

PRIMEROS DATOS SOBRE EL BIOCONTROL DE LA DEPOSICIÓN ATMOSFÉRICA DE METALES PESADOS EN LAS PROVINCIAS DE VALENCIA, CASTELLÓN Y TERUEL MEDIANTE MUSGOS TERRESTRES

JOSÉ ÁNGEL FERNÁNDEZ¹, FELISA PUCHE², CRISTINA GIMENO³ Y ALEJO CARBALLEIRA¹

RESUMEN

Se ha realizado un estudio preliminar sobre la deposición atmosférica de metales pesados utilizando musgos terrestres en localidades rurales de las provincias de Valencia, Castellón y Teruel. El objetivo de este trabajo es evaluar, por primera vez, la calidad del aire de esta zona mediante la bioacumulación de metales pesados en musgos autóctonos procedentes de una serie de estaciones ecológicas representativas. El conocimiento de los niveles actuales de metales permitirá seguir en años sucesivos la evolución de su deposición, identificándose las tendencias temporales. Se han determinado los siguientes metales: Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb y Zn en las especies de musgos *Hypnum cupressiforme* Hedw. y *Scleropodium purum* Hedw. Para cada localidad y metal se dan clases de calidad en función de los factores de contaminación según el procedimiento de MOUVET *et al.* (1986).

Los resultados obtenidos indican que la mayor parte de las localidades estudiadas presentan una «situación normal» en cuanto a los niveles de metales. Las siguientes localidades son las que presentan los niveles más elevados en la mayoría de los metales estudiados: Barranco de la Mosquera (Castellón, 3CS) con «contaminación cierta» de Cr y «situación sospechosa» de Hg, Mn, y Pb; nacimiento del río Mijares (Teruel, 2TE) con «situación sospechosa» de Cr, Cu, Hg y Zn, y por último la fuente del Gavilán (Teruel, 9TE) también con «situación sospechosa» de Cd, Cr y Hg.

Palabras clave: Metales pesados, deposición atmosférica, bioacumulación, briófitos, este de España.

SUMMARY

A preliminary study of heavy metals deposition has been made in some «country sites» in Valencia, Castellón and Teruel provinces (E Spain) using terrestrial bryophytes as bioaccumulators. The aim of the present study is to asses, for the first time, the air quality of this region using heavy metals bioaccumulation in terrestrial mosses from some ecologically representative sites. The knowledge of actual levels of heavy metals is needed to determine deposition evolution and temporal trends. The following metals, Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb y Zn, were determined in two terrestrial mosses,

¹ Área de Ecología, Dept. Biología Fundamental. Facultad de Biología. Universidad de Santiago de Compostela. Campus Sur s/n. 15706 Santiago de Compostela (A Coruña). E-mail: balejo@usc.es; bfjefe@usc.es.

² Dept. de Biología Vegetal. Facultad de Biología. Universidad de Valencia. c/ Dr. Moliner 50, 46100 Burjassot (Valencia). E-mail: puche@uv.es.

³ Fundación Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo (CEAM). Parque Tecnológico, c/ Charles R. Darwin 14, 46980 Paterna, Valencia. E-mail: cristina@ceam.es.

Correspondencia: Cristina Gimeno.

Recibido: 24/07/98.

Aceptado: 16/03/99.

Hypnum cupressiforme Hedw. and *Scleropodium purum* Hedw. «Quality categories» were applied to studied sites following MOUVET *et al.* (1986).

The results show that the sites studied can be classified in «normal state» category, except 3CS (Barranco de la Mosquera, Castellón) that presents «certain pollution» of Cr and «suspicious state» of Hg, Mn, y Pb; 2TE (Nacimiento del río Mijares, Teruel) and 9TE (Fuente del Gavilán, Teruel) that show «suspicious state» of Cr, Cu, Hg and Zn, and Cd, Cr and Hg respectively

Key words: Heavy metals, atmospheric deposition, bioaccumulation, bryophytes.

INTRODUCCIÓN

Los musgos se han utilizado en el norte de Europa desde finales de los años sesenta para el seguimiento de la contaminación como medida indirecta de la deposición atmosférica de metales pesados (RÜHLING & TYLER 1968). Su uso se ha ido incrementando y extendiendo a otros países con el tiempo (GRODZINSKA & GODZIK, 1991, SÉRGIO *et al.* 1993, MAKERT *et al.* 1994, RÜHLING 1994; BARGAGLI *et al.* 1995; BERG *et al.* 1995; TÜRKAN *et al.* 1995; WOLTERBEEK *et al.* 1995, OLDAL & PAPP 1996, BARGAGLI *et al.* 1997, CARBALLEIRA & FERNÁNDEZ 1997), por su eficacia y facilidad de aplicación.

Los musgos debido a su simplicidad estructural, carecen de una cutícula, de un sistema vascular y de un sistema radicular bien desarrollados, absorben la mayor parte de los minerales necesarios para su desarrollo por vía de la deposición atmosférica (seca y/o húmeda) y no del sustrato, reduciéndose la posible influencia de los metales pesados presentes en el sustrato en el que viven. Además presentan un contacto muy directo con la atmósfera que les rodea (hojas con una sola capa de células y sin cutícula). Los iones son retenidos en su superficie por un fenómeno de intercambio catiónico, en el que los cationes quedan retenidos en puntos de la pared celular cargados negativamente, la ausencia de cutícula permite el acceso directo de los cationes a estos puntos de intercambio iónico. Por otra parte, poseen una elevada superficie específica, lo que les dota de una alta capacidad de retención de partículas. De este modo, tanto los nutrientes como los metales pesados son captados por el musgo.

Los cationes presentan diferentes afinidades por los puntos de intercambio iónico, los metales pesados presentan una elevada afinidad. Estudios realizados en laboratorio han permitido conocer las secuencias de afinidad de los diferentes elementos en distintas especies de musgos. En el caso de *Hypnum cupressiforme* Hedw. la secuencia es: Pb>Cu>Ni>Zn>Cd>Ca>Mg>Na (BROWN 1984). Para el Pb y el Cu, la capacidad de acumulación del musgo es muy alta aun en presencia de altas concentraciones de elementos como Ca, Mg y Na. Sin embargo, para los cationes metálicos con menor afinidad, la presencia de éstos elementos sí puede alterar los procesos de carga metálica (p.e. la elevada concentración de protones presentes en una lluvia ácida afecta a la carga de otros iones presentes en la precipitación). Los fenómenos de competencia entre cationes van a influir decisivamente en el proceso de carga de los metales pesados. En el caso del material particulado (deposición seca), los procesos de retención y posterior absorción son menos conocidos. Presumiblemente, la eficiencia de la retención de este material está en función del tamaño de las partículas y su biodisponibilidad, características que dependen de la especie química y de las condiciones ambientales.

La contaminación atmosférica no es la única fuente que puede contribuir al contenido metálico de los musgos. Además de la deposición —seca, húmeda, latente— de contaminantes atmosféricos de focos locales o lejanos, existen otras posibles fuentes entre las que se encuentran: elementos de origen biogénico y sales de origen marino, elementos transferidos al musgo por lavado de plantas vasculares de los estratos de vegetación superiores (tanto material vivo como muerto) y por último las partículas mine-

rales transportadas por el viento (erosión) y la materia orgánica muerta.

En este trabajo, se pretende obtener datos preliminares sobre la calidad del aire de esta región mediante la bioacumulación de metales pesados en musgos autóctonos, procedentes de una serie de estaciones ecológicas representativas. Además, se intenta identificar zonas con importantes niveles de metales pesados, que pudiesen estar relacionados con posibles focos contaminantes. El conocimiento de los niveles actuales de metales permitirá seguir en años sucesivos la evolución de su deposición, identificándose las tendencias temporales.

MATERIAL Y MÉTODOS

Las muestras de musgos, de las especies *Hypnum cupressiforme* Hedw. y *Scleropodium purum* Hedw., fueron recogidas, entre los meses de mayo, junio y julio de 1996, en las provincias de Valencia, Castellón y Teruel (figura 1).

Ambas especies son musgos pleurocárpicos, de crecimiento postrado, que forman extensos céspedes en el suelo de pinares, carrascales y alcornoques. Aunque ambas especies son relativamente comunes no resulta fácil encontrar localidades donde presenten la biomasa necesaria para este tipo de muestreos. Los puntos de muestreo se han visto condicionados por la presencia de vegetación superior desarrollada, pinares, carrascales, etc., que permita el desarrollo de estas especies en un territorio con un marcado clima mediterráneo. Los numerosos y extensos incendios forestales ocurridos en los años 1992 y 1994 han reducido considerablemente las localidades con las condiciones adecuadas para el desarrollo de estas especies.

La recolección se hizo preferentemente en pequeños claros del bosque, en el suelo o sobre rocas de pequeño tamaño. Las estaciones de muestreo se localizaban, al menos, a 300 m de carreteras principales, núcleos urbanos e industrias, y a 100 m de carreteras secundarias y casas aisladas. En cada punto de recogida se tomaban de 5 a 10 submuestras dentro de un área de 50 x 50 m, combinándose luego en una única mues-

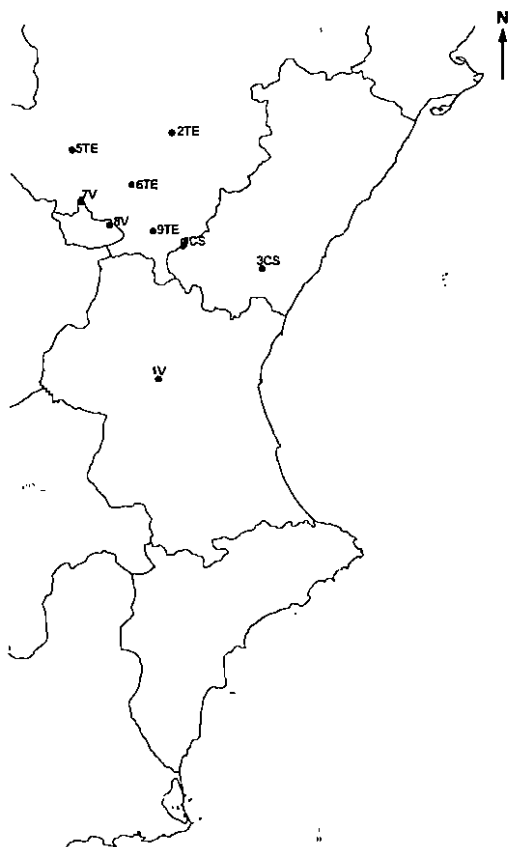


Fig. 1. Localización geográfica de las zonas de muestreo en las provincias de Teruel, Castellón y Valencia. Las abreviaturas corresponden a las que aparecen en la tabla 1. [Geographical location of sampling sites in Teruel, Castellón and Valencia provinces. Abbreviations in table 1.]

tra colectiva. Las localidades de muestreo se especifican en la tabla 1.

El muestreo y manejo del material se realizó empleando siempre guantes desechables y bolsas de plástico. Con el objeto de homogeneizar el tiempo de exposición a la contaminación atmosférica, previamente a la limpieza del musgo, se cortaron en el laboratorio los extremos apicales, 3-4 cm, desechándose el resto. Una vez separados los ápices, se lavaban con agua destilada en continuo para eliminar el material adherido, seguidamente se dejaban secar a temperatura ambiente (20 °C), almacenándose en bolsas de

TABLA 1
 CARACTERÍSTICAS DE LOS PUNTOS DE MUESTREO. [DETAILS OF SAMPLING SITES.]

Muestra	Localidad	UTM	Altitud	Litología	Vegetación
1V	Fte Umbría (Buñol)	30SXJ7765	750 m	calizas	Pinar de <i>P. halepensis</i> con matorral de coscoja
7V	Castielfabib-El cuervo (km 6)	30TXK4345	900 m	calizas	Carrascal
8V	Puebla S. Miguel-Losilla	30TXK5833	1100 m	calizas	Pinar de <i>Pinus nigra</i> con matorral de <i>Genista</i>
3CS	Bco de la Mosquera (Azuebar)	30SYK2517	560 m	rodenos	Alcornocal, con sotobosque muy cerrado.
4CS	Masía Pastor (El Toro)	30SYK2095	1200 m	calizas	Carrascal
2TE	Nctro. Rfo Mijares (Cedrillas)	30TXK8675	1400 m	calizas	Pinar de <i>Pinus sylvestris</i>
5TE	Bezas-Albarracín (km 24)	30TXK4066	1300 m	rodenos	Pinar de <i>Pinus pinaster</i> con <i>Cistus laurifolius</i>
6TE	Fte de la Cederilla (Cubla)	30TXK6850	1500 m	calizas	Pinar de <i>Pinus sylvestris</i> con sabina albar
9TE	Fte. Gavilán (Manzanera)	30TXK7834	1080 m	calizas	Pinar de <i>Pinus sylvestris</i> y <i>P. nigra</i>

plástico hasta el momento de su procesado. Con el lavado se pretende eliminar la contaminación en superficie del musgo puesto que lo que interesa es determinar la concentración del contaminante en los tejidos, es decir, el biodisponible o capaz de afectar el metabolismo del musgo al entrar en contacto con las rutas metabólicas.

Para la preparación y análisis de las muestras se ha seguido el procedimiento de CARBALLEIRA & LÓPEZ (1997) para briófitos acuáticos. En los extractos se determinó el contenido en Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb y Zn. Excepto el As y el Hg, que fueron medidos mediante espectrometría de fluorescencia atómica (PSA Merlin Plus), para el resto de los elementos se empleó un espectrofotómetro de absorción atómica de llama (Perkin Elmer 2100). Para controlar la calidad del proceso se empleó material de referencia certificado BCR n.º 61 (musgo acuático *Rhynchostegium riparioides*). Todas las recuperaciones fueron satisfactorias excepto para el Al y el Fe. Este material contiene una elevada cantidad de materia mineral particulada, por lo que para obtener una perfecta disolución de la muestra haría falta emplear ácido fluorhídrico, que al no ser empleado en nuestro caso, explicaría los menores porcentajes de recuperación para estos metales (REAL 1994). Para asegurar un mayor control de posibles contaminaciones durante todo el proceso, se emplearon blancos (1 por cada 11 muestras) y

para controlar la homogeneidad del muestreo y las incertezas debidas a la digestión y al análisis, se hicieron réplicas (n=6) del análisis del material de referencia; los coeficientes de variación oscilaron entre el 0.1% y el 11% dependiendo del elemento.

Una vez analizadas las muestras, los datos brutos no aportan información sobre el grado de enriquecimiento que éstas presentan frente a los valores naturales (normales o de referencia). En la mayoría de los casos no es posible comparar los valores obtenidos con datos previos a la posible actividad humana. En estos casos se comparan los resultados obtenidos con los niveles de fondo (NF) de cada metal y de cada especie. El NF es, en este caso, la concentración que un determinado elemento tiene en una especie de musgo, y que es representativo de las condiciones medias de una zona con actividad humana, pero en buen estado de conservación, teniendo en cuenta la variabilidad natural derivada de las condiciones fisicoquímicas del medio (pH, litología, clima, etc.). El cálculo de los niveles de fondo se realiza a partir de los datos obtenidos tras el análisis de un conjunto elevado de muestras recogidas en una zona. Mediante diferentes métodos (CARBALLEIRA *et al.* 1997) es posible seleccionar las muestras no contaminadas, a partir de las cuales se estima el valor de los NF. En el presente trabajo no disponemos del número de datos suficiente que permita calcular con fiabilidad los NF para la zona estudiada.

En consecuencia utilizaremos los NF calculados, para *Scleropodium* e *Hypnum*, a partir de datos procedentes de diversas regiones de España (CARBALLEIRA & FERNÁNDEZ, datos no publicados). Aunque estos datos deben tomarse con cierta cautela, al calcularse a partir de muestras muy diferentes en lo que se refiere a geología, clima, etc., básicamente resultaron muy parecidos a los NF calculados para Galicia (CARBALLEIRA & FERNÁNDEZ 1997) y por tanto consideramos que constituyen una buena aproximación; probablemente aun disponiendo de más datos, los NF que se obtendrían no diferirían, en general, de los calculados para España, con la excepción de litologías singulares. Los valores de los NF de España para *S. purum* e *H. cupressiforme*, se recogen en la tabla 2.

Los resultados obtenidos, para cada metal y especie, se dividen por el respectivo NF, transformando así los datos en Factores de Contaminación (CF). Una vez realizada la transformación, la importancia de una hipotética contaminación depende del mayor o menor CF obtenido. Así, MOUVET *et al.* (1986) califican las diferentes situaciones siguiendo la escala dada en la tabla 3. Es necesario comentar que esta clasificación, que se propuso para el medio acuático, puede no ser tan válida para el aire. Las diferentes características de ambos medios

tienen como consecuencia que los niveles de acumulación que se alcanzan no sean equiparables, y por lo tanto esta clasificación debe tomarse con ciertas precauciones cuando se aplica a la bioacumulación en musgos no acuáticos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tabla 4 resume los datos analíticos obtenidos para los musgos terrestres recogidos en la zona de estudio. *Hypnum cupressiforme* presenta resultados que se pueden agrupar en distintos grupos en función de los niveles obtenidos. Por una parte están los elementos litófilos como Al y Fe, que son los más abundantes, mientras que en el otro extremo se encuentran As, Cd, Co y Hg, que presentan los valores más bajos. El Ni, Cr, Cu y Pb se encuentran en un rango similar de valores; Zn y Mn se situarían en rangos intermedios. Estos datos se corresponden bastante bien con los obtenidos para las diferentes litologías (tabla 5). Los elementos que se encuentran en mayor abundancia en la litología son los que aparecen con niveles más altos en las muestras vegetales, así como los que presentan los niveles más bajos en la litología. Comparando los niveles dados para la litología, algunos elementos presentan niveles más altos en la muestra vegetal, *H. cupressiforme*, es el caso del Cd, Co y Pb respecto a las calizas y del Cd respecto a las areniscas. Si se comparan los resultados obtenidos con los datos que aparecen en la bibliografía (tabla 6), se comprueba que para *H. cupressiforme* los valores obtenidos son, para la mayoría de los metales, más bajos que los encontrados en estudios precedentes. En muchos

TABLA 2

NIVELES DE FONDO (NF) METÁLICOS PARA ESPAÑA, PARA LAS ESPECIES *SCLEROPODIUM PURUM* HEDW. E *HYPNUM CUPRESSIFORME* HEDW. ($\mu\text{g g}^{-1}$). [*SCLEROPODIUM PURUM* HEDW. AND *HYPNUM CUPRESSIFORME* HEDW METAL BACKGROUND LEVELS ($\mu\text{g g}^{-1}$) (NF) IN SPAIN.]

Metal	<i>Scleropodium purum</i>	<i>Hypnum cupressiforme</i>
Al	275	465
As	0.11	0.16
Cd	0.08	0.1
Co	0.26	0.42
Cr	0.8	1.6
Cu	4.5	3.8
Fe	256	459
Hg	0.015	0.03
Mn	146	59
Ni	0.9	1.5
Pb	3.2	3.8
Zn	40	25

TABLA 3

CLASES DE CALIDAD EN FUNCIÓN DE LOS FACTORES DE CONTAMINACIÓN (CF) EN MUSGO (MOUVET *et al.* 1986). [QUALITY CATEGORIES BASED ON POLLUTION FACTORS (CF) FOR MOSSES (MOUVET *et al.* 1986).]

Clase	CF	Interpretación
1	$n < 2$	Situación normal
2	$2 < n < 6$	Situación sospechosa
3	$6 < n < 18$	Contaminación cierta
4	$18 < n < 54$	Contaminación importante
5	$54 < n$	Contaminación excepcional

TABLA 4

ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE LAS MUESTRAS DE MUSGOS DE LA COMUNIDAD VALENCIANA Y TERUEL: *HYPNUM CUPRESSIFORME* (N=8) Y *SCLEROPODIUM PURUM* (N=2). DATOS EN $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, N=NÚMERO DE MUESTRAS, SD=DESVIACIÓN ESTÁNDAR, CV=COEFICIENTE DE VARIACIÓN. [DESCRIPTIVE STATISTICS OF MOSS SAMPLES FROM COMUNIDAD VALENCIANA AND TERUEL. *HYPNUM CUPRESSIFORME* (N=8) AND *SCLEROPODIUM PURUM* (N=2). DATA IN $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, N=REPLICATES, SD=STANDARD DEVIATION, CV= VARIATION COEFFICIENT.]

		Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Zn
<i>H. cupressiforme</i>	Media	531	0.17	0.16	0.18	3.1	3.7	451	0.05	62	1.4	6	19
	SD	108	0.07	0.12	0.12	1.5	1.6	125	0.011	54	0.37	3.1	3.8
	CV (%)	20	41	75	67	48	43	28	22	88	26	52	19
<i>S. purum</i>	Media	233	0.04	<0.1	0.1	4.5	7.8	238	0.04	33	0.8	2.6	61

TABLA 5

RIQUEZA METÁLICA DE DISTINTOS TIPOS DE ROCAS (PPM) (SALOMONS & FÖRSTNER 1984). [METAL RICHNESS OF DIFFERENT KINDS OF ROCKS (PPM) (SALOMONS & FÖRSTNER 1984).]

Metales	Rocas	
	Calizas	Areniscas
Al	7000	43000
As	1	1
Cd	0.03	0.05
Co	0.1	0.3
Cr	11	35
Cu	5.1	30
Fe	17000	29000
Hg	0.16	0.29
Mn	620	460
Ni	7	9
Pb	5.7	10
Zn	20	30

casos, los datos de Galicia son los más parecidos a los medidos en este trabajo. En el caso de Al y Fe las diferencias existentes pueden deberse simplemente al efecto del lavado y/o a una diferente litología de la zona estudiada. En la tabla 6 también se incluyen datos de un trabajo realizado en Portugal, en el que a pesar de no emplearse *H. cupressiforme* como única especie (aunque representa más del 70 % del total de las muestras), poseen un interés evidente por la proximidad geográfica de la zona de muestreo. Si comparamos los datos se observa que excepto para el Cd, que presenta valores intermedios entre los de zonas rurales y urbanas de Portugal, y el Cr que es similar al de zonas mineras, para el resto de los

metales los niveles encontrados son más bajos que los datos portugueses. En el caso de *S. purum*, al disponer sólo de 2 valores, la falta de representatividad no recomienda el establecimiento de comparaciones.

En la tabla 7 se recoge la clasificación en clases de calidad en que se incluyen los datos obtenidos para cada metal en cada estación de muestreo.

Los niveles de las localidades estudiadas son relativamente bajos, llegándose tan sólo en algunos casos a una «situación sospechosa». Las localidades que presentan esta situación en mayor medida son: 3CS, con contaminación cierta de Cr para *S. purum* y situación sospechosa para Hg, Mn, y Pb para al menos una de las dos especies estudiadas; 2TE, con «situación sospechosa» de los elementos Cr, Cu, Hg y Zn (especie estudiada *S. purum*); y por último 9TE, con el Cd, Cr y Hg también en «situación sospechosa». El resto de localidades no presentan más de dos elementos en «situación sospechosa». Las localidades 8V y 5TE presentan todos los elementos con un CF de «situación normal». Es destacable el caso de la localidad 4CS con «contaminación» cierta de Cr y niveles elevados de Pb y Zn.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por la CICYT (Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología), proyecto AMB 97/1173.

Los autores agradecen a la Dra. M.^a José Sanz la revisión del manuscrito y las sugerencias aportadas.

TABLA 6

CONCENTRACIONES (MEDIAS O MÁXIMAS) DE METALES PESADOS EN MUSGOS TERRESTRES RECOGIDOS EN DIFERENTES REGIONES ($\mu\text{g g}^{-1}$). * WOLTERBEEK *et al.* 1995; ^b BARGAGLI *et al.* 1995; ^c BARGAGLI *et al.* 1997; ^d TÜRKAN *et al.* 1995; ^e RÜHLING *et al.* 1994; ^f OLDAL & LAJOS 1996; ^g SÉRGIO *et al.* 1993; [†] DATOS NO PUBLICADOS; * (L) INDICA QUE ESAS MUESTRAS FUERON LAVADAS ANTES DE SER PROCESADAS; ** CONCENTRACIONES MÁXIMAS. (1) 139 MUESTRAS DE *H. CUPRESSIFORME* Y 40 DE *SCLEROPODIUM TOURETTI*. [HEAVY METAL CONTENT (AVERAGE OR MAXIMUM VALUES) ($\mu\text{g g}^{-1}$) IN TERRESTRIAL MOSSES FROM DIFFERENT COUNTRIES. * WOLTERBEEK *et al.* 1995; ^b BARGAGLI *et al.* 1995; ^c BARGAGLI *et al.* 1997; ^d TÜRKAN *et al.* 1995; ^e RÜHLING *et al.* 1994; ^f OLDAL & LAJOS 1996; ^g SÉRGIO *et al.* 1993; [†] UNPUBLISHED DATA; * (L) SAMPLES WERE WASHED BEFORE PROCESSING; ** MAXIMUM VALUES. (1) 139 SAMPLES OF *H. CUPRESSIFORME* AND 40 OF *SCLEROPODIUM TOURETTI*.]

Especie	Región	Zona	*	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Zn	Ref.	
<i>Hypnum cupressiforme</i>	Alemania					1.7	2.3	3.6	15	1340			5.5	145	81.4	(a)**	
	Italia	Rural		1600		0.3		2.4	8.4	1290	0.11	178	1.8	15	26	(b)	
		Geotermal		1531	0.7	0.19		1.6	9.5	930	0.37	51		6.1	36	(c)	
	Turquía	Industrial				10.37			72.5		6450		975		138	2125	(d)
		Industrial (L)				9.25			31.3		3200		475		60	1375	(d)
	Rumania					1.11		12.2	25.1	6900			10.7	40.9	79.1	(e)	
	Hungría													39	100	(f)	
	España	Galicia	(L)	871	0.29	0.17	0.6	1.2	6.5	700	0.05	185	3.0	8.1	59	(†)	
<i>Hypnum cupressiforme</i> y otras (1)	Portugal	Rural				0.24		2.44	7.49	1563		181	2.32	13.1	28.5		
		Urbana				0.11		1.6	11.7	761		96.5	2.7	26.6	60.4		
		Minas				0.69		3.2	17.9	2486		253	2.54	18.1	46.8	(g)	

TABLA 7

CLASES DE CALIDAD SEGÚN Mouvet *et al.* (1986) OBTENIDAS PARA LOS DIFERENTES METALES EN LAS LOCALIDADES ESTUDIADAS. LOS VALORES CORRESPONDEN A *H. CUPRESSIFORME* O *S. PURUM* (*), EN AQUELLAS LOCALIDADES EN QUE AMBAS ESPECIES ESTÁN PRESENTES EL VALOR CORRESPONDIENTE A *S. PURUM* APARECE COMO SUBÍNDICE. [QUALITY CATEGORIES ACCORDING MOUVET *et al.* (1986) OF THE SAMPLING SITES FOR THE DIFFERENT METALS. DATA CORRESPOND TO *H. CUPRESSIFORME* OR *S. PURUM* (*), WHEN BOTH SPECIES ARE PRESENT, VALUES OF *S. PURUM* ARE SHOWN IN SUBINDEX.]

Localidad	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Zn
1 V	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7 V	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8 V	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3 CS	1 ₁	1 ₁	1 ₁	1 ₁	2 ₁	1 ₁	1 ₁	1 ₂	2 ₁	1 ₁	2 ₁	1 ₁
4 CS	1	1	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1
2 TE	1*	1*	1*	1*	2*	2*	1*	2*	1*	1*	1*	2*
5 TE	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6 TE	1	1	1	1	2*	1	1	1	1	1	1	1
9 TE	1	1	2	1	2	1	1	2	1	1	1	1

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARGAGLI, R., BROWN, D. H. & NELLI, L. 1995. Metal biomonitoring with mosses: procedures for correcting for soil contamination. *Environmental Pollution* 89 (2): 169-175.
- BARGAGLI, R., CATENI, D., NELLI, L., OLMASTRONI, S. & ZAGARESE, B. 1997. Environmental impact of trace elements emissions from geothermal power plants. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 33: 172-181.
- BERG, T., ROYSET, O., STEINNES, E. & VADSET, M. 1995. Atmospheric trace elements deposition: principal component analysis of ICP-MS data from moss samples. *Environmental Pollution* 88: 67-77.
- BROWN, D. H. 1984. Uptake of mineral elements and their use in pollution monitoring. *The Experimental Biology of Bryophytes*. Academic Press, Londres: 229-249.
- CARBALLEIRA, A. & FERNÁNDEZ, J. A. 1997. Determinación de los niveles de fondo metálicos en musgos terrestres de Galicia. XII Simposio Nacional de Botánica Criptogámica. Valencia, 17-20 de septiembre de 1997.
- CARBALLEIRA, A. & LÓPEZ, J. 1997. Physiological and statistical methods to identify background levels of metals in aquatic bryophytes: dependence on lithology. *Journal of Environmental Quality* 26: 980-988.
- CARBALLEIRA, A., CARRAL, E., PUENTE, X. M. & VILLARES, R. 1997. Estado de conservación de la costa de Galicia. Nutrientes y metales pesados en sedimentos y organismos intermareales. Universidad de Santiago de Compostela, Consellería de Pesca, Marisqueo y Acuicultura, Xunra de Galicia.
- FÖRSTNER, U. & WITTMANN, G. T. W. 1983. *Metal pollution in the aquatic environment*. Springer-Verlag. Berlin, Hilderberg, New York, Tokio.
- GRODZINSKA, K. & GODZIK, B. 1991. Heavy metals and sulphur in mosses from southern Spitsbergen. *Polar Research* 9 (2): 133-140.
- MARKERT, B., REUS, U. & HERPIN, U. 1994. The application of TXRF in instrumental multielement analysis of plants, demonstrated with species of moss. *The Science of the Total Environment* 152: 213-220.
- MOUVET, C., CORDEBAR, P. & GALLISOT, B. 1986. Evaluation des rejets de micropolluants minéraux (métaux lourds) et organiques (organochlorés) par dosages dans les mousses aquatiques. XIX Journées de l'Hydraulique. Paris, III.5.1. - III.5.8.
- OLDAL, V. & PAPP, L. 1996. Investigation of Hungarian moss species as toxic trace element-accumulating plants. *Microchemical Journal* 54: 360-366.
- REAL, C. 1994. Contaminación metálica en medio y organismos de la Ría de Arosa, con especial referencia al cromo. Tesis Doctoral, Universidad de Santiago de Compostela.
- RÜHLING, A. & TYLER, G. 1968. An ecological approach to the lead problem. *Botaniska Notiser* 121: 321-342.
- RÜHLING, A. 1994. Atmospheric heavy metal deposition in Europe -estimation based on moss analysis. *Nord* 1994/9.
- SALOMONS, W. & FÖRSTNER, U. 1984. *Metals in the hydrocycle*. Springer-Verlag, Berlin.
- SÉRGIO, C., SIM-SIM, M. & FIGUEIRA, R. 1993. Quantificação da deposição de metais pesados em Portugal, através da análise de briófitos. Apresentação dos resultados finais de um programa piloto para Portugal. Direcção Geral da Qualidade do Ambiente.

- TÜRKAN, I., HENDEN, E., GELİK, Ü. & KIVILCIM, S. 1995. Comparison of moss and bark samples as biomonitors of heavy metals in a highly industrialised area in Izmir, Turkey. *The Science of the Total Environment* 166: 61-67.
- WOLTERBEEK, H. T. H., KUIK, P., VERBURG, T. G., HERPIN, U., MARKERT, B. & THÖNI, L. 1995. Moss interspecies comparisons in trace element concentrations. *Environmental Monitoring and Assessment* 35: 263-286.