y b) parque Garrigues Walker (PGW) y de las parcelas: PGW\_AP y PGW\_AR.

Las características de ambos suelos de estas parcelas son similares (Tabla 1), aunque la parcela PEMA\_AR es franco-arcillo-arenosa, mientras que en PEMA\_AP es franco-arenosa (Soil Survey Division Staff. 1993).

El PGW, situado al sureste de la ciudad, se configura como un espacio ajardinado perteneciente al Parque forestal de Entrevías (Figura 1b). Fue construido a comienzos de este siglo y comenzó a regarse con agua regenerada en el año 2012, tras haber sido regado desde su inicio con agua potable. Al igual que en el PEMA, y con el objeto de comparar el efecto del riego con ambos tipos de agua, se dispone de dos parcelas experimentales: una regada con agua regenerada (PGW\_AR) y otra regada con agua potable (PGW\_AP), con la finalidad de ser considerada como parcela de control. La textura del suelo en ambas parcelas es franco-arcillo-arenosa según la clasificación USDA (Tabla 1).

**Tabla 1.** Características texturales de los suelos

Parcela	% Arcilla	% Arena	% Limo	Textura USDA
PGW_AP	21	56	23	Franco-arcillo-arenosa
PGW_AR	23	55	22	Franco-arcillo-arenosa
PEMA_AP	17	69	14	Franco-arenosa
PEMA_AR	20	61	19	Franco-arcillo-arenosa

## 2.2. Muestreo y análisis de agua de riego

Las muestras de agua de riego (potable y regenerada) se han tomado directamente de los aspersores de cada parcela, siempre en el cénit de la campaña de riego, por lo general, a finales de julio. Estas muestras han sido recogidas en botellas de plástico, refrigeradas y enviadas inmediatamente al laboratorio homologado para su posterior análisis físico-químico. Se ha analizado la conductividad eléctrica (CE) del agua de riego a 25°C por conductimetría (Crison CM35).

## 2.3. Muestreo y análisis del agua del suelo

Para el agua del suelo se cuenta con una instalación basada en una red de tomamuestras de succión para la recolección de agua en la zona no saturada en las parcelas de control antes descritas. Dicha red de observación consta de tres baterías de tomamuestras en cada parcela, cada una de las cuales está formada, a su vez, por tres tomamuestras de succión de PVC de 6 cm de diámetro interior, con cápsulas cerámicas porosas instaladas a 15, 35 y 60 cm de profundidad -en total nueve tomamuestras de succión en cada una de las parcelas-. Para la recogida de muestras se usa una bomba de vacío manual (Soilmoisture 2005G2), con la que se aplica un vacío de 70 cbar en cada uno de los tomamuestras, para después recoger el agua almacenada en los mismos. Se han efectuado tres muestreos en cada

campaña de riego: en primavera, verano y otoño (inmediatamente antes, en el momento central y recién concluida la campaña de riego, respectivamente). Las muestras de agua de los tomamuestras de succión se han recogido en botellas de plástico, refrigeradas y enviadas inmediatamente al laboratorio para su posterior análisis físico-químico.

## 2.4. Muestreo y análisis del suelo

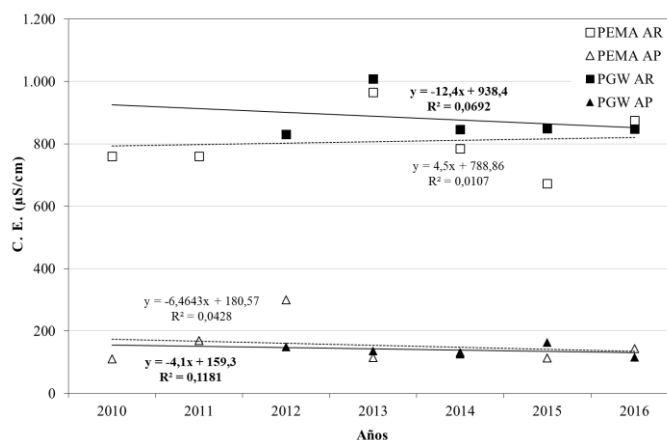
En cuanto al muestreo de suelos, se ha llevado a cabo en tres puntos dispuestos aleatoriamente en cada una de las parcelas. Se ha extraído material edáfico a las profundidades de: 0-5, 15-25, 35-45, 55-65 cm, utilizando para ello una barrena Eijkelkamp de 6 cm de diámetro. Posteriormente, se ha trabajado con una muestra compuesta de suelo a partir de las sub-muestras obtenidas en los tres puntos. El muestreo del suelo se ha llevado a cabo dos veces al año, antes de la campaña de riego (primavera) y justo después de concluir la (otoño).

## 3. Resultados y discusión

### 3.1. Análisis del agua de riego

En la Figura 2 se muestra la variación de la conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) de los dos tipos de agua de riego a lo largo de siete años. Se aprecia el notable contraste entre el agua regenerada, que en la mayoría de años se sitúa en los dos parques entre los 800 y 1.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , con respecto al agua potable, que se encuentra en casi todos los casos por debajo de los 200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Estos valores de CE del agua regenerada están en consonancia con los generalmente descritos en la bibliografía, aunque se puede afirmar que, en comparación con éstos, son unos valores de CE de perfil bajo-medio, similares a los descritos por Bourazanis et al. (2016) y Pereira et al. (2012).



**Fig. 2.** Variación de la conductividad eléctrica en el agua de riego (PEMA y PGW) desde el año 2010 hasta 2016.

Las aguas regeneradas de riego en ambos parques están en la categoría C3-S1 (Figura 3), mientras que las aguas potables de riego están en la C1-S1, representando la clase C1 agua de baja salinidad y S1 bajo contenido en sodio, y por tanto en ambos casos agua apta para el riego. C3 indica salinidad alta y en consecuencia solo debe emplearse en suelos con buen drenaje y con dosis de riego en exceso (agua de lavado) (Balairón, 2002).

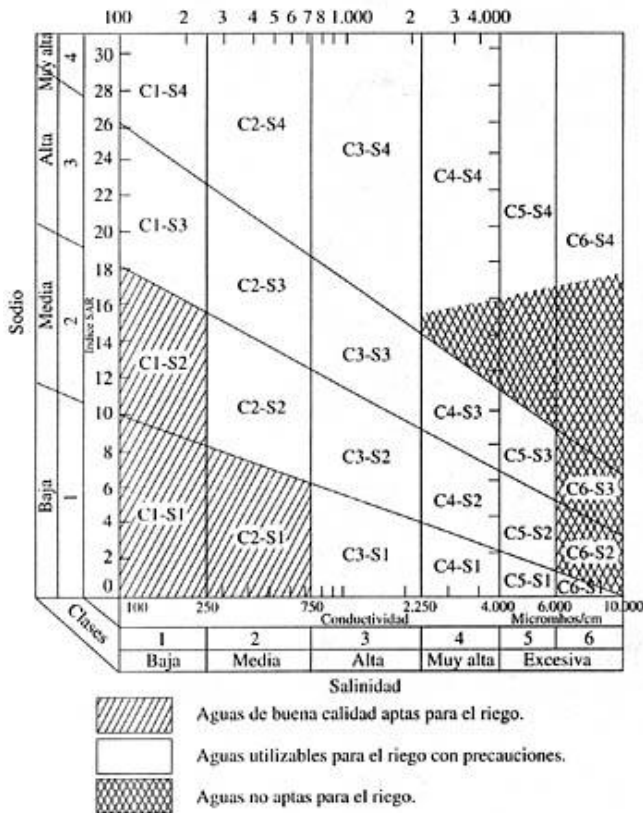


Fig. 3. Normas de Riverside para evaluar la calidad de las aguas de riego (U.S. Soil Salinity Laboratory, 1954).

### 3.2. Análisis del agua del suelo

La variación de CE en el agua del suelo se muestra en la Figura 4, donde se puede ver, al igual que ocurría en la Figura 3, la notable diferencia entre las parcelas regadas con agua regenerada con respecto a las regadas con agua potable. Tanto PGW\_AR como PEMA\_AR muestran una tendencia al alza, mientras que PGW\_AP y PEMA\_AP permanecen con valores similares durante todo el periodo de estudio. Cabe destacar también, la alta variabilidad de CE que se observa en el gráfico cuando los valores son altos, sobre todo en los muestreos de verano. Sin embargo, en el muestreo de primavera, generalmente suele haber valores bajos de CE, ya que se ha producido un lavado parcial de sales durante el otoño-invierno. Esta alta variabilidad concuerda con los valores casi siempre constantes e inferiores (en torno a 700  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) en las parcelas regadas con agua potable, lo que

indica que, aunque se produzca un lavado de sales debido a las precipitaciones invernales, la conductividad mínima para el agua del suelo se va a mantener en ese umbral. Ayers & Westcot (1976) proponen que la salinidad media del agua del suelo es aproximadamente tres veces mayor que la salinidad del agua de riego, tal y como sucede en nuestro estudio.

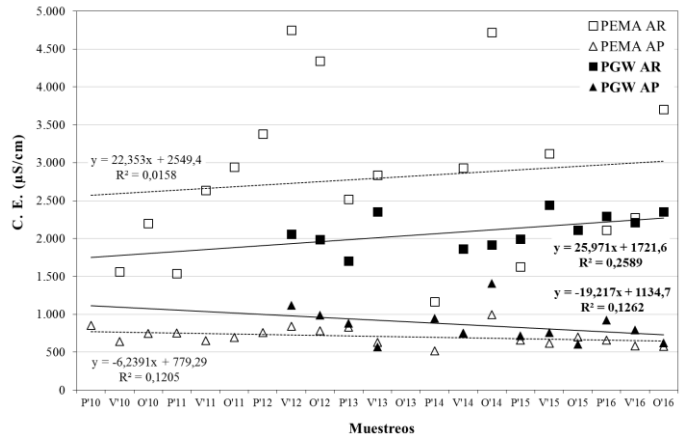
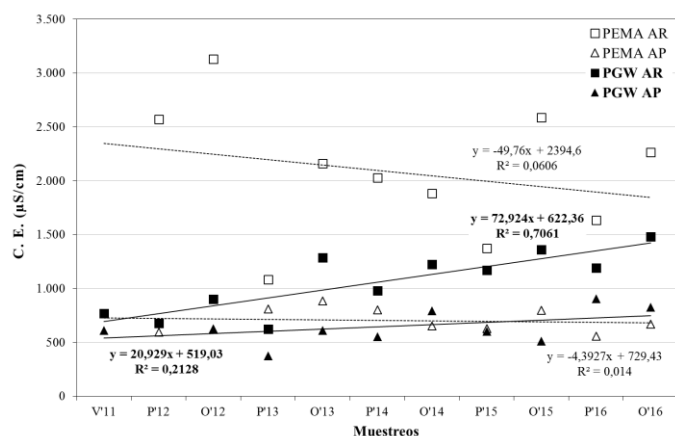


Fig. 4. Variación de la conductividad eléctrica en el agua del suelo de ambos parques desde el año 2010 hasta 2016.

### 3.3. Análisis del suelo

En la Figura 5 se han representado los valores de CE obtenidos en el extracto saturado del suelo. En PGW los valores de CE anteriores al inicio del riego con agua regenerada son muy similares (V'11= Verano de 2011) y posteriormente se van distanciando debido al mayor contenido salino del agua regenerada. PEMA\_AR presenta unos valores de CE muy elevados, llegando incluso a superar en algunos casos los 2.500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . El valor medio de CE en PEMA\_AR se halla en torno a los 2.200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , lo que indica que existe una elevada salinidad del suelo, lo que puede estar afectando a las plantas, ya que comúnmente se usa el valor de 2.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  de CE como límite para plantas sensibles a la salinidad. A pesar de estos elevados valores y, a diferencia de lo que ocurría en el agua del suelo (Figura 4), en el extracto de saturación la tendencia de los valores de PEMA\_AR es descendente, lo que contrasta con la tendencia ascendente para los valores de PGW\_AR. No obstante, éstos siguen siendo inferiores a los del PEMA, no superando el umbral de los 1.500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Esta diferencia entre los valores de CE de PEMA\_AR y PGW\_AR puede ser debida al mayor número de campañas de riego con agua regenerada que ha soportado la parcela PEMA\_AR. Cabe destacar las variaciones que nos encontramos entre los muestreos de primavera (valores de CE menores) y los de otoño (con valores de CE superiores), al igual que pasaba para el agua del suelo, lo que concuerda con lo descrito por Lado et al. (2012) y McLain & Williams (2012).



**Fig. 5.** Variación de la conductividad eléctrica en el extracto saturado del suelo de ambos parques desde el año 2011 hasta 2016.

Morugán-Coronado et al. (2011) en un estudio a corto plazo, presentan unos resultados similares a los de PGW, ya que, en su estudio de dos años de duración, observaron un incremento de la CE del suelo, sobre todo en las parcelas regadas con agua regenerada que había pasado por un tratamiento secundario. Por el contrario, en el estudio de McLain & Williams (2012) en un parque municipal de Arizona, no se produjo un incremento de la CE tras dos años de riego con agua regenerada a 30 cm de profundidad. Hay que matizar que estos estudios son difíciles de comparar ya que las características del agua de riego y las prácticas de riego, entre otros, varían considerablemente de unos estudios a otros.

Diversos autores sostienen que, a largo plazo, el riego con agua regenerada tendrá como resultado una salinización del suelo, lo que puede amenazar la producción agrícola (Mok et al. 2014; Mounzer et al. 2013, entre otros). De igual manera, Qian & Mecham (2005) afirman que el aumento de la salinidad por riego con agua regenerada en suelos de campos de golf provoca una reducción del crecimiento del césped, sobre todo en las zonas con un suelo con textura fina y un mal drenaje. Aunque aseveran que a corto plazo estos altos niveles de salinidad no producen un deterioro del suelo. Chen et al. (2013b) en su estudio a largo plazo sobre los impactos que tiene el riego con agua regenerada en los parques urbanos de Pekín, aseveran que existe una acumulación de sales en los primeros 20 cm de suelo de estos parques. Sin embargo, sólo encontraron una leve salinización del suelo en uno de los siete parques de estudio, que no influyó en el crecimiento de las plantas.

#### 4.- Conclusiones

El riego con agua regenerada en ambos parques de estudio incrementa la salinidad tanto en el agua del suelo como en

el mismo suelo. Los resultados obtenidos en este estudio demuestran que existe una elevada salinidad en el suelo en PEMA\_AR, con valores de  $CE_{suelo}$  superiores a 2.000  $\mu S/cm$ . El hecho de que en PEMA\_AR estos valores sean superiores a los encontrados en PGW\_AR, invita a pensar en una tendencia al aumento de la salinidad en consecuencia del mayor número de campañas de riego con agua regenerada en el PEMA. A pesar de que la salinización de un suelo está afectada por diversos factores, podemos concluir que, a largo plazo, el riego con agua regenerada en parques urbanos conducirá a una salinización del suelo.

**Agradecimientos:** Este trabajo se ha realizado gracias a los convenios de colaboración entre la Universidad de Alcalá y las empresas concesionarias del Ayuntamiento de Madrid para el servicio de riego y jardinería de zonas verdes, IMESAPI SA (2009-2013) y FCC (UTEs 5 y 6) (2014-2016). Agradecemos también al Área de Gobierno de Medio Ambiente y Movilidad (Dirección General de Gestión del Agua y Zonas Verdes) del Ayuntamiento de Madrid, por su mediación e interés para que este estudio de seguimiento haya sido llevado a efecto.

#### 5.- Bibliografía

- Ali, H.M. et al., 2013. Performance of forest tree *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss. under sewage effluent irrigation. *Ecological Engineering*, 61, pp.117–126.
- Angelakis, A.N., Koutsoyiannis, D. & Tchobanoglous, G., 2005. Urban wastewater and stormwater technologies in ancient Greece. *Water Research*, 39, pp.210–220.
- Asano, T. & Levine, A.D., 1996. Wastewater reclamation, recycling and reuse: Past, present, and future. *Water Science and Technology*, 33(10–11), pp.1–14.
- Ayers, R.S., and D.W. Westcot. 1985. Water quality for agriculture. Irrig. Drain. Pap. 29. FAO, Roma.
- Balairón, L., 2002. Gestión de recursos hídricos. *Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña*.
- Biggs, T.W. & Jiang, B., 2009. Soil salinity and exchangeable cations in a wastewater irrigated area, India. *Journal of environmental quality*, 38, pp.887–896.
- Bixio, D. et al., 2006. Wastewater reuse in Europe. *Desalination*, 187(1–3), pp.89–101.
- Bourazanis, G. et al., 2016. Evaluation of the use of treated municipal waste water on the yield, oil quality, free fatty acids' profile and nutrient levels in olive trees cv Koroneiki, in Greece. *Agricultural Water Management*, 163, pp.1–8.
- Cassaniti, C., Leonardi, C. & Flowers, T.J., 2009. The effects of sodium chloride on ornamental shrubs. *Scientia Horticulturae*, 122(4), pp.586–593.
- Cassaniti, C., Romano, D. & Flowers, T.J., 2012. The response of ornamental plants to saline irrigation water. *Irrigation-Water Management, Pollution and Alternative Strategies*, pp.131–158.
- Chen, W. et al., 2015. Impact of reclaimed water irrigation on soil health in urban green areas. *Chemosphere*, 119, pp.654–661.
- Chen, W., Lu, S., Pan, N., et al., 2013b. Impacts of long-term reclaimed water irrigation on soil salinity accumulation in urban green land in Beijing. *Water Resources Research*, 49(11), pp.7401–7410.
- Chen, W., Lu, S., Jiao, W., et al., 2013a. Reclaimed water: A safe irrigation water source? *Environmental Development*, 8(1), pp.74–83.
- Haruvy, N., 2006. Reuse of wastewater in agriculture - Economic assessment of treatment and supply alternatives as affecting aquifer pollution. *Nato Science for Peace and Security Series C - Environmental Security*, 5, pp.257–262.
- Lado, M. et al., 2012. Changes in chemical properties of semiarid soils under long-term secondary treated wastewater irrigation. *Soil Science Society of America Journal*, 76, pp.1358–1369.
- Letey, J. et al., 2011. Evaluation of soil salinity leaching requirement

- guidelines. *Agricultural Water Management*, 98(4), pp.502–506.
- Lubello, C. et al., 2004. Municipal-treated wastewater reuse for plant nurseries irrigation. *Water Research*, 38(12), pp.2939–2947.
- Lyu, S. et al., 2016. Wastewater reclamation and reuse in China: Opportunities and challenges. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 39, pp.86–96.
- McLain, J.E.T. & Williams, C.F., 2012. Assessing environmental impacts of treated wastewater through monitoring of fecal indicator bacteria and salinity in irrigated soils. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184(3), pp.1559–1572.
- Mizyed, N.R., 2013. Challenges to treated wastewater reuse in arid and semi-arid areas. *Environmental Science and Policy*, 25, pp.186–195.
- Mok, H.F. et al., 2014. Field comparison and crop production modeling of sweet corn and silage maize (*Zea mays* L.) with treated urban wastewater and freshwater. *Irrigation Science*, 32(5), pp.351–368.
- Morugán-Coronado, A. et al., 2011. Short-term effects of treated wastewater irrigation on Mediterranean calcareous soil. *Soil and Tillage Research*, 112(1), pp.18–26.
- Mounzer, O. et al., 2013. Transient soil salinity under the combined effect of reclaimed water and regulated deficit drip irrigation of Mandarin trees. *Agricultural Water Management*, 120, pp.23–29.
- Mujeriego, R., 1990. Manual práctico de riego con agua residual municipal regenerada. *Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña*.
- Munns, R., Tester, M., 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 651–681
- Nicolás, E. et al., 2016. Long-term physiological and agronomic responses of mandarin trees to irrigation with saline reclaimed water. *Agricultural Water Management*, 166, pp.1–8.
- O'Connor, G.A., Elliott, H.A. & Bastian, R.K., 2008. Degraded Water Reuse: An Overview. *Journal of Environment Quality*, 37(5\_Supplement), p.S-157.
- Pan, N., W. P. Chen, W. T. Jiao, Z. M. Zhao, and Z. A. Hou (2012), Soil salinity in greenland irrigated with reclaimed water and risk assessment. *Environ. Sci.*, 33(12), 4088–4093.
- Pedrero, F. et al., 2015. Response of young “Star Ruby” grapefruit trees to regulated deficit irrigation with saline reclaimed water. *Agricultural Water Management*, 158, pp.51–60.
- Pereira, B.F.F. et al., 2012. Nutrients and Nonessential Elements in Soil after 11 Years of Wastewater Irrigation. *Journal of Environment Quality*, 41, p.920.
- Porta, J., López-Acevedo, M., Roquero, C., 1994. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. *Madrid: Ediciones Mundi-Prensa*
- Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas. *Boletín Oficial del Estado*, núm. 294, de 8 de diciembre de 2007, pp 50639-50661.
- Qian, Y.L. & Mecham, B., 2005. Long-term effects of recycled wastewater irrigation on soil chemical properties on golf course fairways. *Agronomy Journal*, 97(3), pp.717–721.
- Sastre Merlín, A. et al., 2016. Seguimiento de los efectos del riego con agua regenerada en varios parques de la ciudad de Madrid. In *Fundación Nueva Cultura del Agua, ed. IX Congreso Ibérico de Gestión y Planificación del Agua*. Valencia (España): Fundación Nueva Cultura del Agua, pp. 1052–1063.
- Soil Survey Division Staff. 1993. *Soil survey manual*. Soil Conservation Service. USDA, Handbook 18.