

CONTENIDO DE SELENIO EN DIFERENTES PLANTAS EN REGIMEN SEMIARIDO

M.ª J. MORENO RODRÍGUEZ¹, V. CALA RIVERO¹ & R. JIMÉNEZ BALLESTA¹

RESUMEN

El contenido de selenio en algunos suelos de la cuenca de Madrid es elevado, y consecuentemente su biodisponibilidad para las plantas puede ser grande, debido a la climatología y caracteres geoquímicos de la zona. En este sentido se han seleccionado 67 plantas de los géneros *Atriplex*, *Astragalus*, *Hedysarum*, *Helianthemum*, *Hippocrepis*, *Limonium*, *Lygeum*, *Mercurialis*, *Onobrychis*, *Plomis*, *Salsola* y *Thymus*, de 11 zonas enmarcadas dentro de la cuenca de Madrid. Los contenidos totales en selenio, analizados tanto en la parte aérea como en la raíz, varía marcadamente desde 0.14 hasta 14.25 mg Se/kg. Algunas plantas acumulan bajos contenidos de Se, pero en contraste otras lo hacen en niveles relativamente elevados. Las diferencias encontradas pueden ser debidas a las distintas concentraciones y formas de Se en los suelos; composición mineralógica, salinidad y condiciones oxidantes de los mismos; movimiento de Se a lo largo del perfil y tipo de especies vegetales.

Palabras clave: Selenio, plantas, semiárido.

INTRODUCCION

El conocimiento que se ha ido adquiriendo con el transcurso del tiempo respecto a los contenidos y formas de selenio en los suelos ha ido encaminado principalmente hacia el estudio de su disponibilidad para las plantas, BEESON (1961), FLEMING (1962), MAYLAND *et al.* (1989), WU (1994) y JIMÉNEZ BALLESTA *et al.* (1997) entre otros.

Desde hace tiempo es sabido la tolerancia de determinadas especies vegetales por el Se, según avanzó en 1935 Beath y col. (FLEMING 1980). De este modo, ciertas especies indican invariablemente la presencia de Se, desarrollándose sobre determinadas formaciones geológicas o edáficas. Las concentraciones de Se en plantas son un buen indicador de si un área puede ser clasificada como selenio deficiente; así mismo, dado que el Se se acumula en ciertas plantas, (*Astragalus*, *Atriplex*, *Salsola*, etc.) éstas han sido utilizadas para prospección geoquímica. Ahora bien, como el selenio es un micronutriente esencial, el interés de su estudio en plantas radica, hoy día, en su

importancia en la nutrición animal, (concretamente en animales de granja); a ello hay que añadir que también es tóxico por encima de determinado umbral. Justamente esta dualidad fisiológica requiere especial atención debido al estrecho rango existente entre deficiencia y toxicidad.

Generalmente, se acepta que un contenido entre 0.1-0.3 mg Se/kg en especies vegetales de consumo animal es el adecuado para la mayoría de los animales (MAYLAND 1994). MISRA Y TRIPATHI (1971), KUBOTA Y HALAWAY (1972) y KABATA-PENDIAS (1984), estiman como valor tóxico cuando se superan 3 ó 5 mg Se/kg de planta seca. Sin embargo, frecuentemente, los suelos no son capaces de suministrar las cantidades citadas, de forma que una baja ingesta en Se provoca deficiencias y consecuentemente la aparición de enfermedades seleno-dependientes. Contrariamente, también existen suelos con altos contenidos en Se disponible provocando, así mismo, enfermedades pero, esta vez, por toxicidad.

Las plantas toman Se dependiendo de las condiciones climáticas (temperatura y régimen hídrico del suelo son fundamentales), potencial redox, pH, existencia de micorrizas etc. Se ha demostrado que en suelos con bajos contenidos de Se, las

¹ Dto. de Química Agrícola, Geología y Geoquímica. Universidad Autónoma. Madrid.

plantas absorben cantidades apreciables de este elemento a temperatura de 20 °C, mientras que por debajo de 15 °C su absorción se reduce drásticamente (KABATA-PENDIAS, 1984).

Al analizar de forma general los contenidos en Se en diversas plantas, de diversos países, EHLIG *et al.* (1968), encuentran escasas diferencias entre ellas, salvo en las denominadas plantas acumuladoras seleníferas. Así indican que el contenido en Se en especies herbáceas oscila entre 2 y 174 ug/kg (con un valor medio de 33 ug/kg); en alfalfa y tréboles oscila entre 5 y 180 ug/kg (con un valor medio de 99 ug/kg) y para otras plantas forrajeras entre 4 y 870 ug/kg (valor medio de 77 ug/kg). Los contenidos medios en plantas comestibles no superan 100 ug/kg.

Las plantas «acumuladoras primarias», también conocidas como «indicadoras de Beath» crecen solamente en suelos seleníferos potencialmente tóxicos, y pueden servir como guía útil en su demarcación. El género más comúnmente conocido y estudiado como indicador primario es *Astragalus*, si bien se ha constatado que de las aproximadamente 500 especies descritas en América del Norte de este género, sólo 25 han sido caracterizadas como acumuladoras primarias (SALISBURY y ROSS, 1985). Además de estas existen otras especies citadas como acumuladoras, pertenecientes a los géneros *Neptunia*, *Xylorhiza*, *Oenopsis*, *Haplapappus*, *Machaeranthera* y *Stanleya* (ADRIANO, 1986; BEESON 1961; MAYLAND, 1994). Se trata de plantas capaces de extraer Se de formas fuertemente enlazadas en los constituyentes del suelo e incorporar este elemento bajo formas más fácilmente disponibles para otras plantas, tras la caída y descomposición de sus restos.

Las denominadas «acumuladoras secundarias» son capaces de retener cantidades de hasta 100 mg Se/kg, desarrollándose sobre suelos con altos contenidos en Se asimilable. Es el caso de *Atriplex*, *Gutierrezia*, *Castilleja*, *Mentzelia*, *Aster* y *Grindelia*, y algunas especies del género *Astragalus* (MAYLAND, 1994).

Las plantas acumuladoras primarias son capaces de concentrar desde cientos a mil mg Se/kg. Las acumuladoras secundarias raramente concentran más de 50-100 mg Se/kg. Finalmente las plantas no acumuladoras no suelen alcanzar concen-

traciones superiores a los 50 mg Se/kg. Las plantas de cultivo presentan valores de tolerancia mucho menores (MAYLAND *et al.* 1989; WU, 1994).

Respecto de los efectos en las plantas no acumuladoras hay que indicar que el crecimiento se retarda y el contenido en Se se incrementa a altas concentraciones del mismo. Mientras que en el caso de plantas acumuladoras como *Astragalus bisulcatus* y *Astragalus pectinatus* (endémicas de suelos seleníferos) pueden llegar a acumular enormes cantidades de Se sin ningún efecto contrario al crecimiento de la planta; incluso se pueden alcanzar niveles de varios miles de mg/kg (ANDERSON, 1961).

La movilización de Se en el sistema suelo-planta engloba procesos muy complejos que aún no están clarificados. La deficiencia de Se en plantas cultivadas constituye uno de los puntos de atención en agricultura, siendo necesario profundizar en las interrelaciones de la química en el sistema suelo-planta.

La existencia de suelos enriquecidos en Se en la región de Madrid, con carácter incluso selenífero, (JIMÉNEZ BALLESTA *et al.*, 1987), nos ha motivado a la búsqueda de especies acumuladoras primarias y/o secundarias del mismo. En el presente trabajo se aborda la búsqueda, dentro de la cuenca de Madrid y bajo régimen semiárido, de diversas plantas potencialmente acumuladoras de Se, analizando los niveles de enriquecimiento en dicho elemento; así mismo se investiga si existe en alguna parte esencial de la planta una acumulación preferencial. De este modo se persigue también la evaluación de posibles riesgos de deficiencia y/o toxicidad por selenio.

MATERIAL Y METODOS

La zonas donde se han identificado y tomado las plantas se ubican en la cuenca de Madrid, fundamentalmente dentro del territorio de la Comunidad de Madrid, bajo una unidad heterogénea de suelos, litología y pendiente. En la Tabla I se describen los rasgos fundamentales de los puntos de muestreo. La identificación de cada una de las especies se basó en POLUNIN (1982), CASTROVIEJO *et al.* (1986), LÓPEZ GONZÁLEZ (1991) & RIVERA Y OBÓN (1991).

TABLA I
LOCALIZACION DE LOS PUNTOS DE MUESTREO

Zona	Nº	Coordenadas U.T.M.	Suelo	Color	Especies
Cerro Almodovar	1	30TVK491730	RGc	2.5Y3/2	<i>Astragalus stella</i> Gouan.
	2	30TVK491731	RGc	10YR6/2	-
	3	30TVK491731	RGc	10YR6/2	<i>Onobrychis peduncularis</i> (Cav.) DC. <i>Astragalus incanus</i> L.
	4	30TVK491732	RGc	2.5Y5/3	<i>Hippocrepis comosa</i> Gouan.
	5	30TVK491732	RGc	2.5Y5/3	<i>Astragalus hamosus</i> L.
	6	30TVK491732	RGc	2.5Y6/4	<i>Astragalus hamosus</i> L. <i>Astragalus stella</i> Gouan.
	7	30TVK491732	RGc	2.5Y4/3	<i>Astragalus hamosus</i> L.
	8	30TVK491733	RGc	2.5Y6/3	<i>Astragalus stella</i> Gouan.
	9	30TVK491733	RGc	2.5Y6/4	-
	10	30TVK492733	RGc	2.5Y5/4	<i>Astragalus stella</i> Gouan.
Cerro Los Angeles	11	30TVK417625	RGc	2.5Y3/2	<i>Hippocrepis comosa</i> L.
	12	30TVK417625	RGc	5Y5/3	<i>Hippocrepis comosa</i> L.
	13	30TVK417625	RGc	2.5Y5/2	<i>Hippocrepis comosa</i> L.
Cerro Cantueña	14	30TVK362558	RGc	10YR4/2	<i>Hippocrepis comosa</i> L.
	15	30TVK362558	RGc	10YR4/2	<i>Hippocrepis comosa</i> L.
	16	30TVK362558	RGc	10YR4/2	<i>Onobrychis peduncularis</i> (Cav.) DC.
	17	30TVK363559	CLp	2.5Y5/3	<i>Hippocrepis comosa</i> L.
	18	30TVK363559	RGc	2.5Y5/3	<i>Hippocrepis comosa</i> L.
	19	30TVK363561	CMc	10YR4/2	<i>Astragalus hamosus</i> L.
	20	30TVK363562	CMc	10YR4/2	<i>Astragalus hamosus</i> L.
	21	30TVK364562	CMc	10YR4/2	<i>Astragalus hamosus</i> L.
	22	30TVK364561	CMc	2.5Y5/3	<i>Astragalus hamosus</i> L.
	Cerro de Pinto	23	30TVK423544	LPe	2.5Y6/2
24		30TVK424544	LPe	2.5Y5/2	<i>Astragalus incanus</i> L.
25		30TVK425546	LPe	2.5Y6/2	<i>Astragalus incanus</i> L.
26		30TVK425546	RGc	5Y6/2	<i>Mercurialis tomentosa</i> L.
27		30TVK426547	CLh	2.5Y6/2	<i>Astragalus incanus</i> L.
Orusco-Carabaña	28	30TVK827600	RGc	2.5Y6/2	-
	29	30TVK811591	RGc	2.5Y5/2	<i>Thymus vulgaris</i> L. <i>Phlomis lychnitis</i> L.
	30	30TVK814587	RGc	2.5Y7/2	<i>Thymus vulgaris</i> L. <i>Phlomis lychnitis</i> L.
	31	30TVK822587	RGc	10YR5/2	<i>Thymus vulgaris</i> L. <i>Phlomis lychnitis</i> L.
	32	30TVK795578	RGc	2.5Y5/2	<i>Thymus zygis</i> L. <i>Mercurialis tomentosa</i> L.
	33	30TVK802584	RGc	2.5Y6/3	<i>Mercurialis tomentosa</i> L.
	34	30TVK799575	RGc	10YR6/4	<i>Phlomis lychnitis</i> L.
	35	30TVK802578	RGy	5Y6/3	<i>Astragalus incanus</i> L.
	36	30TVK802576	RGy	5Y6/2	<i>Hedysarum humile</i> L.
	Seseña-Borox	37	30TVK411361	Clh	2.5Y5/2
38		30TVK441337	RGy	2.5Y5/3	<i>Atriplex halimus</i> L.
39		30TVK443339	RGy	2.5Y6/3	<i>Atriplex halimus</i> L.
40		30TVK424328	RGy	2.5Y6/3	<i>Salsola vermiculata</i> L.
41		30TVK405316	RGy	2.5Y6/3	<i>Atriplex halimus</i> L.
42		30TVK405316	RGy	2.5Y6/3	-

(Continúa)

TABLA I
LOCALIZACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO (continuación)

Zona	Nº	Coordenadas U.T.M.	Suelo	Color	Especies
	43	30TVK405316	SCh	10YR5/3	—
	44	30TVK404320	RGy	2.5Y5/3	<i>Atriplex halimus</i> L.
	45	30TVK404320	RGy	2.5Y6/3	<i>Salsola vermiculata</i> L.
	46	30TVK404320	RGy	2.5Y6/3	—
Arroyo Salinas	47	30TVK456302	RGy	2.5Y5/2	<i>Salsola vermiculata</i> L. <i>Atriplex halimus</i> L.
	48	30TVK459299	SCh	2.5Y6/3	<i>Atriplex halimus</i> L.
	49	30TVK462299	RGc	10YR5/3	<i>Atriplex halimus</i> L.
	50	30TVK465292	RGc	10YR6/4	<i>Mercurialis tomentosa</i> L.
Arroyo de Ontigola	51	30TVK475303	RGc	2.5Y3/2	<i>Salsola vermiculata</i> L.
	52	30TVK476303	RGc	2.5Y4/2	<i>Atriplex halimus</i> L.
	53	30TVK476304	RGy	2.5Y5/3	<i>Atriplex halimus</i> L.
	54	30TVK478304	RGy	2.5Y5/3	<i>Atriplex halimus</i> L.
	55	30TVK490302	RGy	5Y6/2	<i>Salsola vermiculata</i> L.
	56	30TVK489304	RGy	2.5Y6/2	<i>Atriplex halimus</i> L.
	57	30TVK498298	RGy	2.5Y5/2	<i>Salsola vermiculata</i> L.
	58	30TVK502294	RGy	2.5Y7/2	<i>Helianthemum squamatum</i> (L.) Dum. Cours., Bot. Cult.
	59	30TVK504295	RGc	10Y5/3	<i>Helianthemum squamatum</i> (L.) Dum. Cours., Bot. Cult.
	60	30TVK507297	RGc	10YR4/2	<i>Phlomis lycnitis</i> L.
	61	30TVK505294	RGy	2.5Y7/2	<i>Helianthemum squamatum</i> (L.) Dum. Cours., Bot. Cult.
Cavina	62	30SVK439258	CMc	2.5Y5/2	<i>Atriplex halimus</i> L.
	63	30SVK439258	CMc	10YR4/2	<i>Lymonium</i> sp.
C. de Oreja	64	30TVK673413	CMp	5Y5/4	<i>Astragalus hamosus</i> L.
Moralzarzal	65	30TVL181030	CMe	2.5Y5/3	<i>Onobrychis peduncularis</i> (Cav.) DC.
	66	30TVL182030	CMe	10YR4/2	<i>Onobrychis peduncularis</i> (Cav.) DC.
	67	30TVL182031	CMe	10YR4/3	<i>Onobrychis peduncularis</i> (Cav.) DC.

Respecto del procedimiento analítico de determinación de contenidos totales en Se en tejido vegetal, debemos señalar que se ha seguido el procedimiento propuesto por BANUELOS & PFLAUM (1990). Dicho procedimiento, que se llevó a cabo tanto sobre la parte aérea como en la raíz, consiste en partir de una cantidad de muestra vegetal seca, a la que se le añade ácido nítrico 17M dejando reposar una noche. Posteriormente se efectúa una digestión en reflujo a 110 °C durante 3 horas; luego se añaden peróxido de hidrógeno al 30% paulatinamente, ácido fórmico 23M y después se eleva la temperatura a 125 °C, hasta desaparición de los vapores de hidróxido de nitrógeno.

RESULTADOS Y DISCUSION

Previamente a la determinación de los contenidos en selenio en las plantas se ha determinado el contenido en suelos tanto en su forma total como en la forma disponible (JIMÉNEZ BALLESTA *et al.*, 1997; MORENO *et al.*, en prensa). Se ha constatado que si bien el conjunto de suelos tiene unos valores medios de 0.25 mg/kg (lo que permite considerarlos como suelos «adecuados»), existen suelos sele-níferos con contenidos elevados (superiores a 4 mg/kg en ocasiones), además de otros «deficitarios». También se ha detectado que la mayoría de los suelos presentan una acumulación de selenio en las fracciones de moderada disponibilidad.

La vegetación autóctona de las zonas seleccionadas para este estudio la determinan mayoritariamente especies de los géneros *Atriplex*, *Astragalus*, *Hedysarum*, *Helianthemum*, *Hippocrepis*, *Limonium*, *Lygeum*, *Mercurialis*, *Onobrychis*, *Phlomis*, *Salsola* y *Thymus*. Los dos primeros se mencionan frecuentemente como acumuladores secundarios y primarios, respectivamente, de Se; no obstante no todas las especies de estos géneros presentan la misma capacidad acumuladora (SALISBURY & ROSS, 1985).

En la Tabla II aparecen los resultados de los contenidos en Se, tanto en la parte aérea como en la raíz, de las diferentes plantas seleccionadas. De dicha tabla se desprende que ninguna de las plantas puede ser considerada deficitaria en Se, dado que sus contenidos superan el valor límite de deficiencia (0.1-0.3 mg/kg, MAYLAND, 1994). Respecto de la distribución en diferentes partes de las plantas, se ha indicado que se concentra en los lugares de crecimiento, tales como semillas y

raíces (BANUELOS *et al.*, 1993). En nuestro caso de estudio, entre raíces y partes aéreas, se concentran preferentemente sobre las raíces.

De la misma tabla se deduce también que existen diversas especies con contenidos en sus partes aéreas superiores a los valores establecidos como tóxicos, (3 mg/kg según MAYLAND, 1994, ó 5 mg/kg según KABATA & PENDIAS, 1984). Así dentro de este grupo aparecen repetidamente las especies de *Astragalus hamosus* L., (contenido máximo detectado 9.26 mg/kg), *Atriplex halimus* L., (contenido máximo encontrado 8.44) y *Salsola vermiculata* (contenido máximo encontrado 6.67 mg/kg). Por lo que respecta a los contenidos máximos en la raíz corresponden básicamente a estos mismos géneros, presentando los más elevados algunas muestras puntuales de *Astragalus incanus* L. (5.41 mg/kg), *Atriplex halimus* L. (10.08 mg/kg), *Hippocrepis comosa* L. (12.12 mg/kg), *Mercurialis tomentosa* L. (12.46 mg/kg) y *Salsola vermiculata* L. (14.25 mg/kg).

TABLA II
CONTENIDO DE SELENIO EN PARTE AEREA (p.a.) Y RAIZ (r.) DE LAS PLANTAS SELECCIONADAS.
(EL N° CORRESPONDE AL NUMERO DEL SUELO)

Zona	Nº	Especie	Se p.a. mg/kg	Se r. mg/kg
Cerro Almodovar	1	<i>Astragalus stella</i>	1,22	1,15
	3	<i>Astragalus incanus</i>	1,50	1,32
	3	<i>Onobrychis peduncularis</i>	1,17	1,15
	4	<i>Hippocrepis comosa</i>	0,51	1,08
	5	<i>Astragalus hamosus</i>	1,17	2,32
	6	<i>Astragalus hamosus</i>	1,24	3,71
	6	<i>Astragalus stella</i>	1,38	0,77
	7	<i>Astragalus hamosus</i>	5,99	1,38
	8	<i>Astragalus stella</i>	0,94	1,68
	10	<i>Astragalus stella</i>	1,36	2,35
Cerro Los Angeles	11	<i>Hippocrepis comosa</i>	0,85	0,86
	12	<i>Hippocrepis comosa</i>	0,94	1,23
	13	<i>Hippocrepis comosa</i>	1,48	12,12
Cerro Cantueña	14	<i>Hippocrepis comosa</i>	1,49	1,59
	15	<i>Hippocrepis comosa</i>	1,29	1,44
	16	<i>Onobrychis peduncularis</i>	1,49	1,95
	17	<i>Hippocrepis comosa</i>	0,98	1,10
	18	<i>Hippocrepis comosa</i>	1,45	3,44
	19	<i>Astragalus hamosus</i>	5,96	0,12
	20	<i>Astragalus hamosus</i>	1,70	0,06
	21	<i>Astragalus hamosus</i>	4,65	1,55
	22	<i>Astragalus hamosus</i>	4,01	0,14

(Continúa)

TABLA II
 CONTENIDO DE SELENIO EN PARTE AEREA (p.a.) Y RAIZ (r.) DE LAS PLANTAS SELECCIONADAS.
 (EL N° CORRESPONDE AL NUMERO DEL SUELO) (continuación)

Zona	N°	Especie	Se p.a. mg/kg	Se r. mg/kg
Cerro de Pinto	23	<i>Astragalus incanus</i>	0,90	1,34
	24	<i>Astragalus incanus</i>	1,07	1,46
	25	<i>Astragalus incanus</i>	1,47	5,41
	26	<i>Mercurialis tomentosa</i>	1,57	1,56
	27	<i>Astragalus incanus</i>	1,35	4,86
Orusco-Carabaña	29	<i>Thymus vulgaris</i>	1,12	1,33
	29	<i>Phlomis lychnitis</i>	1,02	1,74
	30	<i>Thymus vulgaris</i>	1,97	1,28
	30	<i>Phlomis lychnitis</i>	1,15	1,75
	31	<i>Thymus zygis</i>	2,06	1,91
	31	<i>Phlomis lychnitis</i>	0,98	0,94
	32	<i>Thymus zygis</i>	0,36	1,26
	32	<i>Mercurialis tomentosa</i>	1,07	1,76
	33	<i>Mercurialis tomentosa</i>	2,50	3,52
	34	<i>Phlomis lychnitis</i>	0,35	0,44
Seseña-Borox	35	<i>Astragalus incanus</i>	0,95	1,20
	36	<i>Hedysarum humile</i>	0,63	0,49
	37	<i>Thymus zygis</i>	1,12	1,24
	37	<i>Lygeum spartum</i>	6,05	1,31
	37	<i>Salsola vermiculata</i>	6,67	3,96
	38	<i>Atriplex halimus</i>	0,97	1,07
	39	<i>Atriplex halimus</i>	1,34	1,22
	40	<i>Salsola vermiculata</i>	0,80	1,22
Arroyo Salinas	41	<i>Atriplex halimus</i>	1,01	1,08
	44	<i>Atriplex halimus</i>	1,12	0,91
	45	<i>Salsola vermiculata</i>	1,06	4,93
	47	<i>Atriplex halimus</i>	6,17	1,23
	47	<i>Salsola vermiculata</i>	5,99	4,99
	48	<i>Atriplex halimus</i>	8,44	10,08
Arroyo Ontígola	49	<i>Atriplex halimus</i>	6,02	6,34
	50	<i>Mercurialis tomentosa</i>	1,29	12,46
	51	<i>Salsola vermiculata</i>	1,05	1,84
	52	<i>Atriplex halimus</i>	1,01	1,03
	53	<i>Atriplex halimus</i>	0,84	4,88
Cavina	54	<i>Atriplex halimus</i>	6,08	7,19
	55	<i>Salsola vermiculata</i>	1,26	1,10
	56	<i>Atriplex halimus</i>	1,05	5,80
	57	<i>Salsola vermiculata</i>	0,92	14,25
	58	<i>Helianthemum squamatum</i>	1,07	1,10
	59	<i>Helianthemum squamatum</i>	1,01	1,25
	60	<i>Phlomis lychnitis</i>	1,28	1,47
	61	<i>Helianthemum squamatum</i>	1,03	6,26
	62	<i>Atriplex halimus</i>	1,15	1,52
Colmenar de Oreja	63	<i>Limonium sp.</i>	1,03	6,59
	64	<i>Astragalus hamosus</i>	9,26	3,93
Moralzarzal	65	<i>Onobrychis peduncularis</i>	1,48	1,13
	66	<i>Onobrychis peduncularis</i>	1,54	1,61
	67	<i>Onobrychis peduncularis</i>	1,85	1,28

Si se comparan todos estos valores con los de otras áreas podemos concluir que presentan una aceptable concordancia con aquéllos desarrollados en zonas con suelos de carácter básico, con salinidad y altos contenidos en Se, tal como el caso de Kesterson Reservoir (OHLENDORF & SANTOLO, 1994; TOKUNAGA *et al.*, 1994; WU, 1994).

La variación observada en los contenidos dentro de los grupos de especies puede atribuirse a diversos factores. Por una parte el muestreo de las plantas se ha llevado a cabo en diferentes épocas del año para todas las especies, por lo que el grado de crecimiento vegetativo que presenta cada una en el momento de la recolección no es comparativo. Por otra parte, se han atribuido diferencias en los contenidos en Se en plantas de la misma especie debido a diferencias en los factores edáficos, tales como el contenido en sulfato, así como el propio contenido en Se en el suelo. En suelos de naturaleza selenífera WU (1994) ha constatado una correlación significativa entre los contenidos de Se en tejido vegetal de plantas del género *Atriplex* y hierbas halofíticas ($r = 0.53$, $P < 0.01$).

Las especies vegetales desarrolladas sobre los suelos en los que se ha constatado el predominio de formas de Se de moderada a alta disponibilidad, presentan contenidos elevados en sus partes constitutivas. Pero en ningún caso superan los 15 mg/kg. Este tipo de comportamiento ha sido comprobado en la vegetación de Kesterson, donde hay plantas tolerantes a las sales de los géneros *Atriplex* y *Distichis*. Estas plantas exhiben bajas concentraciones en selenio (<10-20 mg/kg) que son insuficientes para contribuir directamente a la recuperación de estos suelos tóxicos.

PARKER Y PAGE (1994), consideran razonables estos niveles en plantas, dado que estos suelos son de naturaleza salina donde el ión sulfato puede competir con el selenato de cara a la absorción por la raíz.

Las diferencias detectadas en los contenidos en Se en las plantas pueden ser debidas a diferencias en las concentraciones y formas de Se en los suelos (JIMÉNEZ BALLESTA *et al.*, 1997; MORENO *et al.*, en prensa); composición mineralógica, salinidad y condiciones oxidantes de los mismos; movimiento de Se a lo largo del perfil y especies vegetales.

En todo caso, los contenidos de Se detectados en las plantas analizadas, si bien en alguna muestra son elevados y sobrepasan el umbral de 3-5 mg/kg, desde el punto de vista de impacto en la cadena trófica, no parecen presentar un problema ambiental de toxicidad por selenio.

CONCLUSIONES

Los contenidos en selenio obtenidos tanto en la parte aérea como en la raíz de plantas desarrolladas sobre suelos de la cuenca de Madrid y en régimen semiárido (pertenecientes a los géneros *Atriplex*, *Astragalus*, *Hedysarum*, *Helianthemum*, *Hippocrepis*, *Limonium*, *Lygeum*, *Mercurialis*, *Onobrychis*, *Phlomis*, *Salsola* y *Thymus*), presentan una tendencia generalizada de acumulación en las raíces frente a las partes aéreas. Ninguna de las plantas estudiadas se considera deficitaria en el mismo. Por el contrario, existen algunas especies con valores superiores a los estipulados como causantes de toxicidad; es el caso de *Astragalus hamosus* L., *Atriplex halimus* L. y *Salsola vermiculata* L.

SUMMARY

The selenium content of some soils in Madrid basin is large, and its bioavailability to plants can be high for climatological and geochemical reasons. A total of 67 samples of plants (*Atriplex*, *Astragalus*, *Hedysarum*, *Helianthemum*, *Hippocrepis*, *Limonium*, *Lygeum*, *Mercurialis*, *Onobrychis*, *Phlomis*, *Salsola* and *Thymus*) were collected from eleven sites on the Madrid basin. The total selenium content of aerial and root zones of plants varies markedly, from 0.14 to 14.25 mg Se/kg. Some plants accumulate low levels of Se (plants number 11, 31, 34, 36...). Others, in contrast, contains a relatively substantial concentration of selenium (plants number 13, 48, 49, 50, 54, 57, 64...). The differences in content may by

due to differences in concentration and form in which Se occurs in soils, mineralogical composition of soils, soil salinity, oxidation conditions, movement of Se along the soils profile and plant species.

Key Words: Selenium, plants, semiarid.

BIBLIOGRAFIA

- ADRIANO D.C. 1986: *Trace Elements in the Terrestrial Environment*. Springer-Verlag Inc. New York.
- ANDERSON M.S. 1961: «History of Selenium Toxicity». In: *Selenium in Agriculture*. U.S. Department of Agriculture. Agriculture Handbook 200.
- BANUELOS G.S., CARDON G.E., PHENE C.J., WU L., AKOHOUSE S. & ZAMBRZUSKI S. 1993: «Soil Boron and Selenium Removal by three Plant Species». *Plant and Soil*, 148: 2, 253-363.
- BANUELOS G.S. & PFLAUM T. 1990: *Determinig Selenium in Plant Tissue with Optimal Digestion*. Commun. In: *Soil Sci. Plant Anal.*, 21 (13-16), pp. 1717-1726.
- BEESON K.C. 1961: «Ocurrance and Significance of Selenium in Plants». In: *Selenium in Agriculture*. U.S. Department of Agriculture. Agriculture Handbook 200.
- CASTROVIEJO S. *et al.*, 1986: *Flora Ibérica*. Real Jardín Botánico-CSIC. Madrid.
- EHLIG C.F., ALLAWAY W.H., CARY E.E. & KUBOTA J. 1968: «Differences Among Plant Species in Selenium Accumulation from Soil Low in Available Selenium». *Agrom. J.* 60, 43.
- FLEMING G.A. 1962: «Selenium in Irish Soils and Plants». *Soil Sci.* 94: 28-35.
- FLEMING G.A. 1980: «Essential Micronutrients I: Ionide and Selenium». Cap. 5, pp. 215-234. In: *Applied Soil Trace Elements*. DAVIES, B.E. (Ed). John Willey & Sons Ltd.
- JIMÉNEZ BALLESTA R., CALA RIVERO V. & MORENO RODRÍGUEZ M. 1997: «Occurrence of selenium in some soils and plants». *International Symposium on Salt-Affected Lagoon Ecosystems*. ISSALE. Univ. de Valencia y ISSS.
- KABATA-PENDIAS A. 1984: *Trace Elements in Soils and Plants*. C.R.C. Press, Inc. Florida.
- KUBOTA J. & ALLAWAY W.H. 1972: «Geographic Distribution of Trace Element Problems in Micronutrients in Agriculture». MORTVEDT J.J.; GIORDANO P.M. & LINDSAY W.L. (Eds.). Soil Science Society of America, Madison, Wis., 525.
- LÓPEZ GONZÁLEZ G. 1991: *La Guía de Incafo de los Arboles y Arbustos de la Península Ibérica* (3.ª edición). Incafo, S.A. Madrid.
- MAYLAND H.F. 1994: «Selenium in Plant and Animal Nutrition». In: W.T. FRANKENBERGER J.R. AND BENSON S. eds., *Selenium in the Environment*, pp. 29-46. Marcel Dekker, Inc. New York, NY.
- MAYLAND H.F., JAMES L.F., PANTER K.E. & SONDERGGER J.L. 1989: «Selenium in Seleniferous Environments». In: L.W. JACOBS, ed., *Selenium in the Agriculture and the Environment*, pp. 15-50 SSSA Special Publication nº 23.
- MISRA S.G. & TRIPATHI N. 1971: «A note on Selenium some Indian Soils». *An. INIA/ser.: General/N.* 1. pp. 209-214.
- MORENO RODRÍGUEZ M., CALA RIVERO V. & JIMÉNEZ BALLESTA R. (en prensa): «Selenium distribution in topsoils and plants of semi-arid mediterranean environment». *European Journal of Soil Science*.
- OHLENDORF M. & SANTOLO G. 1994: «Kesterson rservoir-Past, Present and future: An ecological Risk assessment». In: W.T. FRANKENBERGER J.R. & BENSON S. eds., *Selenium in the Environment*, pp. 69-118. Marcel Dekker, Inc. New York, NY.

- PARKER R. & PAGE A. 1994: «Vegetation Management Strategies for Remediation of Selenium-Contaminated Soils». In: W.T. FRANKENBERGER J.R. & BENSON S. eds., *Selenium in the Environment*, pp. 327-342. Marcel Dekker, Inc. New York, NY.
- POLUNIN O. 1982: *Guía de Campo de las Flores de Europa*. Ediciones Omega, S.A. Barcelona.
- RIVERA NÚÑEZ D. & OBON DE CASTRO C. 1991: *La Guía de Incafo de las Plantas útiles y venenosas de la Península Ibérica y Baleares (excluidas medicinales)* (1.ª Edición). Incafo S.A. Madrid.
- SALISBURY F.B. & ROSS C.W. 1985: *Plant Physiology* (3.ª Edition). Wadsworth Publishing Company, Inc. P. 102.
- TOKUMAGA T.K., PZAWISLANSKI P.T., JOHNNIS P.W., LIPTON D.S. & BENSON S. 1994: «Fields Investigations on Selenium Speciation, Transformation, and Transport in Soil from Kesterson Reservoir and Lahontan Valley». In: W.T. FRANKENBERGER J.R. & BENSON S. eds., *Selenium in the Environment*, pp. 119-139. Marcel Dekker, Inc. New York, NY.
- WU L. 1994: «Selenium Accumulation and Colonization of Plants in Soils with Elevated Selenium and Salinity». In: W.T. FRANKENBERGER J.R. & BENSON S. eds., *Selenium in the Environment*, pp. 279-236. Marcel Dekker, Inc. New York, NY.