

## EVALUACIÓN PRELIMINAR DE LOS EFECTOS DEL RIEGO CON AGUA REGENERADA EN EL PARQUE JOAQUÍN GARRIGUES WALKER DE MADRID

S. Martínez Pérez<sup>1</sup>, L. Martínez de Baroja<sup>1</sup>, R. Bienes Allas<sup>2</sup>; C. Encinas<sup>3</sup> y A. Sastre Merlín<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Geología, Universidad de Alcalá. 28871 Alcalá de Henares (Madrid). e-mail: [silvia.martinez@uah.es](mailto:silvia.martinez@uah.es), [antonio.sastre@uah.es](mailto:antonio.sastre@uah.es)

<sup>2</sup>Instituto Madrileño de Investigación, Desarrollo Rural, Agrario y alimentario IMIDRA Apdo. 127. 28800 Alcalá de Henares (Madrid). e-mail: [ramon.bienes@madrid.org](mailto:ramon.bienes@madrid.org)

<sup>3</sup>IMESAPI SA. Dpto de Medio Ambiente; Avda. Ramón y Cajal. n°109. 28043 Madrid. e-mail: [cencinas@imesapi.es](mailto:cencinas@imesapi.es)

**RESUMEN.** El Parque Garrigues Walker es el último incorporado al riego con aguas regeneradas en Madrid, para evaluar los efectos desde el “instante cero”. Se ha instalado una red de control y se ha efectuado una campaña de muestreo “testigo” de suelo, agua del suelo y vegetación antes de iniciarse el nuevo riego.

Tras la primera campaña de riego con agua regenerada se observa un incremento de mineralización del agua del suelo, principalmente cloruros y sodio. Menos significativo en suelo, donde incrementa más el sodio. En la vegetación herbácea, se ha producido un incremento en macronutrientes y micronutrientes, y una media del 69% en productividad en la pradera regada con agua regenerada respecto a la regada con agua de la red urbana, debido al notable contenido en nutrientes de este agua. Las especies arbustivas y arbóreas muestran un incremento en la concentración de sodio, pero no en cloruros.

**ABSTRACT.** The Garrigues Walker Park is the last one of Madrid that has been irrigated with regenerated water to evaluate the effects from the "zero instant". We have installed a control network and we have made a sampling campaign of soil, soil water and vegetation before the start of the new irrigation.

After the first year of reclaimed water irrigation we have observed an increase of mineralization of soil water, mainly chlorides and sodium. Less significant of soil where further increases sodium. In the herbaceous, there has been an increase in macronutrients and micronutrients, and an average of 69% in productivity in irrigated with reclaimed water prairie regarding irrigated with water from the urban network, due to significant nutrient content of the water. Tree and shrub species show an increase in the concentration of sodium, but not chloride.

abastecimiento humano. Desde 2009 un grupo de investigadores de la Universidad de Alcalá, venimos realizando -en colaboración con la empresa IMESAPI, SA y el área de Patrimonio Verde del Ayuntamiento de Madrid- un seguimiento sistemático de los efectos del uso para riego de las aguas regeneradas en los parques, tanto en agua del suelo, como en los suelos, y en la vegetación.

Pero el uso de aguas regeneradas puede provocar diversos efectos sobre el suelo y las especies vegetales. La utilización del agua regenerada en la agricultura aumenta el nivel general de la fertilidad del suelo, pero también las concentraciones de metales pesados y la tasa de infección por patógenos (Palacios, 2009). En los terrenos agrícolas regados durante décadas con aguas regeneradas se han podido comprobar efectos desfavorables en el suelo relacionados con la acumulación de sales en los horizontes superficiales, especialmente en los climas más secos (Walker, 2008).

El agua regenerada empleada para el riego de los parques de Madrid presenta una calidad adecuada para este fin de acuerdo con los estándares aceptados comúnmente (Mujeriego, 2008; Balairón, 2002), aunque su carácter clorurado sódico y el incremento de conductividad con respecto al agua de la red urbana puede tener efectos no deseados sobre el suelo y la vegetación. Los suelos regados con tales aguas presentan mayor conductividad eléctrica y concentraciones más elevadas tanto de cloruros como de sulfatos respecto a los regados con agua potable. Las aguas recogidas en la zona no saturada muestran valores de conductividad superiores en las parcelas regadas con agua regenerada que en la regada con agua de la red urbana (Sastre et al., 2011).

Recientemente, se ha incorporado a los regados con aguas regeneradas el Parque Garrigues Walker, lo que brinda la posibilidad de evaluar los efectos del riego con este tipo de agua desde el “instante cero”, disponiendo para ello de “muestras testigo” de agua del suelo, suelo y vegetación antes del inicio del mismo. Se presenta la red de control y los primeros resultados, registrados tras finalizar la primera campaña de riego con aguas regeneradas en este parque.

### 1.- Introducción

En la Comunidad de Madrid la reutilización de agua residual depurada constituye un componente esencial de la gestión integral de los recursos hídricos contribuyendo así al aumento neto de los mismos. Un número importante de los parques urbanos de la ciudad de Madrid se vienen regando con aguas regeneradas desde 2002, con el fin de liberar un considerable volumen de agua para asegurar el

### 2.- Material y métodos

#### 2.1.- Área de estudio

El estudio se está realizando en el parque Garrigues Walker (PGW) de Madrid, situado en las inmediaciones del parque Forestal de Entrevías. Este parque se está regando con aguas regeneradas desde el año 2012 y en él se ha planteado la experiencia disponiendo de una “parcela testigo”, que permanecerá regada con agua de la red urbana durante todo el seguimiento y, otra, controlada y regada con aguas regeneradas. Y ello con el fin de analizar de forma comparativa los efectos -tanto sobre el suelo como sobre la vegetación- del riego con agua regenerada frente al agua de la red urbana que se venía utilizando hasta entonces,

El estudio se está llevando a cabo en dos parcelas a las que hemos denominado PGW RU y PGW AR (parcela “control” regada con agua de la red urbana, con una superficie de 415 m<sup>2</sup> - y parcela “experimental” regada con agua regenerada - cuya superficie es de 382 m<sup>2</sup>-, respectivamente) (figura 1).

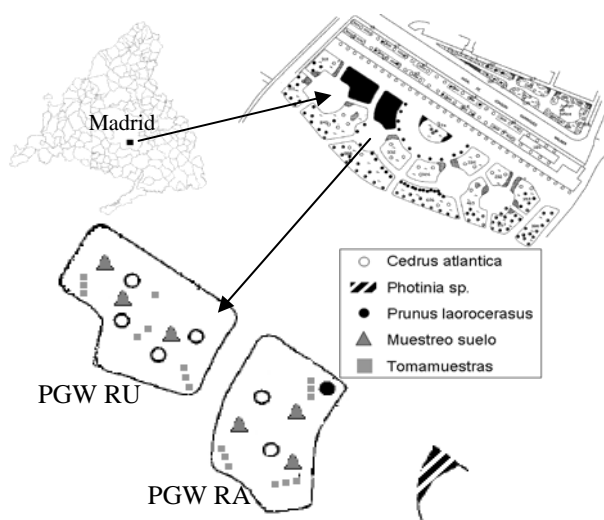


Fig. 1. Localización de las parcelas experimentales y red de control

## 2.2.- Red de control

Desde agosto de 2011 hasta la actualidad se ha realizado un seguimiento de los efectos del riego con agua regenerada en el parque, tras haber instalado la red de control que se muestra en la figura 1 y que consta de los siguientes elementos:

**Muestreo de agua:** además de la toma de muestras de agua de riego tanto de la red urbana como regenerada, se ha instalado un conjunto de tres baterías de tomamuestras Eijkelkamp de 6 cm de diámetro y longitud variable en cada una de las parcelas PGW RU y PGW AR, ubicados a 0.15, 0.30 y 0.60 m de profundidad desde la superficie del suelo. Mediante una bomba de vacío manual se ha aplicado un vacío de 70 cbar en cada uno de ellos, para después recoger el agua con una botella tomamuestras.

**Muestreo de suelos:** Se han seleccionado tres puntos en cada una de las parcelas PGW RU y PGW AR próximos a la ubicación de los tomamuestras anteriormente citados. Para cada parcela y profundidad se ha recogido una muestra compuesta mediante una barrena Eijkelkamp de 6 cm de diámetro, suma de las obtenidas en los tres puntos de cada

parcela (fig. 1). De este modo, se han obtenido diez muestras -cinco por parcela-, correspondientes a las profundidades 0-0,05 m, 0,05-0,20m, 0,20-0,40 m, 0,40-0,60 m y 0,60-0,80 m.

**Muestreo de vegetación:** En ambas parcelas se ha muestreado la pradera -tanto para evaluar la cantidad de hierba segada como para analizar los macro y microelementos-. Asimismo, se han recogido muestras foliares de una especie arbórea -(*Cedrus atlantica*)- y de dos especies arbustivas -fotinia (*Photinia sp.*) y lauroceraso (*Prunus laurocerasus*)-, en este último caso sólo de la parcela PGW AR, por no haberlas en la PGW RU.

## 2.3.- Muestreo

Se han efectuado tres campañas de muestreo de aguas, en mayo, julio y octubre (momentos anterior, intermedio y final del riego, respectivamente).

Asimismo, se han efectuado tres campañas de muestreo de suelos: una en agosto de 2011 -muestreo “cero” o de control-, con el fin de disponer del estado previo al comienzo del riego con agua regenerada en ambas parcelas y, otras dos en marzo y octubre de 2012, monitoreando el instante previo y el final, respectivamente, de la campaña de riego con agua regenerada.

En cada campaña de muestreo se han recogido, por parcela, tres muestras de agua-mezcla de las recogidas en los tres puntos a las profundidades indicadas en el apartado 2.2.-, tres muestras de suelo, seis de pradera y una muestra foliar de cada una de las especies arbustiva y arbórea. Todas las muestras se han analizado en los Laboratorios AGRAMA, determinándose en cada tipo los parámetros que se indican en la Tabla 1.

En el muestreo “cero” se han caracterizado los suelos - todos ellos artificiales por pertenecer a jardines públicos de nueva creación-, determinándose la textura, el porcentaje de materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico y los cationes de cambio, entre otros.

Finalmente, se ha pesado la hierba recogida en las doce siegas que se han efectuado desde marzo a diciembre de 2012.

En las muestras de agua la conductividad se ha determinado por conductimetría; el pH, bicarbonatos, carbonatos, cloruros y amonio por potenciometría; el cobre y zinc (total y disuelto), calcio, magnesio, potasio, sodio, hierro y manganeso disueltos por espectrofotometría de absorción atómica de llama; y los nitritos, sílice, fosfatos, nitratos, sulfatos y boro, por espectrofotometría ultravioleta-visible.

En las muestras de pasta saturada del suelo la conductividad se ha determinado por conductimetría; el pH, bicarbonatos, cloruros por potenciometría; el calcio, magnesio, potasio, sodio por espectrofotometría de absorción atómica de llama; y el boro, fosfatos, sulfatos y nitratos por espectrofotometría ultravioleta-visible.

En las muestras de vegetación los cloruros se han determinado por potenciometría; el calcio, magnesio,

cobre, hierro, manganeso y zinc por espectrofotometría de absorción atómica de llama; el potasio y el sodio por espectrofotometría de emisión atómica de llama; el fósforo y el boro por espectrofotometría ultravioleta-visible. Se ha determinado, asimismo, el nitrógeno Kjeldahl.

**Tabla 1.** Parámetros analizados en muestras de agua\* (mg/l), suelo\* (mg/l) y vegetación\* (mg/k)

Parámetro	Muestra Unidades *	Agua	Suelo p. sat.	Veget.
Bicarbonatos	mg/l	x	x	-
Boro	mg/l; mg/kg	x	x	x
Calcio	mg/l; mg/kg	x	x	x
C. Eléctrica	μS/cm	x	x	-
Carbonatos	mg/l	x	-	-
Cloruros	mg/l; mg/kg	x	x	x
Cobre	mg/l; mg/kg	x	-	x
Hierro	mg/l; mg/kg	x	-	x
Fósforo	mg/l; mg/kg	-	-	x
Magnesio	mg/l; mg/kg	x	x	x
Manganeso	mg/l; mg/kg	x	-	x
Nitratos	mg/l	x	x	-
Nitritos	mg/l	x	-	-
Nitrógeno	mg/kg	-	-	x
Ortofosfatos	mg/l	x	x	-
pH		x	x	-
Potasio	mg/l; mg/kg	x	x	x
Silicio	mg/l	x	-	-
Sodio	mg/l; mg/kg	x	x	x
Sulfatos	mg/l	x	x	-
Zinc	mg/l	x	-	x

p.sat: pasta saturada del suelo

### 3.- Resultados

#### 3.1.- Agua

El agua regenerada presenta un perfil iónico similar al de la red urbana, pero con un notable incremento en los contenidos iónicos, que conduce a un ascenso notable de la conductividad eléctrica (fig. 2).

En la campaña de primavera en la parcela PGW AR sólo se pudo obtener una muestra de agua del suelo de las nueve que se esperaban, por lo que los resultados de ese muestreo no se han considerado en este trabajo.

Tras la campaña de riego de 2012, se observa que en PGW RU disminuye el contenido iónico y la conductividad eléctrica en las muestras recogidas en verano frente a las de primavera, y aún más en otoño. Ello es consecuente con el lavado que produce el riego con agua de la red urbana, de muy baja mineralización. Por el contrario en las muestras de agua recogidas en la parcela PGW AR se observa un incremento global de mineralización. Este es algo más acusado a mitad de la campaña de riego (verano 2012) que al final de la misma (otoño 2012). Ello estaría relacionado con el riego de esta parcela con el agua regenerada. Este efecto es especialmente significativo para sodio, potasio y cloruro (fig. 2).

#### 3.2.- Suelos

Antes del comienzo del riego con aguas regeneradas, se efectuó un muestreo inicial (o muestreo “cero”) en el que, entre otros parámetros se determinaron la textura, la materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico, y los cationes de cambio. En, los suelos recogidos a todas las profundidades en la parcela PGW AR y los recogidos entre 0 y 0,40 m en la parcela PGW RU, resultaron ser franco-arenosos (arenas entre 55 y 65%; limos entre 20 y 27% y arcillas entre 12 y 20%), mientras que los recogidos entre 0,40 y 0,80 m en esta misma parcela, resultaron ser franco-arcillo-arenosos (arenas entre 54 y 56%; limos entre 17 y 21% y arcillas entre 25 y 27%). En la Tabla 2 se presentan los porcentajes de materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico y sodio de cambio en las muestras recogidas en ese muestreo inicial. El porcentaje de materia orgánica es relativamente elevado en las muestras más superficiales. La capacidad de intercambio catiónico se sitúa en torno a 20-25 meq/100g, variando la concentración del sodio intercambiable entre 0,18 y 0,29 meq/100g.

**Tabla 2.** Caracterización inicial del suelo

Parcela	Profundidad (m)	MO (%)	CIC (meq/100g)	Na de cambio (meq/100g)
PGW RU	0 – 0,05	7,36	25,0	0,21
	0,05 – 0,20	1,30	23,5	0,23
	0,20 – 0,40	0,25	20,9	0,22
	0,40 – 0,60	0,05	24,8	0,25
	0,60 – 0,80	0	25,0	0,29
PGW AR	0 – 0,05	7,61	23,5	0,26
	0,05 – 0,20	2,57	19,8	0,18
	0,20 – 0,40	0,29	19,6	0,18
	0,40 – 0,60	0,01	20,3	0,22
	0,60 – 0,80	0,13	19,3	0,26

MO: materia orgánica. CIC: capacidad de intercambio catiónico

Los datos representados en la figura 3 corresponden a los muestreos de suelo al inicio de la campaña de riego (primavera 2012) y al final de la misma (otoño 2012). En el suelo no se aprecian diferencias tan significativas como en el agua del suelo, aunque al final de la campaña de riego se empieza a atisbar un incipiente incremento en la mineralización en PGW AR con respecto a PGW RU. El ión que más aumenta es el sodio, debido al carácter clorurado sódico del agua regenerada. Este ión podría estar incorporándose al complejo adsorbente del suelo, de acuerdo con los valores de sodio intercambiable obtenidos en otoño de 2012 (entre 0,28 y 0,60 meq/100g) en la parcela PGW AR frente a los valores del muestreo inicial encontrados en esta misma parcela (entre 0,18 y 0,26 meq/100g). Sin embargo, en la parcela PGW RU no se aprecian diferencias entre ambos muestreos (entre 0,21 y 0,29 meq/100g en el muestreo inicial y entre 0,19 y 0,27 meq/100g en octubre de 2012).

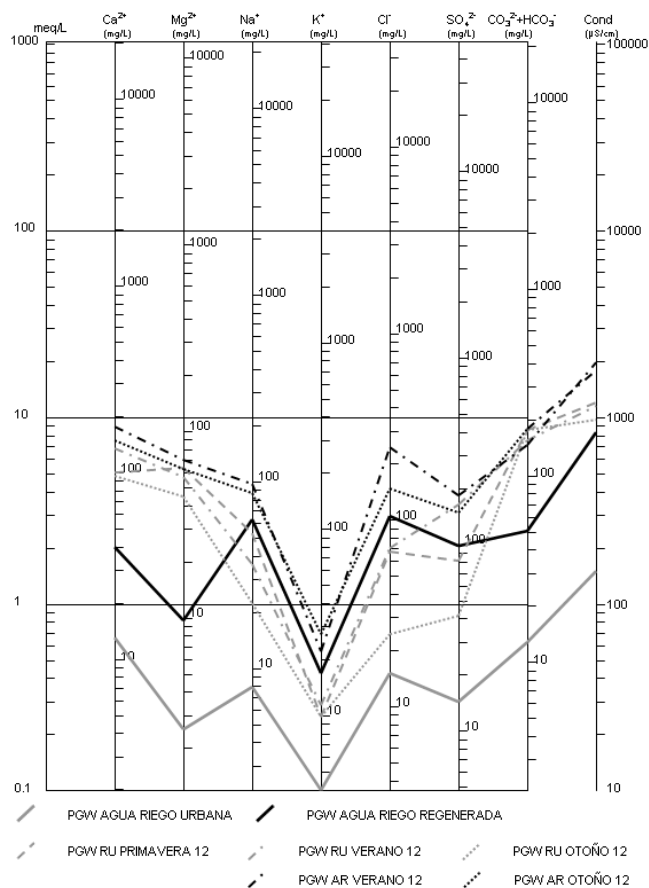


Fig. 2. Diagrama Schoeller - Berkaloff de las muestras de agua de riego (verano de 2012) y agua del suelo

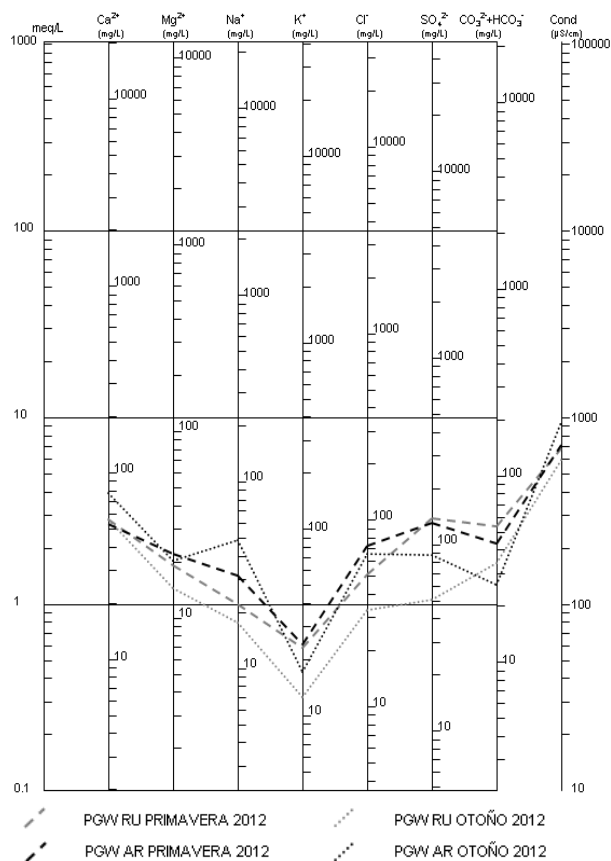


Fig. 3. Diagrama Schoeller - Berkaloff de las muestras ESS

### 3.3.- Vegetación

#### 3.3.1.- Especies arbóreas y arbustivas

En la figura 4 se representa el contenido foliar de cloruros y sodio en las especies seleccionadas.

Respecto al cloruro la especie arbórea analizada, el cedro, no mostró diferencias significativas entre ambas campañas; sin embargo, ambas especies arbustivas experimentaron un importante decremento en la concentración de cloruro en la campaña de 2012. Este comportamiento a priori parece contradecir los resultados esperados, teniendo en cuenta la mayor concentración de éste en el agua regenerada. Dado que el cloruro es un ión más problemático para especies leñosas perennes que el sodio (Ferguson y Gtattan, 2005), este descenso en la concentración foliar de cloruros es importante de cara al mantenimiento de dichas especies.

El sodio, por el contrario, ha experimentado un incremento en todos los ejemplares analizados, aunque sensiblemente mayor en los ubicados en la parcela PGW AR, llegando a ser entre tres y cinco veces mayor tras esta primera campaña de riego.

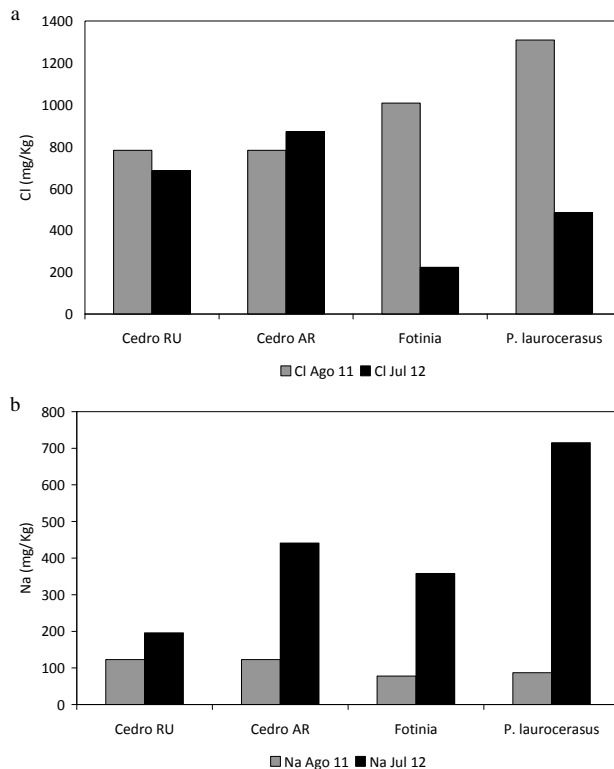


Fig. 4. Contenido foliar en cloruros (a) y sodio (b) en las especies arbóreas y arbustivas seleccionadas

### 3.3.2.- Pradera

El peso en kg/ha de herbáceas recogidas en las parcelas PGW RU y PGW AR y el incremento porcentual del peso en AR respecto a RU en cada siega, efectuada desde mayo hasta diciembre de 2012, se muestra en la Tabla 3. Este periodo corresponde a la campaña de riego de dicho año, prolongado hasta bien entrado el otoño.

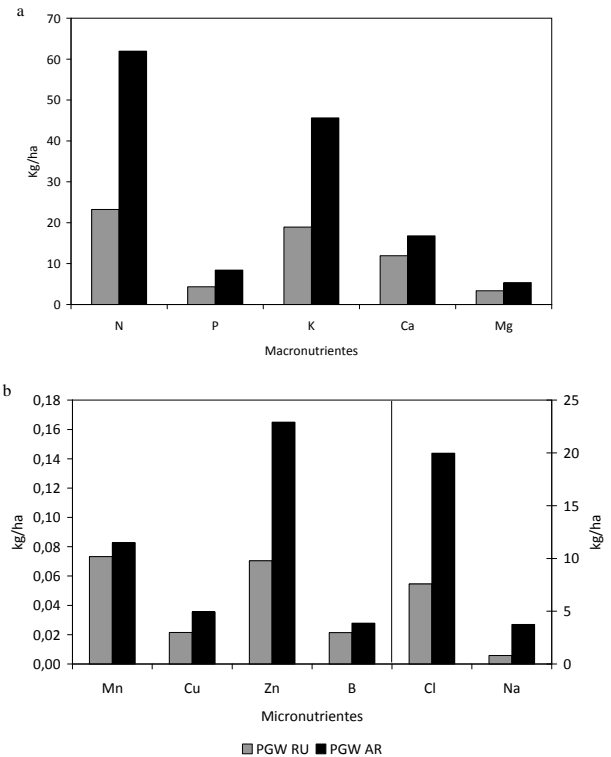
**Tabla 3.** Peso (kg/ha) de la hierba segada obtenida en PGW RU y PGW AR en las siegas correspondientes a la campaña de riego de 2012 e incremento porcentual registrado en AR con respecto a RU

Nº muestreo	Fecha muestreo	Peso (kg/ha)		Incremento (%) PGW AR-PGW RU
		PGW RU	PGW AR	
1	07/05/2012	1845,89	644,50	-186
2	04/06/2012	702,05	984,65	40
3	20/06/2012	746,58	1580,56	111
4	05/07/2012	931,51	2741,69	194
5	17/07/2012	910,96	1115,09	22
6	31/07/2012	794,52	1539,64	93
7	09/10/2012	885,27	2049,87	132
8	28/08/2012	976,03	2560,10	162
9	11/09/2012	657,53	1457,80	121
10	03/10/2012	1143,84	603,58	-90
11	06/11/2012	684,93	2491,05	264
12	18/12/2012	582,19	639,39	9
Suma		10.861,30	18.407,92	69

En ambas parcelas el peso obtenido en las distintas siegas fue muy variable. Excepto en dos de las doce siegas realizadas, el peso fue superior en la parcela regada con aguas regeneradas que en la regada con aguas de la red urbana. El incremento porcentual medio de hierba obtenido en PGW AR con respecto al PGW RU fue del 69%, superando en muchas ocasiones el 100%, es decir, el peso de la hierba segada en esta parcela duplicó -y a veces triplicó- el obtenido en la parcela regada con agua de la red urbana. Esta mayor productividad podría deberse al mayor aporte de nutrientes (nitrógeno y fósforo) que proporciona el agua regenerada.

En la figura 5 se ha representado el valor medio, en kg/ha, de los macronutrientes y micronutrientes de las herbáceas recogidas en las doce siegas en ambas parcelas. Tanto los macronutrientes como los micronutrientes se han visto incrementados en la pradera PGW AR con respecto a la PGW RU. Especialmente significativo es el incremento de nitrógeno y fósforo en lo que respecta a los macronutrientes, algo que se justificaría por las elevadas concentraciones de ambos en el agua regenerada con respecto al agua de la red urbana. En cuanto a los micronutrientes, cabe destacar las elevadas concentraciones de cloruros encontradas en la parcela PGW AR (10756 mg/kg en media) con respecto a la PGW RU (7988 mg/Kg), cuyo incremento podría estar relacionado con el descenso que experimenta la concentración de ese ión en las especies arbóreas y arbustivas. Aunque sólo se poseen datos de un año de riego con agua regenerada y, por tanto, los resultados son muy provisionales, este incremento - como el de todos los macro y micronutrientes - podría estar relacionado, por un lado, con la mayor producción de pradera en PGW AR y, por

otro, con una mayor incorporación de cloruro a la pradera cuando el agua presenta mayor concentración de este ión, ya que es un elemento muy móvil, por lo que su disponibilidad para ser tomado por las plantas es elevada (Tarchouna et al, 2010). Téngase en cuenta que, además de haberse detectado una mayor concentración de cloruros en las muestras de la pradera AR (un 35% más) que en la RU, la producción en la primera es un 69% mayor que en la segunda (Tabla 3), lo que supondría un decremento aún mayor de la disponibilidad de ese ion para el resto de la vegetación.



**Fig. 5.** Valor medio de macronutrientes (a) y micronutrientes (b) de las herbáceas recogidas en las doce siegas realizadas en 2012

## 4.- Conclusiones

La experiencia que se ha puesto en marcha en el Parque Garrigues Walker brinda una interesante oportunidad para evaluar los efectos del riego con agua regenerada en el suelo y la vegetación, por desarrollarse desde el instante “cero” de su aplicación.

Transcurrida la primera campaña de riego con agua regenerada, se observa un incremento en la mineralización del agua del suelo recogida en la parcela PGW AR frente a la recolectada en la PGW RU, especialmente significativa en sodio, potasio y cloruro.

Se percibe, asimismo, un incipiente aumento de la concentración de iones en el suelo de PGW AR con respecto al PGR RU, sobre todo en la concentración de sodio, por incorporación de este ión -cuya concentración en el agua regenerada es notable- al complejo adsorbente.

Tanto los macronutrientes como los micronutrientes se

han visto incrementados en la pradera PGW AR con respecto a la PGW RU, especialmente nitrógeno, potasio y cloruros. En las muestras foliares arbóreas y arbustivas seleccionadas se aprecia un notable incremento de sodio pero no de cloruros, que podría relacionarse con la mayor absorción por parte de la pradera de este último ión cuando se riega con un agua clorurada, como lo es la regenerada.

Se ha observado un incremento medio de un 69% de la productividad de herbáceas en PGW AR con respecto a PGW RU, que podría estar relacionado con el mayor aporte de nutrientes (nitrógeno y fósforo) que proporciona el agua regenerada.

*Agradecimientos.* Este trabajo se ha realizado merced al contrato de investigación UAH 56/2009, establecido entre la Universidad de Alcalá y la firma IMESAPI, SA, empresa concesionaria del Ayuntamiento de Madrid, a través del Departamento de Conservación de Zonas Verdes, para el servicio de conservación de las redes de riego con agua regenerada de los parques y jardines de Madrid. A ambas entidades se les agradece la colaboración prestada así como la autorización a la publicación de este trabajo.

## 5.- Bibliografía

- Balairón Pérez, L., 2002. Gestión de recursos hídricos. *Editado por Universidad Politécnica de Cataluña.*
- Ferguson, L., y S.R. Grattan, 2005. How salinity damages citrus: osmotic effects and specific ion toxicities. *HortTechnology*. 15, 95–99.
- Mujeriego Sahuquillo, R., 1990. *Manual práctico de riego con agua residual municipal regenerada.* Universidad Politécnica de Cataluña.
- Palacios, M.P. V. Mendoza, J.R. Fernández, F. Rodríguez, M.T. Tejedor, y J.M. Hernández, 2009. Subsurface drip irrigation and reclaimed water quality effects on phosphorus and salinity distribution and forage production. *Agric. Water Manage.* 96, 1659–1666.
- Sastre Merlín, A., S. Martínez Pérez, R. Bienes Allas, C. Carrera Olivares, E. Comesaña, y C. Encinas, 2011. Seguimiento del riego de los parques urbanos de la ciudad de Madrid con agua regenerada: estudio piloto en los parques del Oeste y Emperatriz María de Austria, en: *Actas de las XI Jornadas de Investigación de la Zona No Saturada del Suelo*, Salamanca (España).
- Tarchouna, L.G., P. Merdy, M. Raynaud, H.R. Pfeifer, y Y. Lucas, 2010. Effects of long-term irrigation with treated wastewater. Part I: Evolution of soil physico-chemical properties. *Appl. Geochem.* 25, 1703–1710.
- Walker, C. y H.S. Lin, 2008. Soil property changes after four decades of wastewater irrigation: A landscape perspective. *Catena*. 73, 63–74.