

## 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

A. Sastre Merlín<sup>1</sup>, S. Martínez Pérez<sup>1</sup>, R. Bienes Allas<sup>1</sup>, C. Carrera Olivares<sup>1</sup>, E. Comesaña<sup>2</sup>, C. Encinas<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Geología, Universidad de Alcalá. 28871 Alcalá de Henares (Madrid). antonio.sastre@uah.es; silvia.martinez@uah.es; carlos.carrera@alu.uah.es

<sup>2</sup>Departamento de Conservación de Zonas Verdes, Ayuntamiento de Madrid.

<sup>3</sup>IMESAPI SA. Dpto. de Medio Ambiente; Avda. de Manoteras, 28 (Madrid)

**RESUMEN.** La mayor parte de los parques urbanos de la ciudad de Madrid se vienen regando con aguas regeneradas desde 2002, sustituyendo a las aguas de abastecimiento urbano que hasta entonces se empleaban para ese menester. Ello ha liberado un considerable volumen de agua potable para el abastecimiento de la ciudad. Sin embargo, hasta la fecha no se había acometido un análisis sistemático de los efectos del uso de las aguas regeneradas procedentes de las ERARs de la propia urbe en los ecosistemas creados en los parques con un planteamiento globalizador, entendiéndose por ello la observación y el seguimiento de los posibles efectos en el agua edáfica, en los suelos, en la vegetación y aún en las aguas subterráneas subyacentes allí donde se disponía de manifestaciones de descarga de las mismas.

Dicho seguimiento se está efectuando desde el año 2009, comportando la instalación y operación de cuatro baterías de tomamuestras de agua edáfica mediante succión, ubicados a 0,15-0,30, 0,45-0,60 y 0,80-1.20 metros de profundidad. Dos de las baterías de tomamuestras se han emplazado en el Parque del Oeste -regado con agua regenerada- y las otras dos en el Parque Emperatriz María de Austria (PEMA en lo sucesivo), una en el sector del mismo regado con agua regenerada y la otra en un predio aún regado con agua de la red de agua potable urbana.

Se han efectuado hasta la fecha seis campañas de muestreo, con periodicidad trimestral, concluyéndose que, aunque el agua regenerada empleada en el riego cumple con lo preceptuado en el RD 1620/2007, el mayor contenido en nutrientes de las aguas regeneradas utilizadas respecto a las aguas de la red urbana y, sobre todo, el mayor contenido en sólidos disueltos –especialmente cloruros y sodio-, aconseja tomar algunas precauciones respecto al manejo de las dosis de riego empleadas hasta la fecha.

**ABSTRACT.** Most urban parks in the city of Madrid have been irrigated with recycled water since 2002, thus replacing the urban water supply used up to then for that mission. This has released a substantial volume of drinking water to supply the city. However, to date a systematic analysis with a holistic approach of the effects of using reclaimed water from the WWTPs of the city itself on the ecosystems created in the parks had not been undertaken, understanding this as the observation and monitoring of potential effects on soil water, soil, vegetation and even the groundwater.

Such monitoring has been conducted since 2009, which has entailed the installation and operation of four batteries of soil water samplers by suction, located at 0,15-0,30,

0,45-0,60 and 0,80-1.20 meters deep. Two of these batteries are located in the *Parque del Oeste* (irrigated with reclaimed water) and the other two are in the *Parque Emperatriz María de Austria*, one in the main sector, irrigated with reclaimed water too, and the other in a marginal plot still irrigated with drinking water.

To date, six sampling campaigns have been conducted on a quarterly basis, concluding that although the reclaimed water used for irrigation is in compliance with the provisions in the Royal Decree 1620/2007, its higher nutrient content and, above all, its higher content of dissolved solids –especially chloride and sodium– seem to suggest that irrigation doses should be adjusted with care.

### 1.- Introducción

La reutilización de las aguas regeneradas –definida como la utilización de nuevo de volúmenes de agua ya utilizados en otros usos anteriores- para el riego de jardines urbanos y parques públicos se configura como una alternativa al uso de aguas potables, liberándose, con su aplicación, volúmenes sustanciales de un recurso a menudo escaso en el clima mediterráneo, característico de buena parte de nuestro país. El RD 1.620/2.007 (BOE, 2007) rige la utilización de agua regenerada en España, cuyo principal problema radica en las dudas que surgen sobre si se puede considerar una fuente segura desde el punto de vista sanitario y ambiental.

El principal uso que se le da al agua regenerada en España es el riego agrícola (80%), seguido del riego de jardines; Valencia y Murcia son las regiones donde hay más estaciones regeneradoras de aguas residuales (ERAR) en funcionamiento. Otros usos a los que se destinan estas aguas son urbanos (jardinería, extinción de incendios, baldeo calles y lavado automóviles), usos industriales (refrigeración de motores y circuitos, lavado de vagones de ferrocarril), riego agrícola y forestal, recreativos, mejora y conservación del medio natural y recarga de acuíferos (Tabla I). Asimismo, es cada vez mayor el volumen de agua regenerada que se utiliza en España (Tabla I), siendo las cuencas deficitarias mediterráneas y las islas, las que presentan unos porcentajes mayores de reutilización (Corrochano, 2008).

**Tabla 1.** Volúmenes de agua regenerada aplicados en España

USOS	Volumen 2.001		Volumen 2.004	
	m <sup>3</sup> /año	%	hm <sup>3</sup> /año	%

Riego	285	82	323	79
Urbano	24	7	33	8
Recreativo/ campos de golf	21	6	25	6
Industrial	22	1	3	1
Ambiental	14	4	24	6
TOTAL	346	100	408	100

La mayor parte de los parques urbanos de la ciudad de Madrid se vienen regando con aguas regeneradas desde 2002, sustituyendo a las aguas de abastecimiento urbano. Ello ha liberado un considerable volumen de agua potable para el abastecimiento de la ciudad. Sin embargo, hasta la fecha no se había acometido un análisis sistemático con un planteamiento globalizador de los efectos del uso de las aguas regeneradas procedentes de las ERAR,s de la urbe en los ecosistemas creados en los parques, entendiendo por ello la observación y el seguimiento de los posibles efectos en el agua edáfica, en los suelos, en la vegetación y aún en las aguas subterráneas subyacentes allí donde se dispone de manifestaciones de descarga de las mismas.

El presente trabajo es el resultado de la investigación que, desde 2009, se viene realizando en el marco de un proyecto de investigación que está llevando a cabo un grupo de investigadores del Departamento de Geología de la Universidad de Alcalá, denominado “Seguimiento del riego con aguas regeneradas de los parques urbanos de Madrid”, para el Departamento de Conservación de Zonas Verdes del Ayuntamiento de Madrid, a través de la empresa concesionaria del servicio de riego (IMESAPI); tiene por finalidad analizar los efectos del riego con este tipo de aguas (RAR) en los parques madrileños con respecto al riego con agua de la red urbana (RRU). Dicho seguimiento ha comportado la instalación y operación de sendas redes piloto de observación en dos de los parques regados con aguas regeneradas, el Parque del Oeste (PO) y el PEMA. Se han efectuado hasta la fecha seis campañas de muestreo con periodicidad trimestral, incluyendo la toma de muestras de suelo, muestras foliares de especies representativas y agua edáfica y subterránea; también del agua regenerada empleada en el riego de ambos parques.

## 2.- Material y métodos

### 2.1.- Área de estudio

El estudio se está llevando a cabo en los dos parques públicos citados, en los que concurren circunstancias diferentes. El del Oeste es uno de los más emblemáticos de Madrid, concebido a modo de balcón verde sobre el Manzanares. Se riega en su totalidad con aguas regeneradas desde el año 2002 y en él se han elegido dos praderas para la ubicación de sendas instalaciones de control (PO E2 y PO E6). Por su parte, el PEMA es un parque de más reciente creación (mediados de los 70’) situado al suroeste de la ciudad, en el que, desde 2002, se está llevando a cabo simultáneamente el riego con aguas regeneradas en la mayoría de su superficie y el tradicional riego con agua de la red urbana en un sector marginal del mismo. La coexistencia en este parque de ambos tipos de riego

proporciona la posibilidad de analizar de forma comparativa los efectos del riego con el agua regenerada frente al desarrollado con agua potable. A tal fin, se ha ubicado sendas parcelas experimentales en cada uno de estos sectores: PEMA RAR en el regado con aguas regeneradas y PEMA RRU en el regado con agua de la red de abastecimiento público.

### 2.2.- Red de muestreo

Se ha instalado una red de control en cada una de las cuatro parcelas experimentales descritas para el muestreo del suelo, del agua edáfica a diferentes profundidades y de la vegetación. Asimismo, se ha muestreado el agua de riego (tanto la regenerada como la de la red de abastecimiento urbano) y el agua subterránea en el Parque del Oeste.

En lo referente al muestreo de suelos, se han efectuado dos campañas de muestreo por emplazamiento y año coincidiendo con el final de los periodos de lluvias (abril-mayo) y de riego (octubre), tomando tres muestras por parcela a tres profundidades del perfil (0,15, 0,45 y 1,2m). Las muestras se han obtenido mediante una barrena extractora Edelman convencional de 6 cm de diámetro por toma en tres puntos discretos dispuestos en un radio de unos 25 metros en torno al foco central del emplazamiento. Las determinaciones realizadas sobre estas muestras han sido: pH, conductividad, textura, materia orgánica, CIC, bases de cambio, nitrógeno, fósforo, hierro, manganeso, boro, zinc, cobre y carbonato total y activo.

En lo concerniente al agua, se han recogido muestras de agua regenerada de riego en ambos parques, así como de agua de la red urbana en el PEMA, efectuándose tres campañas de muestreo desde el inicio de la experiencia hasta el momento presente. Asimismo, se han recogido muestras de agua de la zona no saturada en cada una de las cuatro parcelas mediante la instalación de tomamuestras de succión de la firma Sdec -de 31 mm de diámetro- y otros de elaboración propia de 60 mm de diámetro, a diferentes profundidades, sobre los que se aplicó una presión de 70 centibares, procurándose que las cápsulas porosas de éstas quedaran situadas a las profundidades en las que fueron tomadas las muestras de suelo (0,15-0,30m, 0,40-0,6m y 1,10-1,30m). Finalmente, en el PO se han recolectado muestras de aguas subterráneas procedentes de la denominada “Fuente de la Salud” y de un viaje de agua que atraviesa una de las dos parcelas experimentales ubicadas en él (PO E2), a razón de dos muestreos por año, durante la temporada de riego y en invierno –final del periodo de lluvias-. Las determinaciones realizadas sobre todas las muestras de agua incluyen pH, conductividad eléctrica, temperatura, cloruros, sulfatos, bicarbonatos, carbonatos, sílice, nitratos, nitratos, amonio, fosfatos, fósforo total, sodio, magnesio, calcio y potasio, punto de congelación, total de sólidos disueltos (TSD), dureza y alcalinidad. En las aguas regeneradas se han determinado los parámetros indicadores de su calidad sanitaria.

En cuanto a la vegetación, se han tomado muestras foliares de tres especies representativas de cada parque a razón de tres campañas de muestreo por año (en primavera -antes de que comenzara la floración-, en el centro del

verano y al principio del otoño), evitando tomar hojas de reciente brotación o las senescentes. Se seleccionaron dos especies de porte arbóreo en ambos parques, el almez (*Celtis Australis*) y el cedro del Atlas (*Cedrus atlantica*), y una arbustiva en cada uno: el lilo (*Syringa vulgaris*) en el PO y (*Photinia serrulata*) en el PEMA. Los parámetros analizados en estas muestras han sido macrooligoelementos (nitrógeno, fósforo, calcio, potasio, magnesio y azufre) y microoligoelementos (hierro, manganeso, cobre, boro, molibdeno, zinc, sodio y cloruros).

### 3.- Resultados y discusión

#### 3.1.- Agua de riego

Desde el punto de vista de la calidad sanitaria las aguas regeneradas son aptas para el riego de los parques públicos de acuerdo con lo dispuesto en el RD 1.620/2.007.

Desde el punto de vista físico-químico, el contenido iónico de las tres muestras recogidas está por debajo de los límites de los valores normalmente admisibles para el agua de riego (Tabla II) excepto el contenido en nitratos (en el PO) y en potasio (en PO y PEMA) del agua de riego regenerada, que supera los límites recomendados, lo que debe tenerse en cuenta a la hora de calcular las dosis de fertilizante que se deben aplicar.

A su vez, en los diagramas de Schoeller-Berkaloff de las Figs. 1 y 2 se observa que las muestras de aguas regeneradas (con una composición muy similar entre sí) presentan un mayor contenido iónico que la de la red urbana, especialmente de los cationes sodio y potasio y de los aniones cloruro, sulfato y nitrato, siendo las aguas de la red urbana bicarbonatadas cálcicas y las regeneradas cloruradas sódicas. La conductividad eléctrica –entre 600 y 700  $\mu\text{S}/\text{cm}$ - sugiere que éstas no deben acarrear problemas de salinización al suelo (Urbano, 1995; Ayers y Wescot, 1987); no obstante, la conductividad del agua de la red urbana (100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) es sensiblemente inferior a la del agua regenerada, lo que debería tenerse en cuenta a la hora de establecer las dosis de riego, debiendo contar con el lavado del exceso de sales que pudiera derivarse de su uso. Tales aguas de riego regeneradas se clasificarían como C2-S1 según la norma Riverside, mientras que las de abastecimiento público pertenecen a la clase C1.

Por otro lado, las características de estas aguas no sugieren problemas de impermeabilización (índice de Eaton) o de alcalinización de los suelos (índice de Nelly), ni de toxicidad por cloruros (índice de Scott), a pesar de ser aguas cloruradas sódicas.

Tabla 2. Principales parámetros analíticos del agua de riego.

Parámetro	Unidad	Intervalo usual <sup>1</sup>	Agua de riego PO	Agua de riego PEMA	
				RAR	RRU
CE (25°C)	$\mu\text{S}/\text{cm}$	0 – 3000	590,67	728,50	110,00
Ca <sup>2+</sup>	mg/l	0 – 400	33,45	35,43	17,73
Mg <sup>2+</sup>	mg/l	0 – 60	3,92	8,56	< 2

Na <sup>+</sup>	mg/l	0 – 900	75,14	72,58	8,32
CO <sub>2</sub> <sup>-3</sup>	mg/l	0 – 3	<5	<5	< 5
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	0 – 600	70,14	115,93	30,93
*Cl <sup>-</sup>	mg/l	0 – 1100	92,50	84,92	14,61
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	mg/l	0 – 1100	63,87	70,34	8,90
*NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	0 – 10	32,58	6,21	< 2
*NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/l	0 – 5	< 0,04	12,22	0,25
*PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	mg/l	0 – 2	0,96	0,74	0,08
*K <sup>+</sup>	mg/l	0 – 2	16,33	14,54	0,99
pH	-	6,5 – 8,5	7,30	7,04	7,87
SAR	-	0 – 15	3,26	2,85	0,52
SiO <sub>2</sub>	mg/l	-	15,19	11,75	3,12
B	mg/l	0 – 2	0,15	0,18	0,03
Cu	mg/l	-	<0,10	<0,10	-
Cu	mg/l	-	<0,10	<0,10	<0,052
Fe	mg/l	-	<0,20	0,12	<0,05
Mn	mg/l	-	<0,10	0,05	<0,04
Zn	mg/l	-	0,10	<0,10	-
Zn	mg/l	-	<0,10	<0,10	<0,013

<sup>1</sup>Mujeriego, 1990 y [\*] Balairón, 2002

#### 3.2.- Suelos

En el emplazamiento PO E2, los suelos presentan una textura franco-arenosa en todo el perfil, con pH<sub>s</sub> que van desde 7,5 a 8 y tendencia al aumento en profundidad, mientras que en el PO E6 los suelos son franco-arenosos en los primeros horizontes, pero franco-arcillo-arenosos a 1,20 m, con pH en torno a 8 en todo el perfil. En ambos emplazamientos la conductividad eléctrica se sitúa en torno a 200-300  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , como lo demuestra la Fig. 1 –en la que se representan los valores medios obtenidos para los seis muestreos realizados de los correspondientes parámetros-, no apreciándose diferencias claras con respecto a este parámetro en el perfil del suelo. En esta misma figura se observa que entre los cationes de cambio, el mayoritario es siempre el calcio, seguido del magnesio, siendo significativos los mayores contenidos de potasio encontrados en los horizontes más superficiales respecto a los más profundos.

En cuanto a los aniones, se han detectado elevadas concentraciones de cloruros, que podrían originar toxicidad en algunas especies y elevada concentración de sulfatos, congruente con el sustrato sobre el que se asientan estos suelos. También son elevadas las concentraciones de nitratos, que en la mayoría de las muestras superan los 300 mg/L (pasta saturada).

En el PEMA, los suelos del emplazamiento RRU han mostrado una textura franco-arcillosa o franco-arcillo-arenosa, con valores de pH comprendidos entre 7,5 y 8, observándose una cierta tendencia al aumento en profundidad. La conductividad eléctrica es netamente

superior en los dos primeros horizontes del emplazamiento RAR con respecto a los mismos del RRU; tendencia que deja de observarse a 1,10-1,30 m, debido probablemente a que a esa profundidad se está muestreando ya el substrato yesífero sobre el que reposa este parque. Este hecho sería también la razón por la que, dentro de cada emplazamiento, la conductividad aumente desde la superficie hasta las capas más profundas del suelo (Fig. 2).

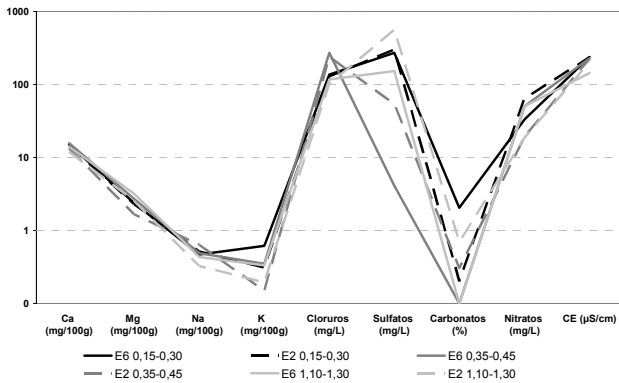


Fig. 1. Cationes, aniones y conductividad medias en los suelos del PO

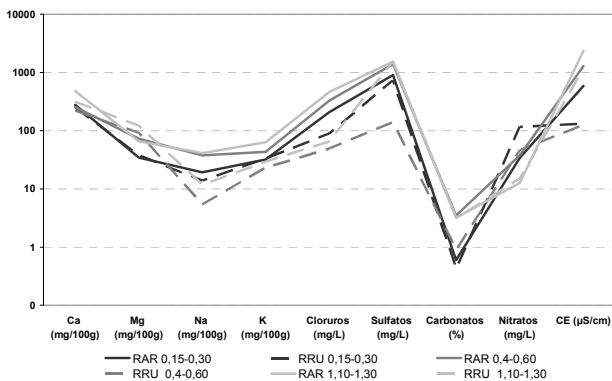


Fig. 2. Cationes, aniones y conductividad medias en los suelos del PEMA

En esta figura se aprecia también que el calcio es el catión de cambio predominante en ambos emplazamientos, seguido del magnesio, con valores de sodio y potasio notablemente superiores en los suelos regados con aguas regeneradas que en los regados con aguas de la red urbana. Finalmente, en lo relativo a los aniones, tanto los cloruros como los sulfatos muestran elevadas concentraciones en los suelos RAR con respecto a los RRU, excepción hecha de nuevo en las muestras RRU recogidas a 1,10-1,30 m de profundidad, cuya concentración de sulfatos es similar a la de los suelos RAR, por corresponderse ya con el propio substrato yesífero.

### 3.3.- Agua edáfica

En concordancia con lo que cabría esperar, las aguas recogidas en la zona no saturada muestran siempre un mayor grado de mineralización que el agua regenerada de riego. Asimismo, el grado de mineralización global del agua va incrementándose a medida que se avanza en el perfil del suelo, pasándose de conductividades en torno a

900 µS/cm en las muestras recogidas a 0,15-0,30 m a los más de 2000 µS/cm en las recogidas a 1,10-1,30 m. La Fig.3 muestra la representación de los iones mayoritarios de las muestras de agua edáfica recolectadas en el PO en un diagrama de Schoeller-Berkaloff, recogiendo los valores medios de las seis campañas de muestreo a las diferentes profundidades muestreadas para ambos emplazamientos.

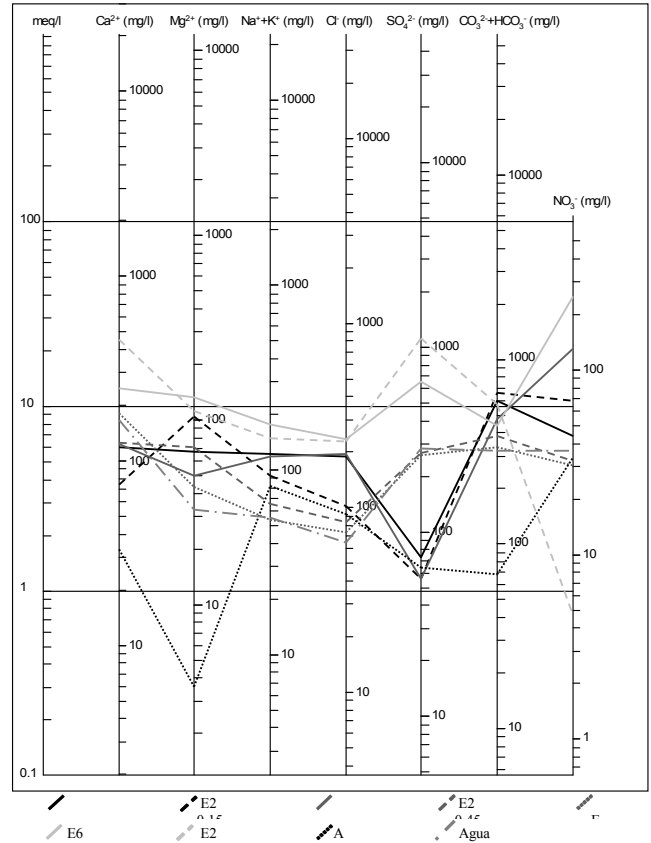


Fig. 3. Aniones y cationes mayoritarios en las muestras recogidas en el PO (valores medios correspondientes a cada profundidad muestreada)

Se aprecia también una evolución iónica del agua edáfica en función de la profundidad de muestreo: desde el lado aniónico, pasando del inicial carácter clorurado, hacia un acusado carácter bicarbonatado primero -debido probablemente a la disolución del CO<sub>2</sub> del suelo hasta saturación-, y sulfatado después por disolución de sulfatos; desde el lado catiónico, el contenido sódico inicial del agua de riego da paso al carácter cálcico y magnésico, con predominio del calcio en primera instancia y del magnesio después, observándose indicios de intercambio iónico de calcio por magnesio al pasar el agua del horizonte de 0,45m a 1,20 m. Así pues, las muestras más superficiales son bicarbonatadas cálcicas y experimentan un cambio hacia aguas sulfatadas cálcicas o cálcico-magnésicas a medida que se avanza en profundidad. Aparecen elevadas concentraciones de carbonatos en todas las muestras de agua edáfica recolectadas en el PO, lo que es acorde con los valores de pH de las mismas (mayor que 8).

En el PEMA también se ha observado un incremento en el grado de mineralización del agua edáfica a medida que

se desciende en la zona no saturada, con valores que van desde unos 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en las muestras recogidas a 0,15-0,30 m a más de 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en las recogidas a 1,10-1,30 m en el emplazamiento RRU y desde unos 800  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en las muestras recogidas a 0,15-0,30 m a más de 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en las recogidas a 1,10-1,30 m en el emplazamiento RAR.

La Fig. 4 muestra en un diagrama de Schoeller-Berkaloff la representación de los iones mayoritarios de las muestras de agua edáfica recolectadas en el PEMA, representándose también los valores medios de las seis campañas de muestreo a las diferentes profundidades muestreadas y para ambos emplazamientos (RRU y RAR). Se puede apreciar un mayor contenido iónico en las muestras recogidas en RAR que en las recogidas en RRU, independientemente de la profundidad de toma de muestras. En ambos casos, se observa también una evolución iónica del agua edáfica en función de la profundidad de muestreo, desde aguas bicarbonatadas cálcicas -de 0 a 0,60 m- a aguas sulfatadas magnésicas a 1,10-1,30 m de profundidad en RAR y desde bicarbonatadas magnésicas a sulfatadas magnésicas en RRU.

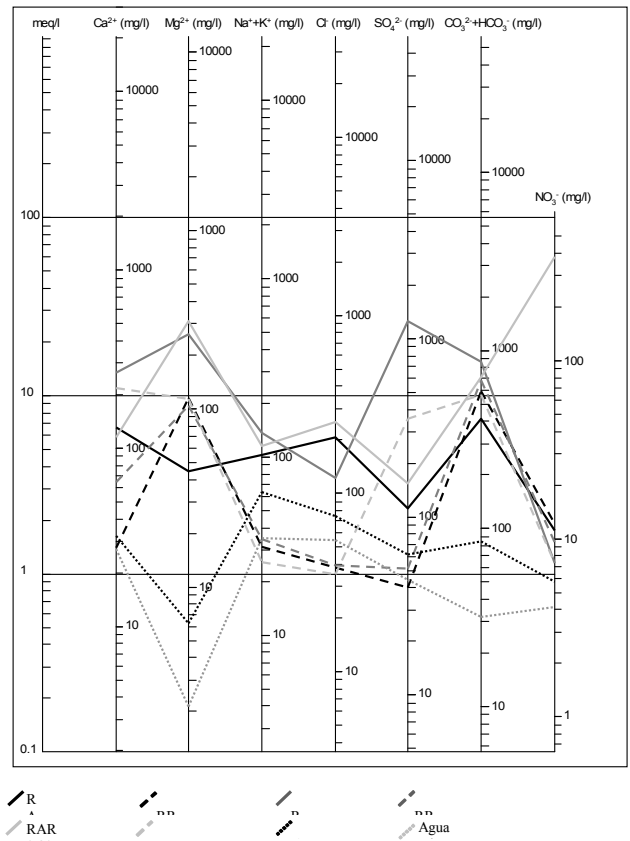
En las muestras de agua edáfica se han analizado también los principales metales pesados (Fe, Mn, Zn, Cd y Cu), no habiéndose encontrado valores anómalos para ninguno de ellos, aunque destacando sobre el resto las concentraciones de hierro y manganeso en los cuatro emplazamientos. Por otra parte, el boro ha presentado valores bajos en ambos parques a lo largo de toda la experiencia.

### 3.4.- Vegetación

Respecto a las muestras foliares, la concentración de macrooligoelementos y de la mayor parte de los microoligoelementos no presenta, en líneas generales, diferencias significativas entre aquellos ejemplares regados con aguas regeneradas y los regados con aguas procedentes de la red urbana. Tampoco se aprecian diferencias sustanciales a lo largo de los dos años de muestreo, más allá de las esperables como consecuencia de las propias variaciones inherentes al ciclo fenológico de las distintas especies tenidas en cuenta.

Sólo la concentración foliar de sodio y cloruros sugiere un incremento de estos microoligoelementos como consecuencia del riego con aguas regeneradas, siendo el caso más evidente el de los cedros. En la Fig. 5 se presenta la concentración de sodio y cloruros en los cedros muestreados en la parcela E6 del PO (“cedro decaído” y “cedro normal”) –ambos regados con agua regenerada- y en las dos del PEMA –uno de ellos regado con agua regenerada (RAR) y el otro con agua potable (RRU)-.

La razón de una doble muestra de cedro en el PO es la presencia en la parcela de muestreo de especímenes con un claro decaimiento foliar junto a otros cuyo aspecto resulta aparentemente sano. Las líneas punteadas verticales que cortan el gráfico representan el cambio de un año de muestreo a otro.



**Fig. 4** Aniones y cationes mayoritarios en las muestras recogidas en el PEMA (valores medios correspondientes a cada profundidad muestreada)

La concentración de sodio y cloruros es inferior en los cedros muestreados en la parcela del PEMA regada con agua de la red urbana que en el resto en todos los muestreos efectuados, siendo a su vez los ejemplares del PO los que presentan los mayores valores. Asimismo, la concentración de cloruros –y en menor medida la de sodio- es netamente superior en las muestras de “cedro decaído” que en las del “normal”, ambos ubicados en idéntica parcela del PO. Este comportamiento del ión cloruro podría relacionarse con la sintomatología observada en el cedro decaído, pues la toxicidad por ión cloruro se manifiesta como un bronceado ligero y una decoloración amarillenta de la punta de las hojas, seguida de necrosis general (Cassaniti et al, 2009). Por otro lado, el contenido foliar de cloruros –ión más problemático para especies leñosas perennes que el sodio (Ferguson y Gtattan, 2005)- es mayor que el de sodio en todos los muestreos y en ambos parques, lo cual puede explicarse por dos factores principalmente: por un lado, el cloruro es un elemento muy móvil que no queda fijado en el complejo de cambio del suelo (como sí ocurre con el sodio), permaneciendo en la solución del mismo, por lo que es mayor su disponibilidad para ser tomado por las plantas (Tarchouna et al, 2010); por otro, el ión sodio tiende a quedar retenido en los tejidos leñosos (principalmente tallos y raíces) mientras que los cloruros son transportados a las hojas, proceso íntimamente ligado a la tolerancia de las especies a la salinidad (Munns y Tester, 2008).

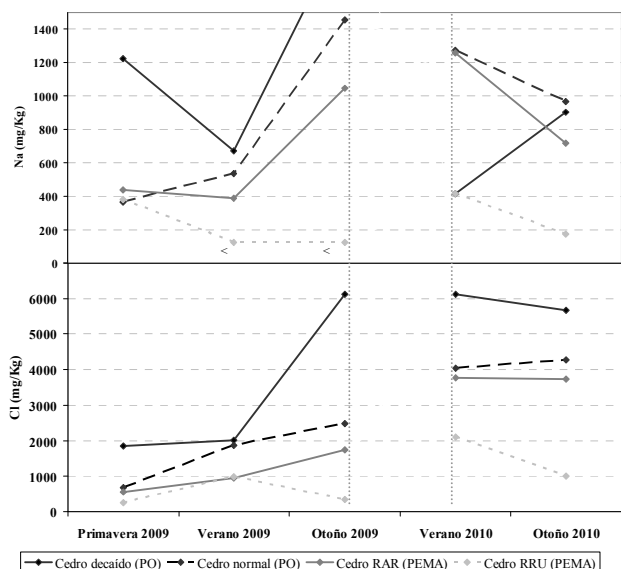


Fig. 5 Concentraciones de sodio y cloruros (mg/Kg) en los cedros muestreados en ambos parques

#### 4.- Conclusiones

Las aguas regeneradas empleadas para el riego de los parques del Oeste y Emperatriz María de Austria de Madrid desde el año 2002, son aptas para ese menester, aunque presentan un grado de mineralización notablemente superior al agua de la red urbana empleada con anterioridad, siendo su perfil iónico clorurado sódico. Este hecho debe tenerse en cuenta a la hora de establecer las dosis de riego, debiendo contar con la eventualidad del lavado del exceso de sales que pudiera derivarse del uso del agua regenerada.

En los suelos regados con tales aguas se aprecia mayor conductividad eléctrica y concentraciones más elevadas -tanto de cloruros como de sulfatos- respecto a los regados con agua potable, excepción hecha de la muestra recogida a 1,10-1,30 m de profundidad en la parcela PEMA RRU, cuya concentración de sulfatos es similar en ambos emplazamientos, por corresponderse ya con el propio substrato yesífero de ese parque.

Las aguas recogidas en la zona no saturada muestran siempre un mayor grado de mineralización que el agua regenerada de riego. Asimismo, el grado de mineralización global del agua va incrementándose a medida que se avanza en el perfil del suelo, encontrándose valores de conductividad superiores en las parcelas regadas con agua regenerada que en la regada con agua de la red urbana. También se observa un cambio de perfil iónico desde aguas bicarbonatadas cálcicas o magnésicas en las muestras recolectadas a profundidades de entre 0 y 0,60 m a aguas sulfatadas magnésicas o cálcico-magnésicas e a 1,10-1,30 m de profundidad, circunstancia de nuevo relacionada con las características del substrato sobre el que se instalan los elementos porosos de los tomamuestras más profundos.

Respecto a las muestras foliares, la concentración de macrooligoelementos y de la mayor parte de los

microoligoelementos no presenta, en líneas generales, diferencias significativas entre aquellos ejemplares regados con aguas regeneradas y los regados con aguas procedentes de la red urbana. La concentración foliar de cloruros es mayor en los ejemplares regados con aguas regeneradas que en los regados con agua potable, siendo este hecho especialmente patente en los cedros. A su vez, las muestras de cedro decaído presentan las mayores concentraciones de cloruros registradas durante la experiencia, pudiendo ser la causa de la sintomatología mostrada por éstos

*Agradecimientos.* Este trabajo se ha realizado merced a un convenio de colaboración establecido entre la Universidad de Alcalá, el Ayuntamiento de Madrid y la empresa IMESAPI (UAH 56/2009).

#### 5.- Bibliografía

- Balairón, L. (2002). Gestión de recursos hídricos. Ediciones de la Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.
- BOE núm. 294. RD. 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas.
- Cassaniti, C; Leonardi, C y Flowers T.J. (2009) The effects of sodium chloride on ornamental shrubs. *Scientia Horticulturae* 122 586-593.
- Corrochano Codorniu, A. (2008). Nuevo Real Decreto sobre reutilización de aguas depuradas. *Ambienta N° 76. Págs. 38-42.*
- Ferguson, L., Grattan, S.R., (2005). How salinity damages citrus: osmotic effects and specific ion toxicities. *HortTechnology* 15, 95-99.
- Mujeriego, R. (1990). *Manual Práctico de Riego con Agua Residual Municipal Regenerada.* Ediciones de la Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.
- Munns, R. y Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 59, 651-681.
- Tarchouna, L.G., Merdy, P. Raynaud, M., Pfeifer H.R. y Lucas, Y. (2010) Effects of long-term irrigation with treated wastewater. Part I: Evolution of soil physico-chemical properties. *Applied Geochemistry* 25, 1703-1710.
- Urbano, P. (1995). *Tratado de fitotecnia general.* (1ª. ed.). Ed. Mundi-Prensa. Madrid.