

INFLUENCIA DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN EL ESTADO NUTRICIONAL DE LOS HAYEDOS DE NAVARRA

J.M. SANTAMARÍA*

* DEPARTAMENTO DE QUÍMICA Y EDAFOLOGÍA. UNIVERSIDAD DE NAVARRA. IRUNLARREA S/N, 31080 PAMPLONA (NAVARRA)

RESUMEN

En el año 1995 se recogieron muestras foliares de 136 ejemplares de *Fagus sylvatica*, distribuidos en 17 puntos de muestreo, pertenecientes a las series de vegetación *Saxifrago hirsutae- Fageto sylvaticae* S. y *Scillo lilio-hyacinthi-Fageto sylvaticae* S. En cada muestra se determinó el contenido de los iones: Ca, Cd, Cu, Fe, K, Mg, N, Na, P, Pb, S y Zn.

En general, el estado nutricional de los hayedos estudiados es bueno. No obstante, en la zona más septentrional de Navarra se ha detectado una mayor acumulación de metales pesados procedentes de fuentes contaminantes próximas, hecho que podría estar relacionado con los trastornos nutricionales registrados en algunos hayedos.

P.C. Contaminación atmosférica, metales pesados, bioindicadores, hayedos.

SUMMARY

In 1995, 136 foliar samples from *Fagus sylvatica* trees were taken in 17 sampling stands belonging to the vegetation series *Saxifrago hirsutae- Fageto sylvaticae* S. and *Scillo lilio-hyacinthi-Fageto sylvaticae* S. Each sample was analyzed for Ca, Cd, Cu, Fe, K, Mg, N, Na, P, Pb, S and Zn.

In general, the nutritional status of the beech forests is good. However, it is interesting to notice the higher heavy metal concentrations detected in the northernmost area of Navarra, fact that could be related to the nutritional disturbances detected in some beech forests.

K.W. Air pollution, heavy metals, bioindicators, beech forests.

INTRODUCCION

El deterioro de las masas forestales en los últimos años, inducido por la acción de los contaminantes atmosféricos, el cambio global y su combinación con las plagas y patógenos tradicionales, ha puesto de relieve la necesidad de adoptar medidas urgentes encaminadas a la conservación de nuestros bosques.

En este contexto, la evaluación del estado nutricional de los árboles y la determinación de elementos contaminantes se convierte en una de las principales herramientas de diagnóstico para establecer su condición (INNES, 1993; MARKERT, 1993; SANTAMARÍA y MARTIN, 1996); sin embargo, son todavía escasos los estudios realizados en especies forestales, con lo cual no se dispone de valores de referencia que permitan determinar cuando un bosque está o no sano. Toda esta problemática, resulta de especial interés en Navarra, donde un 33% del territorio está cubierto por bosques. De esta superficie, el 66% lo constituyen las frondosas, siendo los bosques de hayas los más representativos, tanto por la elevada superficie que ocupan (unas 100.000 ha) como por su

alta diversidad. Estas cifras adquieren especial relevancia si se tiene en cuenta que el 33.4% de los hayedos españoles se encuentran en Navarra.

Los objetivos principales de este trabajo consisten en determinar el estado nutricional de los hayedos navarros e identificar, a través del análisis de elementos tóxicos, cuáles son las áreas más susceptibles de padecer daños en relación con los procesos de contaminación atmosférica.

MATERIAL Y METODOS

Para llevar a cabo el presente trabajo, se han seleccionado 17 hayedos pertenecientes a dos de las seis series de vegetación (RIVAS-MARTINEZ *et al.*, 1991; LOIDI Y BASCONES, 1995) con mayor representación en el territorio navarro: *Saxifrago hirsutae-Fageto sylvaticae* S. y *Scillo lilio-hyacinthi-Fageto sylvaticae* S. En cada punto de muestreo se seleccionaron 8 árboles de *Fagus sylvatica* y se tomaron muestras foliares de la parte superior de la corona (ICONA, 1993). En cada muestra se determinaron los elementos Ca, Cd, Cu, Fe, Mn, P, Pb, S y Zn (ICP); K, Na (AES) y N (Kjeldahl).

RESULTADOS

Los dos tipos de hayedos objeto de estudio se desarrollan bajo condiciones ecológicas bien diferenciadas, hecho que se pone de manifiesto al considerar su composición foliar. Las relaciones existentes entre las diferentes variables de estudio, dentro de cada serie de vegetación, se han calculado mediante un análisis de correlación de Pearson (Tabla 1), mientras que el grado de significación de las diferencias observadas entre ambos tipos de hayedos se ha determinado mediante un análisis de la varianza (Tabla 2).

Los resultados de este último análisis revelan la existencia de diferencias significativas en el contenido nutricional de los elementos Ca, Na, N, P y Mn. El resto de elementos foliares presentan niveles de concentración muy similares en ambas series de vegetación; no obstante, al considerar la variación de los mismos en función de la localización geográfica de los puntos de muestreo se aprecian algunas diferencias (Tabla 3).

A continuación se describe, de forma sucinta, el comportamiento de cada elemento foliar:

Calcio: Los valores foliares de calcio guardan una relación directa con el área ocupada por los hayedos estudiados. Así, los bosques ubicados en la zona noroccidental de Navarra, caracterizada por el predominio de suelos oligotrofos de naturaleza silíceo, presentan concentraciones significativamente más bajas que los hayedos basófilos del Pirineo, que se desarrollan sobre materiales calizos. Del conjunto de puntos de muestreo, es necesario reseñar los niveles extremadamente bajos de Ca encontrados en las parcelas de Arano y Goizueta, hayedos que exhiben un claro déficit nutricional respecto a dicho elemento.

Potasio: su concentración es muy variable en las diferentes parcelas de estudio y no presenta asociaciones significativas con ninguno de los elementos estudiados. Los mayores niveles de concentración corresponden al hayedo ubicado en el macizo kárstico de Larra, mientras que los valores más bajos se han registrado en el hayedo de Quinto Real.

Magnesio: cabe destacar los valores extremadamente bajos detectados en Goizueta, lo cual pone de relieve la existencia de un trastorno de tipo nutricional.

Nitrógeno: paradójicamente, las concentraciones foliares de N son significativamente superiores en los hayedos oligotrofos. Puesto que no se aprecia un gradiente que permita atribuir esta mayor concentración de N a un aporte exógeno como consecuencia de la contaminación atmosférica, cabe pensar que dicho comportamiento esté relacionado con un

desequilibrio nutricional que induce una mayor absorción de este elemento en perjuicio de otros nutrientes esenciales.

Fósforo: presenta concentraciones significativamente más altas encontradas en los hayedos acidófilos, principalmente en los bosques localizados en Arano y Goizueta.

Azufre: los mayores niveles de S corresponden a los hayedos ubicados en la zona más septentrional y oriental de Navarra (Legate, Otxondo y Gorramendi). La correlación encontrada, en los hayedos acidófilos, entre los niveles de S y la altitud, sugiere una influencia antropogénica en dicha zona, cuya elevada orografía favorece la intercepción de los contaminantes transportados a larga distancia.

Cadmio: las mayores concentraciones de cadmio corresponden a los hayedos situados en la zona noroccidental de Navarra. Este hecho, que ya ha sido puesto de relieve en trabajos anteriores (SANTAMARIA, 1995), muestra una clara influencia antropogénica consecuencia de los focos emisores de contaminantes existentes en las proximidades (País Vasco), cuyo transporte está favorecido por la dirección predominante de los vientos, de componente NW.

La correlación existente entre Cd y Pb subraya el origen común de estos metales que generalmente se liberan a la atmósfera debido a la utilización de combustibles fósiles.

Cobre: muestra una distribución muy heterogénea en los distintos puntos de muestreo. Se encuentra inversamente relacionado con el Pb, de forma que los árboles con alto contenido foliar en cobre presentan bajos niveles de plomo, y viceversa.

Hierro: las mayores concentraciones de hierro se han encontrado en los hayedos más septentrionales de Navarra. Los suelos ácidos y húmedos favorecen la movilidad de dicho elemento, lo cual explicaría el mayor contenido de hierro en estos bosques. No obstante, dada la proximidad de focos contaminantes en áreas colindantes, no es descabellado pensar en la existencia de un transporte atmosférico de dicho elemento.

Manganeso: las diferencias significativas en el contenido foliar de Mn entre los hayedos acidófilos y basófilos viene determinada por la mayor absorción de Mn en suelos ácidos. La correlación encontrada entre Mn y S refleja una influencia antropogénica sobre estos hayedos, particularmente los ubicados en el Valle del Baztán (NE).

Sodio: su distribución es consecuencia de la influencia de los aerosoles marinos procedentes del Cantábrico. Por esta razón, los hayedos pirenaicos, mucho más alejados del mar, presentan concentraciones significativamente inferiores.

Plomo: alcanza los valores más elevados en la zona noroccidental de Navarra y en las cumbres más elevadas del Pirineo. El hecho de que una zona como Larra, alejada de cualquier fuente local de contaminación, presente elevados niveles de plomo, indica la existencia de un transporte transfronterizo de dicho elemento a larga distancia.

Cinc: cabe resaltar los mayores niveles de concentración registrados en las parcelas situadas en la zona noroccidental de Navarra, lo cual puede estar relacionado con la influencia de fuentes contaminantes próximas.

Finalmente, se ha evaluado el grado de contaminación por metales pesados de cada punto de muestreo con objeto de delimitar las zonas susceptibles de padecer daños. Con este fin se ha calculado un índice sintético (HMI), elaborado por HERZIG (1993), que representa los contenidos estandarizados de los elementos Cd, Cu, Fe, Mn, Pb y Zn. En función de los valores que adquiere dicho índice, las parcelas se han clasificado en tres categorías, según presenten un grado de contaminación ligera, moderada o grave.

Los resultados obtenidos muestran una mayor acumulación de metales pesados en los hayedos ubicados en la mitad septentrional de Navarra, cuyo grado de contaminación puede calificarse como grave (Fig. 1). Este hecho pone de relieve el peligro potencial de la zona, enclavada en la ruta de dispersión de los contaminantes emitidos desde áreas próximas (País

Vasco). El problema adquiere mayor relevancia si se tiene en cuenta que los suelos predominantes son de naturaleza acidófila, favoreciendo así la absorción de metales pesados y, en consecuencia, la aparición de desequilibrios nutricionales.

CONCLUSIONES

Los resultados del presente trabajo muestran que, en general, los hayedos navarros exhiben un buen estado nutricional. Las diferencias encontradas entre los dos tipos de hayedos objeto de estudio vienen determinadas fundamentalmente por las particulares condiciones ecológicas en que se desarrollan y por el área geográfica que ocupan.

Respecto a la posible influencia de la contaminación atmosférica, es necesario resaltar la mayor acumulación de metales pesados registrada en los bosques más septentrionales de Navarra, zona habitualmente expuesta a los contaminantes emitidos desde áreas próximas (País Vasco). Este hecho podría explicar los trastornos nutricionales detectados en algunas parcelas, como la ubicada en Goizueta.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

HERZIG, R. (1993). Multi-residue analysis with passive biomonitoring. In: *Plants as biomonitors: indicators for heavy metals in the terrestrial environment*. Markert, B. (Ed). VCH, Weinheim, FRG.

ICONA (1993). *Manual de campo de Nivel I*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

INNES, J.L. (1993). *Foliar analyses*. In: *Forest Health: its assessment and status*. Innes, J.L. (Ed.). Chap. 9. Wallingford, UK.

LOIDI, J. & BASCONES, J.C. (1995). *Memoria del mapa de series de vegetación de Navarra*. Gobierno de Navarra. Departamento de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente.

MARKERT, B. (1993). *Plants as biomonitors: indicators for heavy metals in the terrestrial environment*. Markert, B. (Ed). VCH, Weinheim, FRG.

RIVAS-MARTÍNEZ, S., BASCONES, J.C., DÍAZ, T.E., FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, F. & LOIDI, J. (1991). Vegetación del Pirineo occidental y Navarra. *Itinera Geobot.*, **5**, 83-96.

SANTAMARIA, J.M. & MARTIN, A. (1996). *Air pollution monitoring in forest ecosystems of Navarra, Spain*. In: *Proceedings of the International Conference on Environmental Pollution*. B. Nath, I. Láng, E. Mészáros, S.P. Robinson & L. Hens (Eds.). ISBN 0952167336. European Center for Pollution Research. Volume 1, pp 187-194.

SANTAMARIA, J.M. (1995). *Evaluación del efecto de la contaminación atmosférica, en el estado fitosanitario de los bosques de Navarra, mediante el empleo de bioindicadores*. Tesis doctoral (inéd.). Universidad de Navarra.

Parcela	Cd	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn	HMI
Huici	1	4	1	2	1	3	12
Goizueta	6	3	4	2	6	4	25
Arano	3	4	3	2	6	4	22
Otxondo	2	1	3	4	3	2	15
Gorramendi	2	6	3	6	3	5	25
Legate	2	5	3	5	4	3	22
Quinto Real	1	1	1	2	2	1	8
Velate	1	4	2	1	1	3	12
Velate	1	4	2	1	1	3	12
Ferrería	1	5	2	2	2	2	14
Roncesvalles	1	3	3	4	3	2	16
Larra	2	3	1	1	4	2	13
Belagua	1	3	4	1	2	5	16
Lazar	1	2	3	2	4	2	14
Izalzu	1	6	2	1	1	2	13
Ori	1	3	1	1	2	2	10
Abodi	1	3	1	1	2	3	11
Irati	2	1	2	1	6	4	16

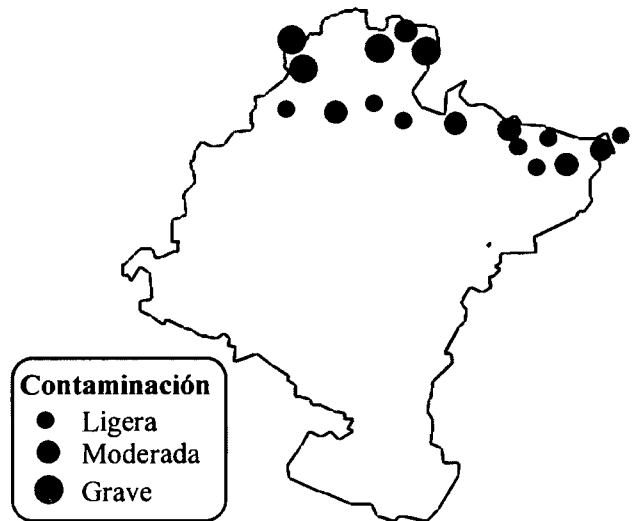


Figura 1. Grado de contaminación por metales pesados de cada parcela de estudio y valores de los índices correspondientes (HMI)

	Ca	K	Mg	N	P	S	Cd	Cu	Fe	Mn	Na	Pb	Zn	Alt.
Ca	1.00	0.14	<u>0.73</u>	-0.05	-0.02	0.13	-0.45	0.22	-0.04	0.02	0.01	-0.41	0.12	-0.03
K	-0.10	1.00	-0.09	0.38	0.04	-0.16	-0.11	0.18	-0.11	0.14	-0.18	0.03	-0.04	<u>0.50</u>
Mg	<u>0.70</u>	-0.33	1.00	-0.26	-0.11	0.18	-0.42	0.29	-0.14	0.12	-0.08	-0.36	0.12	-0.35
N	-0.03	-0.01	0.03	1.00	0.21	-0.10	-0.14	0.13	0.01	0.03	0.06	-0.10	0.03	0.41
P	-0.23	0.15	-0.01	-0.06	1.00	0.14	0.20	-0.03	-0.06	-0.38	0.11	0.09	0.41	0.08
S	<u>0.51</u>	0.09	<u>0.46</u>	-0.03	-0.05	1.00	0.08	-0.05	0.44	-0.24	0.02	0.18	0.38	-0.28
Cd	<u>-0.72</u>	0.29	<u>-0.65</u>	-0.01	0.28	-0.15	1.00	<u>-0.65</u>	0.10	-0.06	0.17	<u>0.78</u>	0.20	0.14
Cu	0.08	0.26	0.03	0.05	0.17	0.12	-0.13	1.00	0.05	-0.14	-0.30	-0.65	0.01	-0.06
Fe	-0.13	0.04	-0.28	-0.04	-0.06	0.28	0.09	-0.10	1.00	0.01	0.25	-0.02	0.35	-0.07
Mn	0.28	0.14	0.23	0.15	-0.13	<u>0.49</u>	-0.10	0.19	0.20	1.00	0.07	0.06	-0.20	-0.08
Na	-0.15	0.05	-0.15	-0.01	0.24	-0.12	0.01	0.30	0.14	-0.05	1.00	-0.13	0.09	0.05
Pb	<u>-0.78</u>	0.28	<u>-0.67</u>	-0.14	0.10	-0.10	<u>0.72</u>	-0.17	0.15	-0.01	-0.04	1.00	0.14	0.14
Zn	-0.27	0.18	<u>-0.18</u>	0.06	<u>0.47</u>	-0.06	<u>0.15</u>	<u>0.47</u>	0.14	0.03	<u>0.62</u>	0.07	1.00	-0.10
Alt.	<u>0.80</u>	-0.12	<u>0.64</u>	0.12	<u>-0.27</u>	<u>0.59</u>	<u>-0.55</u>	0.07	-0.22	0.38	-0.16	<u>-0.61</u>	-0.28	1.00

Los coeficientes de correlación subrayados presentan un nivel de significación P^2 0,01

Tabla 1. Matriz de correlación de los distintos elementos foliares determinados en los hayedos acidófilos (submatriz inferior) y basófilos (submatriz superior)

Serie de vegetación	Macroelementos (mg/g)						Oligoelementos (µg/g)						
	Ca	K	Mg	N	P	S	Cd	Cu	Fe	Mn	Na	Pb	Zn
Acidófila	17.5	8.1	2.1	18.5	1.3	2.7	0.08	6.2	123	686	500	1.2	30
Basófila	22.6	8.3	2.1	17.4	1.2	2.7	0.06	5.7	108	194	174	1.2	28
Significación	**	n.s.	n.s.	*	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	**	**	n.s.	n.s.

n.s. no significativo, *. $P < 0.05$, ** $P < 0.01$

Tabla 2. Grado de significación (Anova) de las diferencias de concentración existentes entre las dos series de vegetación de *Fagus sylvatica*

Parcela	Altitud	Macroelementos (mg/g)						Oligoelementos (µg/g)						
		Ca	K	Mg	N	P	S	Cd	Cu	Fe	Mn	Na	Pb	Zn
Huici	600	19.0	6.3	2.1	20.3	1.1	2.1	0.04	6.7	84	396	460	0.9	30
Goizueta	200	5.0	9.7	0.8	18.0	1.6	2.1	0.18	6.0	143	390	343	1.8	34
Arano	500	9.4	7.6	1.6	18.7	1.6	2.3	0.10	6.3	129	317	987	1.4	45
Otxondo	600	18.8	7.8	1.9	17.4	1.2	3.1	0.07	4.6	220	895	457	1.3	26
Gorramendi	900	20.6	8.9	2.4	17.9	1.5	3.3	0.08	8.1	124	1559	466	1.2	39
Legate	750	19.7	9.7	2.3	20.3	1.1	3.2	0.07	7.0	136	1187	626	1.4	28
Quinto Real	850	19.4	5.6	3.1	18.3	1.3	3.0	0.05	4.3	62	336	169	1.0	16
Velate	850	23.9	8.7	2.0	18.7	1.4	2.5	0.06	6.3	107	218	633	0.8	31
Ferrería	700	21.1	8.8	2.2	14.0	1.4	3.0	0.06	7.4	93	354	537	1.1	27
Roncesvalles	950	19.4	7.7	1.9	21.0	1.0	2.6	0.05	5.7	117	1022	306	1.2	23
Larra	1700	20.8	11.3	1.6	20.1	1.2	2.4	0.07	5.7	85	240	178	1.5	25
Belagua	1100	23.5	8.4	2.0	18.2	1.4	2.7	0.06	6.0	149	78	202	1.0	36
Lazar	1000	24.5	8.9	2.2	17.9	0.9	2.6	0.06	5.4	139	402	166	1.4	26
Izalzu	800	20.9	7.8	2.2	17.7	1.0	2.8	0.04	7.5	99	207	137	0.7	23
Ori	1150	24.8	8.0	2.2	16.8	1.2	2.7	0.06	5.9	84	47	165	1.1	25
Abodi	1200	22.8	7.2	2.3	16.1	1.3	2.5	0.05	6.0	79	286	200	1.0	29
Irati	900	20.3	7.2	1.8	15.7	1.4	2.9	0.09	4.0	109	124	167	1.9	32

Tabla 3. Valores medios de concentración de nutrientes y metales pesados por parcela de estudio