

## TURBERAS DE MONTAÑA DEL NOROESTE DE LA PENÍNSULA IBÉRICA

A. MARTÍNEZ CORTIZAS, X. PONTEVEDRA POMBAL, J.C. NOVÓA MUÑOZ, E. GARCÍA-RODEJA

Departamento de Edafología y Química Agrícola. Facultad de Biología. Campus Sur s/n. 15706 Santiago de Compostela. España.

### **Abstract: Mountain mires of Northwestern Spain**

The Northwestern Iberian Peninsula is a mid-latitude oceanic region with areas where different types of mires are frequent or abundant. Formation of the mires dates back to 11,000-10,000 years B.P. in glaciated areas and to Holocene times elsewhere, the principal phases occurring between 9,000-8,000 years B.P., 5,000-4,000 years B.P. and 3,000-2,000 years B.P. Nevertheless, increased superficial runoff linked to local episodes of erosion also triggered minerotrophic peat (fens) formation at different times after 5,000 years B.P.

Mean maximum peat depth is 2-3 m and most frequent rates of peat accumulation vary between 0.2 and 0.7 mm yr<sup>-1</sup>. Dry mass addition ranges between 40 and 120 g m<sup>-2</sup> y<sup>-1</sup> and tends to be higher in blanket bogs than in fens. The lower values in fens are due, to some extent, to erosion, compaction and regrowth of the peat. Bulk density ranges from 0.06 to 0.60 Mg m<sup>-3</sup>, total porosity between 85-95% and organic matter content between 25 and 95%. These are mainly acid peats (pH 4.0-5.5). Exceptionally, some fens affected by waters draining limestone levels have a pH of 6. Effective cation exchange capacity varies from 4.5 to 20.5 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> depending on the degree of organic matter decomposition and pH. The order of cations is Mg,Ca > Al > Na > K in blanket bogs and Al > Ca > Mg > Na > K in fens, although there is a relative heterogeneity.

Using FAO framework these bogs are classified as Histosols, mainly as fibric and terric Histosols, but thionic, terric-thionic and fibric-thionic are also represented. Using the Soil Survey Staff soil taxonomy Fibrists (boro, sphagno and medifibríst) are the most abundant, but Hemists (boro, sulfi and medihemists) and Sapristis (boro, sulfi, and medisaprist) can also be found. From a habitat point of view, based on the *Interpretation Manual of European Union Habitats* of the network Natura 2000, the types represented are: blanket bogs (7130) -almost exclusive of the northern sector-, transition mires and quaking bogs (7140) -mostly fen formations-, and active and degraded raised bogs (7110-7120).

Ombrotrophic peat bogs are ideal archives for reconstructing environmental changes occurred during the late Quaternary. Among them are vegetation changes, climate change, atmospheric metal deposition and human induced erosion.

**Key words:** bogs, fens, soil properties, natural habitats, archives of environmental changes

### **Resumen**

En el noroeste de la Península Ibérica, una región oceánica situada en las latitudes medias, existen áreas en las que son frecuentes, en ocasiones abundantes, diferentes tipos de turberas. Su formación se remonta a 11.000 – 10.000 años B.P. en zonas que sufrieron los efectos de la última glaciación, mientras

que las restantes son de edad Holocena. Las principales fases de formación de estas turberas tuvieron lugar entre 9.000 y 8.000 años B.P., entre 5.000 y 4.000 años B.P. y entre 3.000 y 2.000 años B.P.; aunque episodios locales de erosión activaron la formación de turba en diversos períodos posteriores al 5.000 B.P., debido al aumento del flujo de agua superficial.

El espesor máximo medio de la turba es de 2-3 m y las tasas de acumulación más frecuentes varían entre 0.2 y 0.7 mm año<sup>-1</sup>. La acumulación de materia seca varía entre 40 y 120 g m<sup>-2</sup> año<sup>-1</sup> y tiende a ser mayor en las turberas ombrotóficas de cobertor en comparación con las minerotóficas. Los valores más bajos observados para las minerotóficas son, al menos en parte, consecuencia de la erosión, compactación y recrecimiento de la turba. Las propiedades de la turba son bastante variables, el rango de densidad observado se encuentra entre 0.06 y 0.6 Mg m<sup>-3</sup>, la porosidad total entre 85 y 90% y el contenido en materia orgánica entre 25 y 95%. En su mayor parte son turberas ácidas (pH 4.0 – 5.5). Excepcionalmente, algunas turberas minerotóficas afectadas por aguas que drenan niveles de caliza tienen pH en torno a 6.0. La capacidad de intercambio de cationes efectiva (CICE), que depende del grado de descomposición de la materia orgánica y del pH, varía de 4.5 a 20.5 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>. Aunque hay cierta heterogeneidad, la secuencia de abundancia de cationes en las turberas ombrotóficas es Mg,Ca > Al > Na > K y Al > Ca > Mg > Na > K en las minerotóficas.

Tomando como referencia la Leyenda al Mapa de Suelos del Mundo de la FAO, las turberas del noroeste pueden clasificarse como Histosoles, fundamentalmente como Histosoles fibrícos y térricos, aunque también están representados los tíónicos, los térrico-tíónicos y los fibríco-tíónicos. Empleando la taxonomía de suelos del Soil Survey Staff, los Fibrists (boro, sphagno y medifibrists) son los más abundantes, pudiendo encontrarse también Hemists (boro, sulfi y medihemists) y Saprist (boro, sulfi y medisaprist). Considerando estas formaciones como hábitats naturales, basándose en el *Interpretation Manual of European Union Habitats* de la Red Natura 2000, los tipos representados son: las turberas de cobertor (blanket bogs, 7130) –casi exclusivas del sector norte-, las turberas de transición y los tremedales (transition mires and quaking bogs, 7140) –esencialmente formaciones minerotóficas-, y las turberas elevadas activas y degradadas (active and degraded raised bogs, 7110-7120).

Las turberas ombrotóficas son archivos ideales para la reconstrucción de los cambios ambientales ocurridos durante el Cuaternario final. Entre ellos se encuentran los cambios en la vegetación, los cambios climáticos, la deposición atmosférica de metales pesados y los episodios erosivos de inducción antrópica.

**Palabras clave:** turberas, ombrotófico, minerotófico, propiedades edáficas, hábitats naturales, archivos de los cambios ambientales.

## INTRODUCCIÓN

El noroeste de la Península Ibérica, situado en las latitudes medias, posee interesantes características climáticas al constituir una zona de transición entre diferentes tipos de clima. Su natural carácter oceánico está afectado por el equilibrio invierno-verano de componentes templados y subtropicales; estos últimos responsables de la estacionalidad pluviométrica, más marcada en la parte sur de la región (Martínez Cortizas y Pérez Alberti, 2000). A esta diversidad climática se une un relieve complicado en sus formas y estructuración espacial y el predominio de

sustratos litológicos de naturaleza ácida que, en conjunto, originan condiciones ecológicas muy variadas. Muchas de ellas resultan favorables para el desarrollo de turberas.

Las principales áreas de distribución de las turberas son las montañas septentrionales, donde aparecen a altitudes por encima de 500 m sobre el nivel del mar y en las sierras orientales y surorientales, a altitudes superiores a los 1000 m, en condiciones climáticas más continentales. La formación de *turberas ombrotóficas* (alimentadas por agua de lluvia, nieblas, etc.) está restringida a las sierras septentrionales, mientras que las *minerotóficas* y las turberas elevadas ('raised bogs',

parte superior ombrotrofica que se desarrolla sobre otra minerotrofica) están bien representadas en todas las áreas montañosas de la región. En conjunto, estimamos que Galicia tiene unas 10.000 ha de turberas de montaña, de las cuales el 80% aproximadamente se concentra en las Sierras Septentrionales.

A pesar de la relativa abundancia de las turberas, se ha prestado poca atención a la caracterización de estos ecosistemas. La mayor parte de los estudios realizados se refieren a análisis del polen (Bellot & Vieitez, 1945; Jato, 1974; Leirós, 1979; Aira, 1986; Aira *et al.*, 1992; Ramil, 1993; Ramil & Aira, 1993; Ramil *et al.*, 1993; Taboada *et al.*, 1993; Ramil *et al.*, 1994; Torras, 1982), caracterización de algunos depósitos aislados (Puga, 1982; Molinero *et al.*, 1984; Ramil *et al.*, 1994), composición de la vegetación (Ramil *et al.*, 1996) o relación de las turberas con la actividad del hombre (Van Mourik, 1986; Tornqvist *et al.*, 1989; Rochette *et al.*, 1991; Van der Brink & Janssen, 1985; Janssen, 1994). Sólo recientemente se han abordado estudios más detallados sobre las relaciones entre el paisaje y las turberas, sus propiedades físico químicas y su evolución edafogenética (Pontevedra-Pombal, 1995; Pontevedra-Pombal *et al.*, 1996 a, b). Algunos aspectos relevantes están siendo estudiados actualmente; entre ellos se encuentra la composición del agua intersticial, las tasas de crecimiento de la turba, los factores de enriquecimiento de metales pesados de interés ambiental, así como su variabilidad espacial en las turberas.

En este artículo se presenta una visión general de la información disponible sobre las turberas de montaña del noroeste de la Península Ibérica, el límite meridional de desarrollo de turberas ombrotroficas de cobertor en Europa. En él se incluyen los tipos de turberas, la vegetación y la flora, la cronología y las tasas de acumulación de turba, se describen con mayor detalle sus propiedades físicas y físico-químicas y se presta

especial atención al papel de las turberas como sumideros de metales pesados y de las ombrotroficas como registro histórico de la contaminación atmosférica.

## CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA ESTUDIADA

El área a la que se hace referencia en este artículo está situada entre 41° 30' y 43° 36' de latitud N y 6° 44' y 9° 18' de longitud W (Figura 1). El paisaje dominante se caracteri-

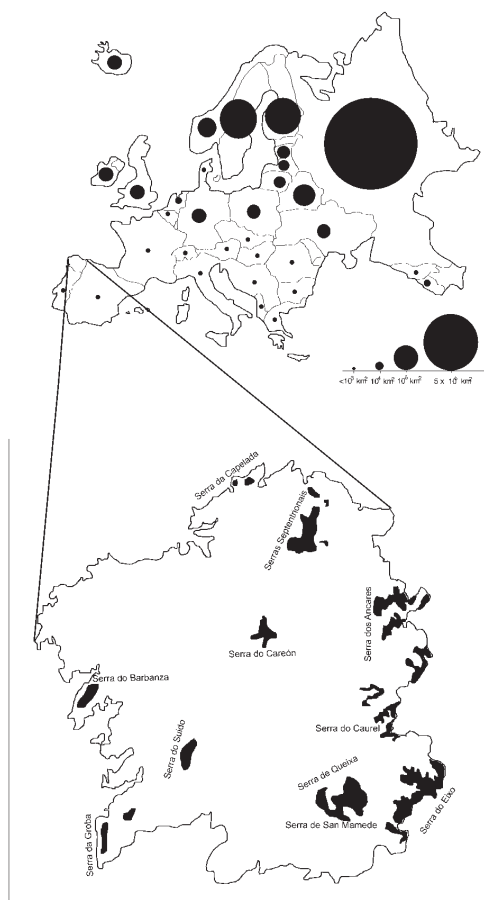


FIGURA 1. Localización del área de estudio y distribución de las principales áreas de turberas en Europa y Galicia (el mapa con la distribución europea se ha modificado de Lappalainen, 1997)

za por una topografía colinada. En el sector septentrional la altitud máxima es de 1.050 m –pico Cadramón– y la mayor parte de las tierras altas están entre los 700 y los 900 m sobre el nivel de mar. Los sectores meridionales y orientales constituyen el límite occidental de la *Cordillera Cantábrica* y en ellos las montañas alcanzan mayor elevación. En este sector Pena Trevinca, con 2.124 m, es el punto culminante. La precipitación total anual varía desde 1200 L m<sup>-2</sup> en el sector sureste (a 1.000 m de altitud) hasta unos 1.800-1.900 L m<sup>-2</sup> en las zonas más elevadas de los sectores N y E; las temperaturas medias anuales se encuentran entre 5.3 y 10.0

°C. La Tabla I presenta las variaciones locales de la precipitación y la temperatura en las principales áreas de distribución de las turberas en Galicia.

La formación más extensa de turberas se encuentra en el sector norte, donde se ve favorecida por una precipitación estival relativamente alta, pero sobre todo por la baja estacionalidad pluviométrica y las abundantes nieblas. Sólo en este sector se han desarrollado durante el Holoceno turberas ombrotóficas de cobertor. Las minerotóficas son también representativas de otros sectores y de las depresiones terciarias

TABLA I. Condiciones climáticas de los principales sectores de turberas de montaña en Galicia en función de la altitud (Alt: altitud; In: invierno, Pr: primavera, Vr: verano, Ot: otoño, An: anual; la precipitación está en Lm<sup>-2</sup> y la temperatura en °C. Datos estimados a partir de Martínez Cortizas y Pérez Alberti, 2000).

Sector	Precipitación						Temperatura					
	Alt	In	Pr	Vr	Ot	An	In	Pr	Vr	Ot	An	
Norte (Sierras Septentrionales)	600	492	275	150	477	1394	6.3	9.9	14.6	9.1	10.0	
	800	561	314	172	545	1592	5.1	8.4	13.2	7.9	8.7	
	1000	635	355	194	616	1800	3.9	6.9	11.7	6.7	7.4	
Este (Os Ancares, O Caurel)	1000	480	291	139	490	1400	4.2	10.3	16.0	6.8	9.4	
	1200	531	322	154	594	1600	2.3	8.2	14.2	4.9	7.4	
	1400	582	353	168	697	1695	0.3	6.1	12.4	3.1	5.5	
Sureste (San Mamede, Queixa, Eixo)	1000	428	256	120	438	1242	4.2	10.6	16.8	6.9	9.6	
	1400	536	320	151	547	1554	1.9	8.1	14.7	5.3	7.5	
	1800	644	384	181	657	1866	-0.4	5.6	12.6	3.7	5.3	

## PAISAJES Y TIPOS DE TURBERAS

Aunque en los trabajos realizados se han aplicado diversas definiciones a las turberas existentes en el área de estudio, pocos describen con precisión su naturaleza. Recientemente Pontevedra-Pombal (1995), Pontevedra-Pombal *et al.* (1996a) y Ramil *et al.* (1996) han tratado de cubrir este vacío mediante una revisión de las diferentes definiciones, proponiendo clasificaciones basadas en la hidrología, la geomorfología y la

vegetación.

Desde el punto de vista hidrológico, las turberas minerotóficas y ombrotóficas son comunes en el noroeste de la Península Ibérica. Las turberas de cobertor (*blanket bogs*) aparecen únicamente en las superficies planas de las cimas de las montañas del sector norte, desarrollándose directamente sobre el sustrato rocoso, sobre depósitos periglaciares pedregosos o sobre suelos muy escasamente evolucionados; sólo ocasionalmente lo hacen sobre los frecuentes suelos podsólicos

existentes en el área. Esto coincide con lo propuesto por Dimbleby (1965) y Moore (1975) para quienes las turberas de cobertor no constituyen necesariamente el estado final de desarrollo de los suelos en áreas de alta precipitación, debido a la formación de costras de impermeabilización, como habían sugerido Taylor & Smith (1972), sino que pueden ser consecuencia de cambios en el suelo ligados a la eliminación de la cubierta arbórea, lixiviado, pérdida de nutrientes y el desarrollo de una vegetación acidófila (Moore, 1975).

Las turberas minerotróficas (*fens*) están ampliamente representadas. Las más antiguas se localizan en las montañas orientales y surorientales, en posiciones topográficas generadas por la actividad de los glaciares. Se forman en depresiones de sobreexcavación, en depresiones intramorrénicas y en áreas morrénicas. En el sector norte este tipo de turberas ocupan amplias depresiones, que alcanzan superficies de hasta 55 ha, formadas por la alteración y erosión de los granitos (turberas de alveolo de alteración). También se encuentran en pequeñas depresiones terciarias en los sectores central y meridional. La progresiva acumulación de materia orgánica hace que algunas de estas turberas evolucionen hacia turberas elevadas (*raised bogs*), desarrollando un nivel superior ombrotrófico de espesor variable. Los depósitos basales son de naturaleza muy heterogénea: sedimentos glaciares, fluvio-glaciares, periglaciares, terciarios, coluvio-aluviales y suelos con muy diverso grado de evolución. En algunas localidades costeras existen paleoturberas formadas en antiguos lagos litorales, en ocasiones cubiertas por aparatos dunares (p.ej. Corrubedo, A Coruña), que se formaron en momentos más fríos del Cuaternario y con niveles marinos por debajo del actual.

Por último, algunas turberas se localizan en laderas, irradiando a partir de formaciones ombrotróficas o bien se desarrollan sobre

depósitos con abundantes piedras o cantos (de origen periglacial). No es infrecuente que los depósitos basales presenten un exceso de agua. En lugares donde la capa freática alcanza la superficie, también pueden darse movimientos de reptación (*creep*), que tienen como consecuencia el desarrollo de profundas grietas y de deslizamientos que dejan abiertos frentes naturales de turba de hasta 3 metros de espesor.

## VEGETACIÓN Y FLORA

Como en el caso anterior, tampoco las comunidades vegetales de las turberas del noroeste de la Península Ibérica han sido objeto de un estudio pormenorizado. Algunos aspectos de la vegetación y su dinámica han sido estudiados por Rodríguez Oubiña (1986), mientras que Ramil *et al.* (1996) publicaron una caracterización más general. Estos últimos autores consideran que el principal factor que controla la distribución espacial de las plantas es la fluctuación anual de la capa freática y sugieren que se puede hacer una distinción entre las comunidades de las turberas ombrotróficas y minerotróficas y entre las especies pioneras y las establecidas. En las turberas ombrotróficas dominan *Eriophorum angustifolium*, *Carex durieui* (endémica), *Molinia caerulea* y *Sphagnum papillosum* (Tabla II). Los brezos están representados por individuos aislados de *Calluna vulgaris* y *Erica mackaiana* (en el norte) y *E. tetralix* (en los demás sectores).

Según estos autores, cuando comienza a formarse una turbera en una depresión encharcada, las primeras especies que colonizan estas áreas son *Sphagnum papillosum* y *S. auriculatum*, que cubren pequeñas superficies dispersas y que, con el tiempo, facilitan la implantación de gramíneas higrófilas, principalmente *Eriophorum angustifolium*. Otras especies pioneras son *Sphagnum pylaesii*, una especie que sólo se encuentra en el noroeste de la Península Ibérica, Bretaña



Algunos ejemplos de turberas del noroeste de la Península Ibérica. 1. Turbera de cobertor en Barreiras do Lago (O Xistral, Serras Septentrionais, Lugo); 2. Hundimiento en la turbera de Pasada de Lamoso (O Xistral); 3. Turbera elevada en Seixo Branco (O Xistral); 4. Frente de turba en Alto da Curuta (O Xistral); 5. Tremedal de O Rego do Tremoal (A Toxiza, Serras Septentrionais, Lugo); 6. Tremedal de A Veiga (O Xistral); 7. Braña de Agolada (Ancares, Serras Orientais, Lugo); 8. Lagoa de Lucenza (O Caurel, Serras Orientais, Lugo); 9.

Braña de Portoancares (Ancares); 10. Braña de Lamela (Ancares); 11. Braña de A Nueira (A Groba, Serras Litorais, Pontevedra).



(Francia) y América del Sur (Stieperaere *et al.*, 1988), y *Carum verticillatum*.

Las comunidades pioneras son lentamente sustituidas por otras plantas, principalmente musgos, durante las siguientes fases evolutivas. El aumento en espesor de la turbera minerotrófica, por acumulación de materia orgánica en su superficie, genera una topografía con pequeñas elevaciones (*hummocks*) y depresiones (*hollows*). Las microelevaciones tienden a presentar un color rojizo a rosa-

do debido al desarrollo preferente de *Sphagnum capillifolium* y *S. subnitens* sobre ellas. En las microdepresiones y en las superficies planas predominan otras especies de *Sphagnum*, tales como *S. compactum*, *S. tenellum* o *S. auriculatum*, que confieren a la turbera una tonalidad verdosa o verde amarillenta. En los márgenes de las unidades son más frecuentes los matorrales, especialmente brezales (*Erica mackaina*, *E. tetralix*, *E. ciliaris*, *E. umbellata*, etc...).

TABLA II. Comunidades vegetales de turberas de montaña de Galicia (elaborado a partir de datos de Ramil *et al.*, 1996)

Tipo de turbera	Especies dominantes	Otras especies presentes
<b>Turberas ombrotóficas de cobertor</b>	<i>Eriophorum angustifolium</i> <i>Carex durieui</i> , <i>Molina caerulea</i> <i>Sphagnum papillosum</i>	<i>Calluna vulgaris</i> , <i>Erica mackaiana</i> , <i>E. tetralix</i> (individuos aislados)
<b>Turberas minerotróficas tuberadas</b>	<i>S. papillosum</i> , <i>S. auriculatum</i> , <i>E. angustifolium</i>	<i>Rynchospora alba</i> , <i>Eleocharis multicaulis</i> <i>M. caerulea</i> , <i>Juncus bulbosus</i> , <i>Drosera rotundifolia</i> , <i>D. intermedia</i> , <i>Pinguicula lusitanica</i>
Fases pioneras	<i>S. pylaesii</i> , <i>Carum verticillatum</i>	<i>M. caerulea</i> , <i>Carex panicea</i> , <i>E. angustifolium</i> , <i>Arnica montana</i> subsp <i>atlantica</i> , <i>C. durieui</i> , <i>Ranunculus bulbosus</i> subsp <i>gallaecius</i>
Fase de estabilización	<i>S. compactum</i> , <i>S. tenelum</i> , <i>S. auriculatum</i> , <i>S. capillifolium</i> , <i>S. subnitens</i> , <i>C. durieui</i>	<i>E. mackaiana</i> , <i>E. ciliaris</i> , <i>E. umbellata</i> , <i>E. tetralix</i> , <i>Calluna vulgare</i> , <i>Myrica gale</i>

## CRONOLOGÍA Y TASAS DE ACUMULACIÓN DE TURBA

### *Cronología de las turberas*

Las edades basales revelan que la acumulación de materia orgánica en las turberas minerotróficas (*fens*) de los sectores orientales y surorientales comenzó, de forma generalizada, entre hace 10.000 y 11.000 años BP. Se trata de los sectores de mayor altitud que fueron intensamente sometidos a la actividad glacial durante las fases frías del Cuaternario

(Pérez Alberti & Covelo, 1996; Kossel, 1996; Valcárcel, 1996, 1999). La fase inicial de acumulación de materia orgánica se relaciona con el aumento de los flujos de humedad durante la etapa final de fusión del hielo y el retroceso de los glaciares de montaña. Recientes dataciones radiocarbónicas llevadas a cabo en las arcillas basales ricas en materia orgánica de la laguna de Lucenza –ubicada en la sierra de Courel–, dieron una edad de 17.300-17.400 años BP, lo que sugiere una inmediata puesta en marcha de los

procesos de colmatación tras el último máximo glacial (ocurrido entre el 20.000 y el 18.000 BP).

En el sector septentrional el comienzo del desarrollo de las turberas de cobertor (*blanket bogs*) y las elevadas (*raised bogs*) tuvo lugar, al menos, entre hace 8.000 y 9.000 años BP. La mayor parte de las turberas minerotróficas iniciaron su formación en dos episodios principales, uno en torno a los 5.000 - 4.000 años BP y el otro entre 3.000 y 2.000 años BP, aunque hay unidades más recientes. Numerosos autores han relacionado el comienzo de la formación de algunas turberas con actividades antrópicas como el aclarado de los bosques por talas o incendios (Moore, 1975, 1986, 1988; Chambers, 1988). A partir de análisis polínicos hechos en turberas, existen evidencias de regresión de los bosques en el norte peninsular (Ramil, 1993; Rochette *et al.*, 1991; Van der Brink & Janssen, 1985; Törnqvist y Joosten, 1988; Törnqvist *et al.*, 1989; Janssen, 1994, van der Knaap & van Leeuwen, 1994, 1995) que coinciden con un aumento en la acumulación de materiales inorgánicos en la turba; asimismo algunos estudios sobre erosión de suelos y trabajos que integran estudios arqueológicos, de evolución del paisaje y de evolución de los suelos durante el Cuaternario (Benito *et al.*, 1991; Rochette, 1992; Martínez-Cortizas *et al.*, 1993; Martínez-Cortizas & Moares, 1995; Martínez-Cortizas, 1996), ofrecen evidencias de que las fases erosivas fueron sincrónicas con el desarrollo de las culturas humanas (Epipaleolítica, Neolítica y edades del Bronce y del Hierro) y coinciden con la activación de la acumulación de turba en turberas minerotróficas, tal vez como resultado de un aumento del flujo de agua superficial.

#### *Tasas de acumulación de turba*

El espesor máximo medio en las turberas minerotróficas es de 2-3 m, si bien en los sectores orientales y surorientales (p.ej. Lucenza, Lugo) algunas alcanzan profundi-

dades elevadas (7-8 m); pero en estos depósitos no todos los niveles son de turba. Las turberas ombrotólicas tienen profundidades máximas superiores a 5 m (se han realizado algunos sondeos en los que localmente se superan los 7 m, aunque también es probable que se trate de formaciones mixtas, ombrotófico/minerotróficas), pudiéndose considerar representativa una media de 3 m. La Figura 2 muestra la relación entre la edad y la profundidad para turberas de diferentes sectores del noroeste de la Península Ibérica; algunos datos han sido tomados de la bibliografía (Fernández & Ramil, 1995). La mayoría de los puntos se ajustan a una función de regresión con un coeficiente de correlación de  $r = 0,98$  ( $n = 55$ ) y una pendiente de 21. Así pues, la acumulación media de turba durante el Holoceno ha sido de 1 cm por cada 20-25 años. Del resto de las turberas, una buena parte se ajusta a una función de pendiente no

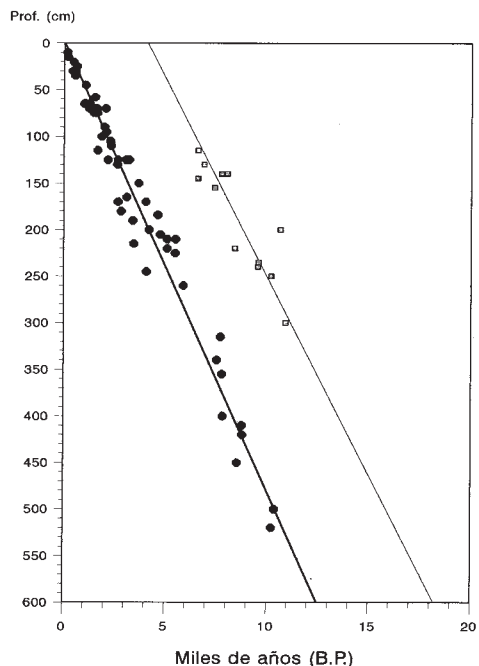


FIGURA 2. Relaciones entre la edad (en años antes del presente, B.P.) y la profundidad de la turba para turberas del noroeste peninsular.

significativamente distinta ( $b= 23$ ;  $r= 0.88$ ,  $n=15$ ) -reflejando la misma tasa media de acumulación-, pero que intercepta el eje de abscisas en una edad de 4.100 BP. Esto sugiere la presencia de una discontinuidad en la acumulación que, a juzgar por las fechas mínimas, debió haber ocurrido entre el 4.000 y el 6.000 BP y tener una amplia repercusión temporal y espacial en el territorio galaico (incluye turberas de varios sectores). Para algunos de estos casos se ha comprobado la existencia de niveles erosivos y fuerte compactación en las turberas.

A partir de las dataciones radiocarbónicas disponibles se han calculado las tasas medias de acumulación, expresadas como espesor de turba ( $\text{mm año}^{-1}$ ) o como masa. En la mayor parte de las turberas estudiadas se dispuso únicamente de la edad basal, por lo que sólo se pudo estimar una tasa media de acumulación; en unas pocas, con dos o más dataciones, se pudieron realizar reconstrucciones más detalladas. Las tasas de crecimiento expresadas como espesor son fáciles de calcular si se conoce la edad basal y la profundidad total de la turbera, pero para el cál-

culo de las tasas de acumulación de masa es necesario disponer de datos directos de producción o realizar estimaciones indirectas. Aquí utilizamos esta última aproximación mediante el modelo propuesto por Clymo (1983, 1984). Este modelo requiere también una tasa de descomposición  $-a$ , fracción de descomposición de la masa total del catotelm, que continua liberando  $\text{CO}_2$  y  $\text{CH}_4$  de forma anaerobia y muy lentamente (Gorham, 1991)- que puede obtenerse por iteración a partir de 3 profundidades y sus correspondientes edades (Clymo, 1983). De esta manera se obtuvieron valores entre  $4.5 - 5.0 \times 10^{-4}$ , mayores que los dados por Clymo (1983) por ejemplo para Drave Mose ( $2 \times 10^{-4}$ ) y que los asumidos por Gorham (1991) para turberas subárticas y boreales ( $1.4 \times 10^{-4}$ ), pero del mismo orden que los estimados para una turbera ombrotrofica en Moor House ( $10^{-3}$  a  $10^{-5}$ ; Clymo, 1978).

Las tasas de acumulación expresadas como espesor (Figura 3) varían entre  $0.2$  and  $0.7 \text{ mm año}^{-1}$  y son similares a las encontradas por otros autores (Driessen, 1978; Aaby, 1986; Gorham, 1991). La media para Galicia,

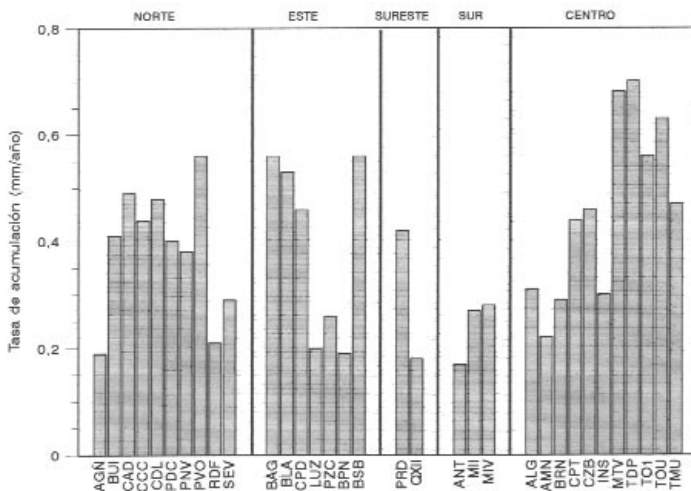


FIGURA 3. Tasas medias de acumulación de turba para algunas turberas de montaña de diversos sectores del noroeste de la Península Ibérica.

de 0.45-0.47 mm año<sup>-1</sup>, es más baja que la dada para turberas del norte europeo (0.60-0.75 mm año<sup>-1</sup>; Tolonen, 1979; Aaby, 1986), del mismo orden que la dada para Canadá (0.48 mm año<sup>-1</sup>; Gorham, 1991) y Eurasia (0.52 mm año<sup>-1</sup>; Zurek, 1976) y superiores a las de Siberia (0.2-0.4 mm año<sup>-1</sup>; Botch & Masing, 1983). Estas tasas parecen estar principalmente relacionadas con la edad, aunque también con el tipo de turbera. Las tasas de crecimiento más elevadas (0.6-0.7 mm año<sup>-1</sup>, comparables con las turberas de la Europa nórdica) se han obtenido en turberas que han comenzado a formarse en el episodio del 3.000-2.000 BP, lo que tal vez se deba a una menor compactación de la turba; mientras que para las turberas que han iniciado su formación a principios del Holoceno, las ombrotóficas tienden a poseer una tasa de crecimiento mayor que las minerotóficas. Además, en las turberas ombrotóficas de las que se dispone de dataciones múltiples, las tasas de crecimiento tienden a ser casi constantes o a variar poco con el tiempo. Este hecho podría estar relacionado con la mayor disponibilidad de agua durante el período de

desarrollo de la turba en el sector marítimo donde están ubicadas. En cualquier caso, estos valores deben tomarse únicamente como estimaciones ya que para su cálculo se asume una densidad de la turba constante y ausencia de compactación. De hecho, estos procedimientos han sido criticados por Clymo (1983) y Gorham (1991) y, además, en los perfiles de turba estudiados estas consideraciones no responden a la realidad.

Cuando la acumulación de turba se expresa como adición de masa por unidad de tiempo y superficie, los valores obtenidos están entre 40 y 120 g m<sup>-2</sup> año<sup>-1</sup> (media 76.7 g m<sup>-2</sup> año<sup>-1</sup>, desviación típica 27.8), valores considerablemente más elevados que los 29 g m<sup>-2</sup> año<sup>-1</sup> dados por Gorham (1991) para turberas subárticas y boreales. Debido a los procesos dominantes que intervienen en la formación de las turberas, éstas pueden ser consideradas como sumideros netos de elementos químicos, en particular de elementos biófilos. En la tabla III se dan los valores de acumulación y los flujos de entrada de C, N y S en dos turberas de las Sierras Septentrionales de Galicia: Penido

TABLA III. Acumulación de C, CO<sub>2</sub> equivalente, N y S, flujos medios, mínimos y máximos de entrada durante los últimos 4.000 años, en dos turberas ombrotóficas de la Serra do Xistral ubicadas a distinta altitud (Penido Vello, PVO, situada a 790 m s.n.m.; Pena da Cadela, PDC, situada a 980 m s.n.m.).

	C	CO <sub>2</sub>	N	S
<b>PDC</b>				
Acum. (t ha <sup>-1</sup> )	962	3530	34.0	5.45
Flujo (t ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> )	0.33 ±0.24	1.20 ±0.87	0.012 ±0.009	1.9 10 <sup>-3</sup> ±1.4 10 <sup>-3</sup>
mín-máx	0.009-1.03	0.33-3.77	0.003-0.039	5 10 <sup>-4</sup> - 5.8 10 <sup>-3</sup>
<b>PVO</b>				
Acum. (t ha <sup>-1</sup> )	1640	6020	47.1	20.7
Flujo (t ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> )	0.42 ±0.14	1.55 ±0.50	0.012 ±0.007	5.3 10 <sup>-3</sup> ±2.3 10 <sup>-3</sup>
mín-máx	0.21-1.07	0.77-3.91	0.004-0.054	2.6 10 <sup>-3</sup> - 1.8 10 <sup>-2</sup>

Vello (PVO) situada a 780 m de altitud y Pena da Cadela (PDC), situada a 970 m. Debido a la lenta descomposición de la materia orgánica, los flujos deben ser considerados como valores mínimos, aunque bastante aproximados, de las tasas de fijación de estos elementos. El flujo medio de acumulación de carbono, el cual puede tomarse como una estimación mínima de la productividad primaria neta (PPN) de estos ecosistemas, es de 0.33 a 0.42 t ha<sup>-1</sup> año para los últimos 4.000 años, lo cual representa una fijación neta equivalente de CO<sub>2</sub> de 1.20 a 1.55 t ha<sup>-1</sup> año. El flujo medio de acumulación de N es de 0.012 t ha<sup>-1</sup> año y el de S de 1.9 x 10<sup>-3</sup> a 5.3 x 10<sup>-3</sup> t ha<sup>-1</sup> año. Estas dos turberas se encuentran ubicadas en la misma sierra a tan sólo 5 km de distancia, pero muestran diferencias considerables en la acumulación de C, N y S, por lo que la altitud (como integradora de condiciones climáticas diferentes) parece desempeñar un papel preponderante en la evolución de las turberas del noroeste. La acumulación neta de C y N en PVO (a más baja altitud) es de 1.5 a casi 2 veces superior a la de PDC, mientras que la acumulación de S es casi 4 veces superior.

## PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

En la Tabla IV se presenta un resumen de las propiedades físico-químicas determinadas en turberas de Galicia; algunos datos han sido tomados de referencias bibliográficas. Casi todas las turberas tienen niveles superficiales con materiales orgánicos fibrillosos, poco o muy poco descompuestos, generalmente hasta una profundidad que no supera los 25 cm. Por debajo de este nivel superficial hay materiales hémicos seguidos por una capa basal de material sáprico. Sin embargo, las hay que tienen únicamente materiales fibrillosos o fibrillo-hémicos y sólo en algunas de las turberas minerotróficas más antiguas se encuentran horizontes sápricos profundos.

La densidad de la turba varía entre 0.06 y 0.60 Mg m<sup>-3</sup> y la densidad de partículas entre 1.39 y 2.22 Mg m<sup>-3</sup>, siendo 0.2 y 1.5 Mg m<sup>-3</sup> respectivamente los valores de referencia para las turberas del noroeste de la Península Ibérica. Los valores más altos corresponden a materiales orgánicos sápricos, como ya habían señalado Lynn *et al.* (1974), a transiciones basales entre la turba y el suelo mineral y a capas intermedias de turberas minerotróficas con bajo grado de descomposición y elevado contenido en componentes inorgánicos. Estos últimos son resultado de la adición de materia mineral debida a la erosión de los suelos en el entorno de la turbera (Van Lierop, 1981) y, en estos casos, el cambio en la densidad de partículas es mayor que en la densidad del suelo (Pontevedra-Pombal, 1995). El contenido en C orgánico varía entre el 15% y el 57%, el nitrógeno entre 0.1 y 1.7% y el S entre 0.2 y 2.6%. Los valores más bajos se alcanzan en los niveles con mayor densidad de partícula. Aunque la descomposición de la materia orgánica en las turberas es extraordinariamente lenta debido a los efectos del encharcamiento y la oligotrofia sobre la actividad microbiana (Zak & Grigal, 1991; Gorham, 1995), a lo largo del tiempo se mantiene un nivel mínimo de descomposición (Damman, 1988), hecho que se puede confirmar por las variaciones en profundidad de la relación Cp/Ct. La Figura 4 muestra que, aunque el grado de humificación varía bastante de una turbera a otra, para cada una de ellas las transiciones basales o los niveles minerales son los que poseen una materia orgánica más evolucionada, mientras que la turba tiene relaciones Cp/Ct muy bajas (inferiores a 0.05). Algunos estudios en curso, en colaboración con investigadores de la Universidad de Wageningen, sugieren que las transformaciones de los grupos funcionales de carbono en las turberas depende principalmente de la edad –es decir, del tiempo de evolución-, pero también de las condiciones ambientales existentes durante la acumulación

TABLA IV. Valores para algunas propiedades físicas y químicas de turberas de diferentes sectores del noroeste de la Península Ibérica (Área: N, norte; E, este; SE, sureste; S, sur; C, centro. Horizonte: tipos de horizontes orgánicos presentes; Densidad del suelo y densidad de partícula en  $\text{Mg m}^{-3}$ ; Cenizas, carbono (C), nitrógeno (N) y azufre total (S) en porcentaje; IP: índice de pirofosfato; cationes de intercambio y capacidad de intercambio catiónico en  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ , los valores con asterisco indican que la CIC se midió en acetato amónico a pH 7, el resto en cloruro amónico al pH de la turba. (1: Jato, 1974; 2: Sammamed, 1973; 3: Torras, 1982; 4: Leirós, 1983; 5: Molinero et al., 1984; 6: Aira y Guitián, 1986a y b; 7: Ramil et al., 1993; 8: Ramil et al., 1994).

Turbera	Sector	Horizonte orgánico	Espesor (cm)	Densidad del suelo	Densidad de partícula	Porosidad (%)	Cenizas	IP	C	N	S
AGN <sup>7</sup>	N	Oi-Oe-Oa	130	0.04-0.20	—	—	—	2-5	21-43	—	—
BAG	E	Oi-Oa	135	0.06-0.60	1.40-2.20	55-85	4-63	0-7	29-49	0.2-2.3	0.20-2.60
BDX <sup>7</sup>	SE	Oi-Oe	40	—	—	—	—	—	14-27	0.1-1.0	—
BLA	E	Oi-Oe-Oa	145	0.11-0.26	1.53-1.88	86-93	10-25	2-7	29-44	1.8-2.4	0.73-0.98
BMC <sup>7</sup>	C	Oi-Oa	70	—	—	—	—	—	30-32	0.5-0.7	—
BPA	E	Oi-Oe	190	0.14-0.34	1.50-1.86	81-93	21-57	3-5	23-46	1.1-1.7	0.50-1.10
BRN <sup>4</sup>	C	Oi-Oa	110	—	—	—	—	—	15-32	0.7-2.0	—
BUI <sup>5</sup>	N	Oe	400	0.11-0.19	1.90-2.20	87-92	4-19	—	48-60	—	—
CAD	N	Oi-Oe-Oa	124	0.13-0.98	1.34-2.06	60-91	2.7-79	1-6	17-55	0.5-2.0	0.06-0.30
CDL <sup>8</sup>	N	Oa	400	0.15-0.23	—	—	—	—	39-60	—	—
CPD	E	Oi-Oa	55	0.14-0.17	1.54-1.66	89-90	19-34	1-5	31-37	2.0-2.4	0.79-0.97
LUZ <sup>6</sup>	E	Oi-Oe	540	—	—	—	—	—	14-35	0.8-1.8	—
MIF <sup>6</sup>	SE	Oi	140	—	—	—	—	—	38-40	1.8	—
MIM <sup>3</sup>	SE	Oi-Oe	100	—	—	—	—	—	26-34	1.6-2.1	—
PDC	N	Oi	184	0.09-0.16	1.36-1.51	88-94	1.3-7.3	4-7	47-57	1.5-2.2	0.19-0.39
PNV <sup>8</sup>	N	Oi-Oe-Oa	250	0.07-0.32	—	—	—	—	35-51	—	—
PVO	N	Oi-Oe	300	0.09-0.24	1.39-1.53	83-94	1-12	4-5	44-57	1.2-2.3	0.61-0.77
PZC	E	Oi-Oe-Oa	265	0.16-0.60	1.72-2.22	74-91	54-76	2-7	14-25	0.3-1.6	0.30-1.10
QXI <sup>2</sup>	SE	Oi	105	—	—	—	—	—	22-45	0.7-2.0	—
SUA	E	Oi-Oe-Oa	115	0.10-0.23	1.45-1.83	77-93	5-50	2-5	24-50	1.1-2.7	0.54-0.95
Pest	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	pH CaCl <sub>2</sub>	Ca	Mg	Na	K	Al	CIC		
BAG	3.5-4.3	2.3-4.3	2.1-4.1	0.8-17.8	0.2-12.1	0.03-0.9	0.01-1.3	2.9-15.5	11.3-221.3		
BDX	4.3-4.6	3.4-3.8	—	0.40-0.70	0.08-0.20	0.01-0.08	0.06-0.10	8.00-10.80	44.7-78.8*		
BLA	5.9-6.0	5.1-5.3	4.7-4.8	1.80-5.91	0.31-1.00	0.73-2.60	<0.01-2.32	<0.01-0.09	3.79-12.31		
BMC	3.9-4.0	3.5-3.9	—	5.60-7.50	1.90-2.20	0.40-0.70	<0.01-0.06	7.10-15.90	99.5-126.9*		
BPA	3.5-4.3	—	—	1.0-7.1	0.2-0.9	0.02-0.9	0.02-1.0	2.5-13.4	8.3-16.2		
BRN	4.2-4.7	3.8-4.2	—	0.20-0.50	0.10-0.50	0.10-1.70	0.05-0.20	5.00-10.00	60.0-165.5*		
BUI	3.2-3.8	—	—	<0.01	1.40-3.00	1.00-2.40	<0.01	—	74.9-95.5*		
CAD	2.5-3.9	2.5-3.0	2.0-2.4	0.1-8.1	0.5-9.3	0.03-1.98	<0.01-1.1	2.7-14	7.1-23.5		
CPD	4.3-4.7	3.9-4.3	3.2-3.7	0.60-3.59	0.18-2.47	0.14-0.97	0.25-0.71	6.77-10.38	8.77-17.35		
LUZ	3.4-4.8	3.1-3.8	—	3.00-4.30	0.30-1.20	0.20-0.40	0.03-0.20	3.10-4.70	42.2-56.0*		
MII	4.6-4.9	4.4-4.6	—	—	—	—	—	—	—		
MIM	4.7-4.9	4.4-4.6	—	0.40-0.60	0.10-0.30	0.30-0.70	0.05-0.10	0.90-7.10	23.8-30.7*		
PDC	3.6-4.4	2.9-3.3	2.9-3.2	0.2-4.2	4.7-13.2	0.5-1.2	<0.01-0.5	1.0-3.4	9.8-21.1		
PVO	3.6-4.6	2.3-3.3	2.3-3.1	0.08-6.69	4.33-9.36	0.46-1.39	0.02-2.93	0.31-3.76	6.98-20.1		
PZC	3.4-4.8	3.4-4.1	3.3-4.1	0.6-11.0	0.9-2.6	0.081.5	0.09-4.2	0.5-5.1	5.6-19.4		
QXI	3.8-4.2	2.8-3.6	—	0.50-0.70	0.40-1.20	0.30-0.40	0.07-0.30	3.20-5.3	12.0-16.0		
SUA	4.5-5.6	3.6-4.2	3.0-3.9	1.91-10.02	0.28-1.29	1.49-3.37	<0.01-4.02	0.61-3.99	8.18-20.56		

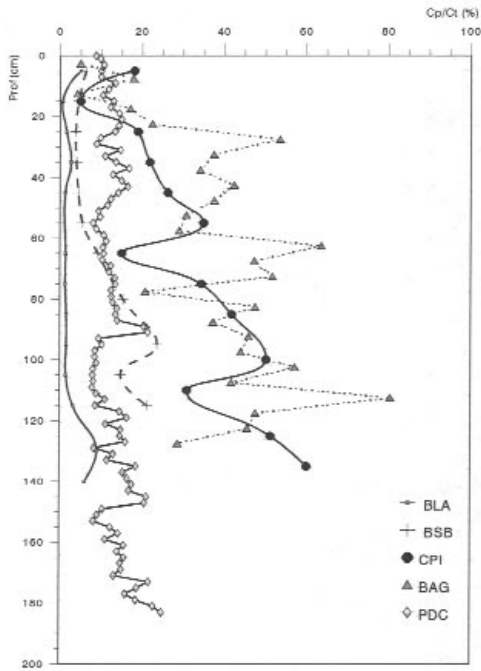


FIGURA 4. Variaciones verticales de la relación  $C_p/C_t$  en turberas del noroeste de la Península Ibérica (BLA: Braña de Lamelas; BSB: Braña de Suarbol; CPI: Braña de Cespedosa I; BAG: Braña de Agolada; PDC: Pena da Cadela).

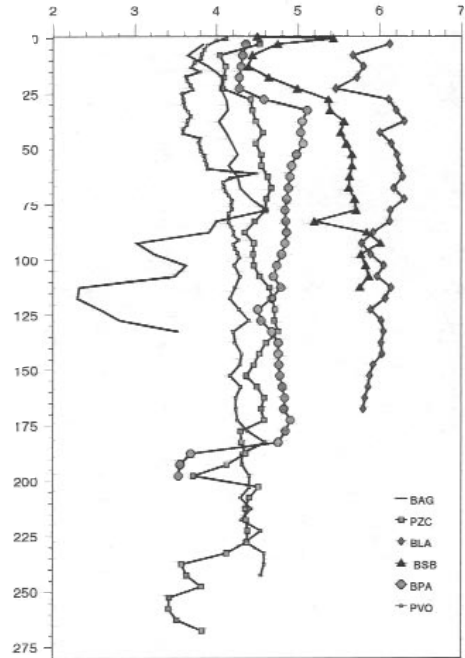


FIGURA 5. Perfiles verticales de pH en algunas turberas del noroeste de la Península Ibérica (BAG: Braña de Agolada; PZC: Pozo do Carballal; BLA: Braña de Lamela; BSB: Braña de Suarbol; BPA: Braña de Porto Ancares; PVO: Penido Vello).

de la turba, tal vez mediante el control de la composición de las comunidades vegetales y la resistencia que ofrecen sus restos a la degradación.

El pH de las turberas varía entre 3.2 y 4.9, lo que indica condiciones de ácidas a muy ácidas (Figura 5), un hecho coherente con la elevada precipitación, los substratos generalmente ácidos, el efecto acidificante de los musgos (Majakova & Proskurjakov, 1972; Motzkin, 1994) y de los ácidos orgánicos formados durante la evolución de la materia orgánica acumulada (autoacidificación). Excepcionalmente, el pH es ligeramente ácido a neutro en aquellos casos en que

aguas que drenan niveles calizos se infiltran en la turbera (BLA, Tabla IV).

La capacidad de intercambio de cationes efectiva (CICE) varía entre 4 y 20  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ . Los cationes de intercambio siguen la secuencia  $\text{Mg}^{+2}, \text{Ca}^{+2} > \text{Al}^{+3} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$  en los niveles superiores de las turberas de cobertor y  $\text{Al}^{+3} > \text{Mg}^{+2}, \text{Na}^+ > \text{Ca}^{+2} > \text{K}^+$  en los más profundos; en las turberas minerotróficas el orden más frecuente es  $\text{Al}^{+3} > \text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$  (en BLA el Ca es más abundante que el Al en toda la turbera). La abundancia de Mg en las turberas de cobertor de las sierras septentrionales se debe al efecto de los aerosoles marinos —hecho apoyado tam-

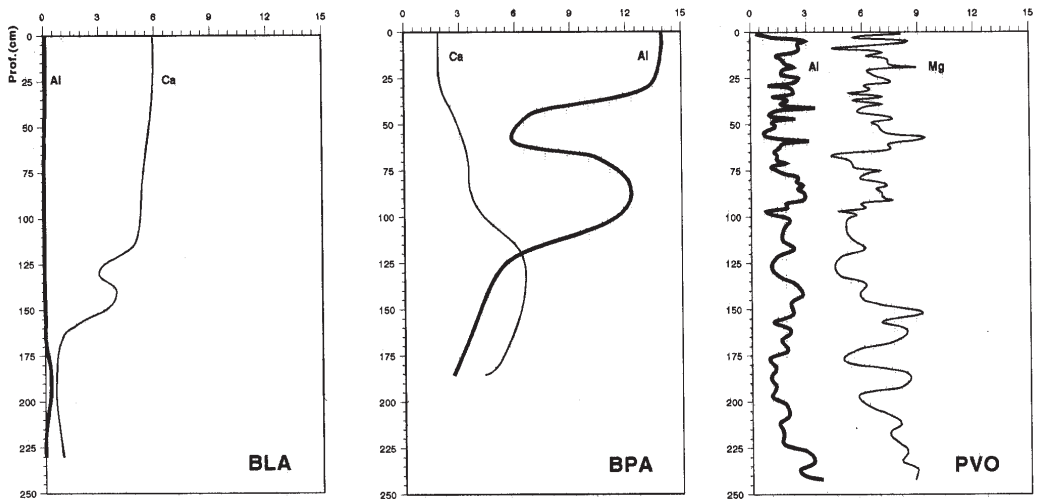


FIGURA 6. Variaciones verticales en la concentración de los cationes dominantes en el complejo de intercambio catiónico (en  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ ) (BLA: Braña de Lamelas; BPA: Braña de Porto Ancares; PVO: Penido Vello).

bién por las elevadas concentraciones de Br-, mientras que el predominio del Al en las minerotróficas es una consecuencia directa de la composición de las aguas que drenan los suelos ácidos de su entorno. Independientemente de estas generalizaciones, muchos testigos de turba muestran variaciones en la distribución de los cationes intercambiables con la profundidad (Figura 6). La capacidad de intercambio de cationes (CIC) medida a pH 7 es, lógicamente, mucho más alta, entre 24 y  $165 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ , con las mayores diferencias frente a la CICE en las muestras de turba más ácidas y con mayor grado de descomposición.

En función del origen de los nutrientes, las turberas formadas en depresiones (*fens*) han de ser consideradas como *minerotróficas* ya que la principal fuente de cationes es la meteorización del sustrato o las aguas que circulan por los diferentes circuitos hidrológicos terrestres. Las turberas de cobertor son *ombrotólicas*, alimentadas por agua de lluvia, aunque incluso en estos casos la composición del complejo de intercambio de los

niveles más profundos está, en algún grado, influenciada por el sustrato. Mientras que, como ya se ha mencionado, las turberas elevadas poseen un nivel superficial ombrotrófico que se ha desarrollado sobre otro minerotrófico.

Las relaciones atómicas entre la materia orgánica activa (extraída con pirofosfato, Cp) y el Fe y Al extraídos con pirofosfato, oxalato o tetraborato, indican que la materia orgánica está fuertemente insaturada en metales y tiene una alta capacidad de complejación. La insaturación tiende a aumentar hacia la base de la turbera, al igual que el grado de descomposición de la materia orgánica, y alcanza el máximo en los horizontes A enterrados y en las capas de transición entre la turba y el sustrato mineral (Pontevedra Pombal, 1995).

## CLASIFICACIÓN Y TIPOS DE HÁBITATS

La clasificación de estos suelos reviste especial complejidad por diversos motivos, como por ejemplo la subjetividad de los

métodos empleados para la determinación del grado de descomposición de la turba, el contenido de fibras, la dificultad para estimar el porcentaje de arcilla de un material dominado por la materia orgánica, la heterogeneidad de la metodología empleada en los diversos estudios y, en general, por la carencia de datos suficientes en la mayoría de las publicaciones. Por ello, la que aquí se aporta ha de ser considerada como una clasificación aproximada para una buena parte de los suelos cuyos datos se han tomado de la bibliografía.

En la tabla V damos una relación de turberas de montaña representativas de diversos sectores de Galicia, indicando la sierra en la que se ubica, la altitud, la edad radiocarbónica (no se trata siempre de la edad basal máxima) y la clasificación según los sistemas FAO (1990) y *Soil Taxonomy* (SSS, 1997). En esta muestra predominan los Histosoles fibrícos (BUI, CAD, CDL, MIM, MII, PDC, PVO, QXI, BLA) y térri-cos (AGÑ, BDX, BUI, CPD, LUZ, PNV, PZC), habiendo también Histosoles tiónicos (BAG), fibríco-tiónicos (SUA) y térrico-ti-ónicos (BPA), según la clasificación de la FAO. Con la clasificación norteamericana los suelos dominantes son los Fibrists (sphagnofibrists: CAD, CDL, MII, MIM, PDC, PNV, PVO; borofibrists: PZC, QXI, BLA; y medifibrists: BDX, BUI). Además aparecen otros grupos como los Hemists (sulfihemists: BAG, BPA; medihemist: BUI; borohemist: LUZ) y Saprist (medisaprist: AGÑ; borosaprist: CPD; sulfisaprist: SUA).

Las turberas son ecosistemas de elevado valor medioambiental. Así lo ha entendido la Unión Europea al proponer su inclusión en la directiva "Habitats", "*un instrumento legislativo en el campo de la conservación de la naturaleza*" (European Commission, 1996); directiva que se plasma en la creación de una red de áreas de especial conservación, denominada Red Ecológica Europea Coherente Natura 2000. El *Interpretation Manual of*

*European Union Habitats* (European Commission, 1996) recoge la descripción detallada (definición, especies características, distribución geográfica, etc...) y es la base para la identificación de los hábitats prioritarios en la Unión Europea. Tomando esta obra como referencia, las turberas del noroeste de la Península Ibérica aparecen incluidas en el grupo general de *RAISED BOGS AND MIRES AND FENS*, *Sphagnum acid bogs*, y en los hábitats tipo definidos como:

7110- Turberas elevadas activas (*Active raised bogs*): turberas ácidas, ombrotróficas, pobres en nutrientes minerales, alimentadas principalmente por el agua de lluvia, con una capa freática en general más elevada que la de las áreas colindantes, con vegetación perenne dominada por esfagnos de diverso colorido en microcolinas (hummocks) que permiten el crecimiento de la turbera (*Erico Sphagnetalia magellanici Scheuchzietalia palustris* p., *Utricularietalia intermedio minoris* p., *Cariceralia fuscae* p.)

7120- Turberas elevadas degradadas todavía susceptibles de regeneración natural (*Degraded raised bogs still capable of natural regeneration*): turberas elevadas cuyo funcionamiento hidrológico ha sido perturbado (habitualmente por actividades humanas), dando lugar a una desecación superficial y/o a un cambio o pérdida de especies. Estas unidades habitualmente contienen especies típicas de las turberas elevadas activas como componente principal, pero la abundancia relativa es diferente. Los lugares que se juzga que son susceptibles de regenerarse de forma natural incluirán aquellas áreas donde se pueda recuperar la funcionalidad hidrológica y, con una rehabilitación apropiada, exista una expectativa razonable de re-establecimiento de la vege-

TABLA V. Clasificación, FAO y Soil Taxonomy, de algunas turberas representativas.

Código	Nombre	m s.n.m) Localización	Altitud m s.n.m	(Edad (BP)	Clasificación
AGÑ	A Gañidoira	S. Septentrionales	720	6895 ±50 (130 cm)	Histosol térrico Medisaprist
BAG	Agolada	Sierra de Ancares	1230	3390 ±40 (215 cm)	Histosol tiónico Sulfihemist
BLA	Braña de Lamela	Sierra de Ancares	1280	3090 ±35 (165 cm)	Histosol fíbrico Borofibríst
BDX	Braña dos Xuncos	Manzaneda-Queixa	1580	—	Histosol térrico Medifibríst
BPA	Braña de Porto Ancares	Sierra de Ancares	1580	10650 ±170 (195 cm)	Histosol térrico-tiónico Sulfihemist
BUI	Braña do Buiro	Montes del Buiro	620	7725 ±50 (315 cm)	Histosol térrico/fíbrico Medihemist/Medifibríst
CAD	Cadramón	Sierra de O Xistral	1040	—	Histosol fíbrico Sphagnofibríst
CDL	Chao de Lamoso	Sierra del O Xistral	1039	8785 ±30 (415 cm)	Histosol fíbrico Sphagnofibríst
CPD	Campa da Cespedosa	Sierra de Ancares	1415	2070 ±25 (95 cm)	Histosol térrico Borosaprist
LUZ	Lagoa de Lucenza	Sierra de O Caurel	1440	17390 ±90 (700 cm)	Histosol térrico Borohemist
MII	Manzaneda II	Manzaneda-Queixa	1700	—	Histosol fíbrico Sphagnofibríst
MIM	Manzaneda I	Manzaneda-Queixa	1630	—	Histosol fíbrico Sphagnofibríst
PDC	Pena da Cadela	Sierra de O Xistral	980	4.600 ± (185 cm)	Histosol fíbrico Sphagnofibríst
PNV	Pena Vella	A Toxiza	700	5.080 ±40 (220 cm)	Histosol térrico Sphagnofibríst
PVO	Penido Vello	Sierra de O Xistral	790	4.070 ±50 (245 cm)	Histosol fíbrico Sphagnofibríst
PZC	Pozo do Carballal	Sierra de Ancares	1330	10370 ±210 (265 cm)	Histosol térrico Borofibríst
QXI	Braña de Queixa	Sierra de Queixa	1600	—	Histosol fíbrico Borofibríst
SUA	Braña de Suárbol	Sierra de Ancares	1080	1250 ±25 (70 cm)	Histosol fíbrico-tiónico Sulfisaprist

tación con capacidad de formar turba en unos 30 años.

- 7130- Turberas de cobertor activas (*Blanket bog, active only*): extensas comunidades de turberas o paisajes sobre superficies planas o laderas con drenaje superficial pobre, en áreas de climas oceánicos con elevada precipitación, características del oeste y norte de Gran Bretaña e Irlanda. A pesar de la existencia de un cierto flujo lateral de agua, las turberas de cobertor son mayoritariamente ombrotróficas. Con frecuencia cubren áreas extensas con aspectos topográficos locales que soportan comunidades distintivas (*Erico Sphagnetalia magellanici: Pleurozio pupureae Ericetum tetralicis Vaccinio Ericetum tetralicis* p.; *Scheuchzeretalia palustris* p., *Utricularietalia intermedio minoris* p., *Caricetalia fuscae* p.). Los esfagnos desempeñan un papel importante en todas estas turberas pero el componente de ciperáceas es mayor que en las turberas elevadas.
- 7140- Turberas de transición y tremedales (*Transition mires and quaking bogs*): comunidades formadoras de turba desarrolladas sobre aguas superficiales oligotróficas a mesotróficas, con características intermedias entre tipos solígenos y ombrógenos. Presentan un amplio y diverso rango de comunidades vegetales.
- 7150- Depresiones sobre sustratos turbosos (*Rhynchosporion*) (*Depressions on peat substrates, Rhynchosporion*): comunidades pioneras altamente constantes sobre turbas expuestas saturadas de agua o, algunas veces, sobre arenas, con *Rhynchospora alba*, *R. fusca*, *Drosera intermedia*, *D. rotundifolia*, *Lycopodiella inundata*, que se forman en áreas perturbadas de turberas de cobertor o elevadas, pero también en

áreas erosionadas de forma natural en brezales húmedos y turberas, en puntos de flujo preferente y en la zona de fluctuación de charcas oligotróficas con sustrato arenoso, ligeramente turboso. Estas comunidades son similares, y están muy relacionadas, con las de las microdepresiones (hollows) y las de las turberas de transición.

De estos hábitats tipo, por su singularidad y grado de desarrollo espacial, destacan las turberas de cobertor (7130), las cuales se encuentran restringidas casi exclusivamente a las Sierras Septentrionales de Galicia y a favor de condicionantes biogeográficos: cumbres planas o de ligera inclinación (entre los 800 y 1000 m s.n.m), en áreas oceánicas de elevadas precipitaciones (1600-1800 mm/año), escasa a moderada estacionalidad pluviométrica, abundantes nieblas, bajas temperaturas medias anuales (7.5° a 10.0° C) y sustratos ácidos pobres en nutrientes. Existe además, en muchas localizaciones, un complejo continuo que partiendo de las zonas de cumbre irradia por las laderas hasta zonas de ruptura, donde pierde espesor la turba en transición hacia otros suelos con horizontes orgánicos a cotas más bajas (incluso hasta los 500 m). La distribución geográfica de este tipo de hábitat, reconocido en el *Interpretation Manual*, las remite a áreas de Francia, Irlanda, Suecia y Reino Unido, aunque parece oportuno extender su dominio hasta el norte peninsular, el cual se convierte así en el límite meridional de distribución de este tipo de ecosistemas atlánticos. Su presencia en otros sectores del territorio galaico es discutible debido, sobre todo, a una cierta falta de precisión en la definición al indicar que se trata de turberas “*mayoritariamente ombrotróficas*”, lo que no excluye que se encuentren formaciones extensivas, recubriendo laderas y con carácter minerotrófico que pueden ser incluidas también en esta clase. En nuestra opinión, la condición

de ombrotrofia debiera ser básica para la definición de las turberas de cobertor.

Tanto las turberas de cobertor como las turberas altas activas son hábitats de protección prioritaria para la Unión Europea. Estas últimas (código 7110) aparecen localizadas en su mayor parte en pies de ladera, áreas de replano y depresiones, si bien en las cumbres de las montañas septentrionales no es infrecuente la existencia de enclaves de turberas altas que aparecen hoy englobadas en formaciones de cobertor más extensas. Su principal característica es la de haber desarrollado una zona superficial ombrotrofica bien reconocible y de espesor variable, debido al crecimiento vertical de la turbera. Este crecimiento suele conferirle un aspecto abombado en su centro (perfil convexo) y, a la zona que se ha elevado sobre los márgenes de la formación, un régimen nutricional dependiente de manera exclusiva del agua de lluvia, además de un aislamiento de los circuitos hidrológicos subterráneos y superficiales. Es decir, se trata de una fase de progresión de ciertas turberas minerotróficas y la identificación del nivel ombrotrofico superficial es clave para su clasificación en este grupo. En Galicia no son exclusivas de sector alguno pues aparecen representadas en casi todos ellos.

El resto de las turberas del noroeste peninsular podría encuadrarse entre las turberas activas de transición (*transition mires*) y tremedales (*quaking bogs*). Cabe entender que, en gran medida, el primer subtipo es un cajón de sastre en el que incluir una buena parte de las turberas. Para éste, lo más relevante, desde el punto de vista geoquímico e hidrológico, es decidir el grado de transición entre condiciones solígenas y ombrógenas, es decir, entre minerotróficas y ombrotroficas; aspecto que requiere el estudio particular de cada formación y la necesidad de proponer límites al posible continuo entre los dos tipos de alimentación. En este subtipo podrían incluirse turberas de ladera y pie de ladera de bajo espesor, que son auténticas

transiciones entre turberas de cobertor y turberas elevadas. Mientras que en el segundo subtipo –los tremedales– se incluirían turberas de fondo de valle y alveolo de alteración, con capas freáticas elevadas que le confieren un carácter flotante. Estas presentan casi siempre una conexión con los sustratos turbosos de las laderas circundantes, de forma que pasan paulatinamente hacia turberas de transición.

Por otra parte, el hábitat 7150 –depresiones sobre sustratos turbosos con *Rhynchosporion*– no debe ser considerado como un tipo de turbera, si no como un hábitat que aparece en algunas áreas turbosas como resultado de procesos de degradación antropogénica o natural.

Por último, en lo que a caracterización de hábitats de turbera se refiere, parece oportuno hacer una serie de consideraciones. La primera es que se echa en falta una clase específica de turberas minerotróficas ácidas, las que en la bibliografía anglosajona reciben la denominación genérica de *fens*. Probablemente se trate del hábitat de turbera más extendido en el noroeste peninsular, si bien en el *Interpretation Manual* sólo se da esta denominación a los de ambientes calcáreos (*calcareous fens*). En segundo lugar, la definición de los tipos, tomada de manera estricta, adolece de cierta ambigüedad, generando posibles solapamientos entre fases de turberas de cobertor y elevadas, entre elevadas y tremedales, etc..., que no parece oportuno se resuelvan a través de las turberas de transición, que por este motivo podrían llegar a convertirse en las dominantes. También en relación a la definición de las características biogeoquímicas, hidrológicas y geomorfológicas, se otorga un papel preponderante a las condiciones actuales en detrimento de la génesis y del proceso histórico-evolutivo de las formaciones. No obstante, los nombres que reciben tienen un fuerte contenido genético, coherente con el hecho de que las turberas son sistemas edá-

ficos autoretroalimentados y que las condiciones que han disparado su formación hay que buscarlas en los paleoambientes de finales de la última glaciación e inicios del Holoceno, por un lado, y en el acoplamiento entre condiciones ambientales y actividad humana durante el Holoceno, por el otro (Martínez Cortizas *et al.*, 2000). Las turberas tienen pues un importante componente de ecosistemas relictos. Es evidente que la clasificación de los hábitats de turbera es una tarea compleja que demanda la integración de estudios de numerosas disciplinas, pero es también obvio, tal como se refleja en el *Interpretation Manual*, que dicha complejidad es consustancial a este tipo de hábitats, puesto que en cada uno de ellos existen enclaves menores “*de otros sistemas formadores de turba los cuales, de manera estricta, forman parte de diversos biotopos de zonas anfibas, turberas minerotróficas (fens) y suelos de brezales húmedos (moorland)*”.

A pesar de su importancia como humedales, por su papel en el control hidrológico o en el mantenimiento de la diversidad biológica, las turberas están sujetas a procesos de degradación naturales y antropogénicos. Los segundos son los más acuciantes en la actualidad y se deben a la explotación minera, al drenaje -mediante apertura de zanjas-, la transformación a pradería -con cambios en las formaciones vegetales y en las propiedades físico-químicas debido a la fertilización y el encalado-, la repoblación forestal y la construcción de infraestructuras viarias. Estas últimas relacionadas con la apertura de pistas para aprovechamientos forestales y ganaderos y, más recientemente, para la instalación de parques eólicos. La Red Natura 2000 exige la protección prioritaria de algunos de estos hábitats (7110 y 7130), por lo que se debe tener en cuenta que ésta no será efectiva si no se incorporan además otras áreas marginales de menor calidad, pero directamente relacionadas.

## ARCHIVOS DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA Y LOS CAMBIOS AMBIENTALES

Como ya se ha mencionado, las turberas ombrotroóficas reciben aportes exclusivamente desde la atmósfera, por lo que los elementos químicos llegan a ellas mediante cualquiera de las posibles vías de deposición atmosférica (seca, húmeda, oculta), siendo acumulados por la turba; motivo por el cual han sido utilizadas como monitores de la deposición y acumulación de metales pesados (Hemond, 1980; Glooschenko & Capobianco, 1982; Shotyk, 1996, etc.). En general, su desarrollo temporal, el tipo de alimentación hídrica, sus características físico-químicas y su alto contenido en materia orgánica limitan los procesos de movilidad post-deposicional de la mayor parte de los metales pesados, propiedades éstas que las convierten en testigos ideales de las variaciones de la concentración de dichos elementos en la atmósfera y de los procesos de contaminación.

En la turbera ombrotrofica de Penido Vello (PVO), situada en la Serra do Xistral, cuya edad supera los 4000 años BP, se ha determinado el contenido total en Pb y Zn mediante un analizador multielemental EMMA -Energy-dispersive Miniprobe Multielement Analyzer- (Cheburkin y Shotyk, 1996; Weiss *et al.*, 1998) y en extractos con KCl 1M (Voltimetría, Methron 646 VA-Processor) y Hg mediante un equipo Leco AMA-254 (Martínez Cortizas *et al.*, 1997; Martínez Cortizas *et al.*, 1999). En general, los contenidos más elevados de todos los metales se encontraron en las muestras superficiales de turba, disminuyendo con la profundidad hasta alcanzar niveles muy bajos en la parte basal, más antigua. Este es el caso de metales como el Zn y el Cd.

Para el Pb (Figura 7) el perfil de distribución con la profundidad y, en consecuencia, con la edad de la turba, sugiere que la conta-

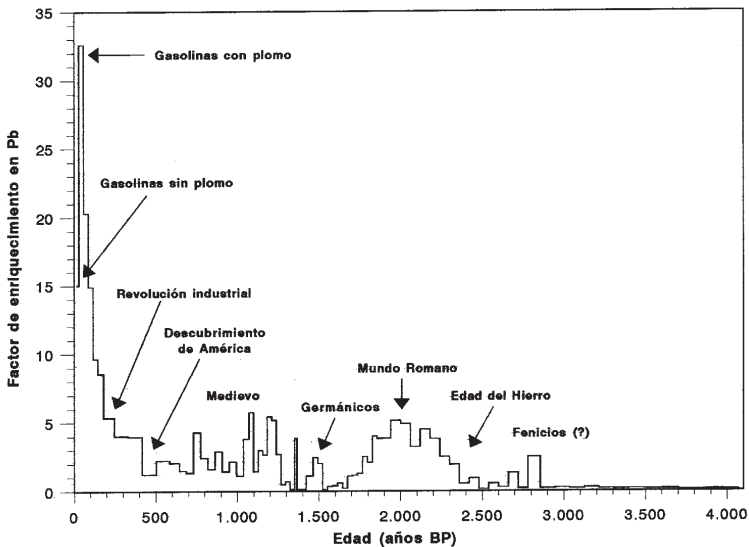


FIGURA 7. Cronología de las variaciones en los factores de enriquecimiento en Pb en el noroeste de la Península Ibérica y su relación con la historia de la minería y metalurgia de este elemento (modificado de Martínez Cortizas et al., 1997).

minación por Pb se remonta a hace unos 2.800-3.000 años y que, desde la Edad del Hierro, se ha producido un lento incremento en la contaminación, hasta alcanzar valores considerablemente elevados, de hasta 5 veces el nivel de fondo, en época romana y mucho más elevados tras la revolución industrial, indicando la importante influencia de las actividades mineras y metalúrgicas en las emisiones de metales a la atmósfera, sobre todo en los últimos 300 años. Las variaciones en la acumulación de Pb en la turbera PVO muestran una buena relación con los datos prehistóricos e históricos de la minería y metalurgia de este metal en la Península Ibérica.

En el caso del Hg, además de su concentración total, en las muestras se ha medido también su labilidad térmica (desorción a 30° y 105° C), expresando el Hg desorbido/retenido por la turba como proporciones del Hg total: baja estabilidad, HgL, proporción de mercurio desorbido a 30°C; de moderada estabilidad, HgM, mercurio desorbido entre 30° y 105°C y mercurio de elevada estabili-

dad, HgH, retenido por la turba tras calentar a 105°C. Las variaciones temporales de cada una de estas proporciones para los últimos 4.000 años, muestran una clara relación con el registro del cambio climático en el suroeste de Europa y la Península Ibérica en general y de Galicia en particular (Martínez Cortizas *et al.*, 1999). Estas variaciones son independientes de la historia de la minería y de la metalurgia del Hg, pero parecen depender de las condiciones climáticas ocurridas durante la deposición. Así, en períodos climáticos fríos las formas lábiles de Hg (HgL) constituyen la fracción más abundante, mientras que en las muestras correspondientes a períodos cálidos predominan las más estables, HgM y HgH. Además, para muestras con edades superiores a los 2.200 años, el Hg acumulado puede expresarse como una función de dichas proporciones; dado que para edades anteriores a la citada no se conoce actividad minera ni metalúrgica, puede asumirse que dicha función es un modelo adecuado para la estimación de la acumulación

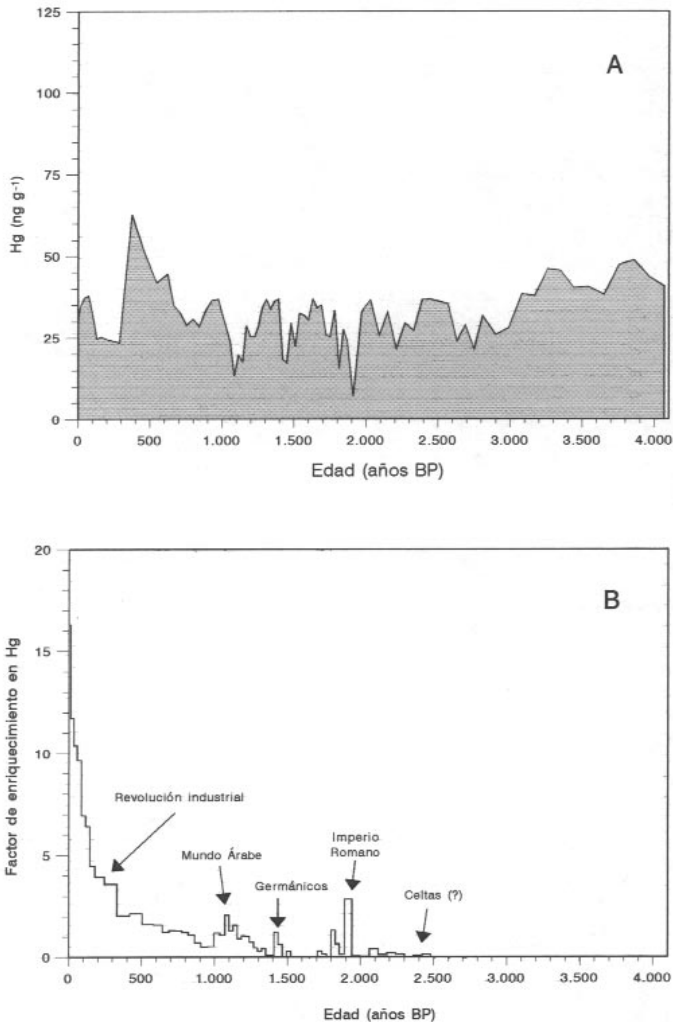


FIGURA 8. Cronología de la acumulación de Hg en el noroeste de la Península Ibérica. A) Variaciones de la acumulación de Hg de origen natural; B) cronología de los factores de enriquecimiento y su relación con la minería y metalurgia de este elemento.

de Hg de origen natural ( $Hg_{NAT}$ ). La función obtenida se ha empleado para el cálculo del  $Hg_{NAT}$  en las muestras de edad más reciente que 2.200 años y, consecuentemente se ha podido, así mismo, obtener una estimación del Hg de origen antropogénico ( $Hg_{ANT}$ ), como diferencia entre el Hg total y el de origen natural.

La distribución de  $Hg_{NAT}$  (Figura 8A) indica que los climas fríos favorecen la acumulación mientras que en los cálidos se ven favorecidas las pérdidas de este elemento desde la turbera –revolatilización–, conduciendo a una menor acumulación de Hg. El enriquecimiento antropogénico en Hg (Figura 8B) acumulado en la turba se ajusta

TABLA VI. Acumulación de elementos químicos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) en la turbera de PDC (Serra do Xistral, Lugo) a distintas escalas temporales. Las cifras en negrita indican la proporción respecto al total acumulado en 4.000 años.

Elemento	4.000 años	500 años		300 años	
Fe	2874.0	908.0	<b>0.32</b>	548.0	<b>0.19</b>
Br	431.8	64.1	<b>0.15</b>	32.3	<b>0.07</b>
Ti	329.0	82.3	<b>0.25</b>	41.1	<b>0.12</b>
Zn	36.0	28.2	<b>0.78</b>	20.1	<b>0.55</b>
Pb	22.6	16.5	<b>0.73</b>	12.2	<b>0.54</b>
Sr	15.1	4.6	<b>0.30</b>	2.5	<b>0.16</b>
Zr	13.4	3.5	<b>0.26</b>	1.6	<b>0.12</b>
Cr	9.8	3.2	<b>0.33</b>	2.5	<b>0.26</b>
Mn	7.5	5.7	<b>0.76</b>	4.9	<b>0.65</b>
Cu	6.9	2.4	<b>0.35</b>	1.6	<b>0.23</b>
Ni	5.9	1.9	<b>0.32</b>	1.2	<b>0.20</b>
As	5.8	4.1	<b>0.71</b>	2.6	<b>0.45</b>
Rb	4.1	1.5	<b>0.36</b>	1.9	<b>0.22</b>
Se	2.9	0.6	<b>0.21</b>	0.3	<b>0.11</b>
Ga	2.6	1.1	<b>0.42</b>	0.7	<b>0.28</b>
Y	2.4	0.8	<b>0.33</b>	0.5	<b>0.19</b>

mejor a los registros históricos de la minería y metalurgia de este elemento en la Península y sugiere que ésta comenzó al menos hace 2.400 años BP, aunque su acumulación se sigue viendo afectada por la influencia de las condiciones climáticas reinantes durante el tiempo de la deposición.

La tabla VI refleja la acumulación total de diversos elementos, ocurrida en la turbera ombrotrofica de PDC durante los últimos 4.000, 500 y 300 años. El hierro es el elemento dominante, con unos  $3.000 \text{ kg ha}^{-1}$ , seguido de Br y Ti con  $300\text{-}430 \text{ kg ha}^{-1}$ . El Zn, Pb, Sr, Zr, y Cr, tienen una acumulación de entre  $10$  y  $40 \text{ kg ha}^{-1}$ , mientras que los demás elementos presentan acumulaciones entre los  $2$  y  $8 \text{ kg ha}^{-1}$ . Así pues, la acumulación a largo plazo está dominada principalmente por el aporte de elementos litogénicos (Fe, Ti) procedentes de la erosión de los suelos, y por los de origen marino (Br) que son aportados a la turbera debido a su proximidad a la costa. No obstante, cuando se consi-

dera la acumulación en épocas recientes (últimos 500 y 300 años) destacan elementos tales como el Zn, Mn, Pb y As, para los cuales entre la mitad y las tres cuartas partes de la acumulación total ha ocurrido en época histórica, o como el Cr, Ni y Cu para los cuales entre la cuarta parte y la mitad de la acumulación es reciente. Es decir, los datos revelan una importancia creciente de los procesos de contaminación atmosférica por actividades humanas. Por otro lado, además de la influencia global y regional en la deposición de metales aportados por vía atmosférica, estos resultados también evidencian la acción de fuentes locales de contaminación. Las emisiones de la central térmica de As Pontes, situada en las cercanías de la Serra do Xistral, en funcionamiento desde finales de la década de los años 70 del siglo XX, podrían ser responsables de las elevadas concentraciones de metales como Pb, Hg, Mn, Zn o As, encontradas en las capas más superficiales de turba.

## CONCLUSIONES

Las turberas son ecosistemas comunes en las regiones montañosas del noroeste de la Península Ibérica. Se formaron en áreas que estuvieron sometidas a la acción de los glaciares, generalmente por colmatación de depresiones, y por paludización en áreas oceánicas con alta precipitación y en áreas donde la acción humana indujo un flujo elevado de agua. Mientras que las turberas minerotróficas se pueden encontrar en todo el área de distribución de estos ecosistemas, las ombrotólicas de cobertor son exclusivas de los sectores oceánicos de las montañas septentrionales.

Las tasas de crecimiento de las turberas son similares a las encontradas en otras zonas del mundo donde estas formaciones ocupan amplias extensiones, aunque, en este caso, las tasas de descomposición son relativamente mas altas. Los ritmos de crecimiento en espesor dependen de la edad. La adición de masa por unidad de tiempo parece estar condicionada por la edad y el tipo de turbera y, para las formaciones más antiguas, tiende a ser más alta en las ombrotólicas que en las minerotróficas.

Entre sus propiedades físico-químicas destacan la baja densidad de la turba (un valor medio de  $0.2 \text{ Mg m}^{-3}$ ), una densidad de partículas media de  $1.5 \text{ Mg m}^{-3}$ , elevados contenidos en C orgánico (15-57 %) y cantidades variables de N (0.1-1.7%) y S (0.2-2.6%) totales, con fuertes variaciones en la acumulación dependientes de las condiciones ambientales en las que evolucionó la turbera. Existen niveles fábricos, hémicos y sápricos, aunque el grado de descomposición es bajo en los niveles de turba y relativamente alto en la transición al suelo mineral y en los horizontes A de los suelos basales –cuando éstos están presentes-. Con alguna excepción local, Mg y Ca son los cationes dominantes en el complejo de intercambio de las turberas ombrotólicas y Al y  $\text{H}^+$  en las minerotrófi-

cas, aunque existen variaciones con la profundidad en las turberas analizadas. La materia orgánica está fuertemente insaturada en metales, tendiendo a aumentar el grado de insaturación con la profundidad a medida que aumenta el grado de descomposición de la turba.

Trabajos recientes han demostrado que las turberas constituyen archivos de la deposición atmosférica de muchos metales y elementos traza procedentes tanto de fuentes globales como locales, pero, además, en ellas se encuentra información sobre la historia del cambio climático. Como han demostrado recientemente Martínez Cortizas *et al.* (1999), la acumulación de Hg y la especiación térmica de las formas de este metal acumuladas en los diferentes niveles de turba, guardan un registro de las condiciones de humedad y temperatura que caracterizaron el momento en que la deposición de este metal tuvo lugar.

Aunque es preciso realizar mucho más trabajo para lograr una mejor comprensión de estos ecosistemas únicos, tanto en cantidad de turberas analizadas, como en calidad y variedad de análisis (otros metales y elementos traza, más dataciones y más precisas, especiación y movilidad de metales en la turba, caracterización de los componentes orgánicos, etc.), es conveniente destacar la necesidad de protección y conservación para el futuro de estos ecosistemas, por su importancia ecológica, la especial flora que los coloniza y la fauna que los habita y por su papel en la regulación de los sistemas hidrológicos de las áreas en que se ubican. Si cada uno de estos motivos por separado es suficiente para justificar una especial atención, cuidado y vigilancia de estos ecosistemas, en ellos se oculta un largo registro de la historia del clima del pasado, de la actividad del hombre y de su influencia en las condiciones ambientales y en el Cambio Global. Aunque parte de este registro ha comenzado a ser des-

cifrado en tiempos recientes, queda gran cantidad de información todavía oculta en las turberas y es responsabilidad de todos que no se pierda para ésta y para futuras generaciones.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado en parte por la Consellería de Educación e Ordenación Universitaria de la Xunta de Galicia (proyectos XUGA20001A95 y XUGA200010B98). Los autores agradecen los útiles comentarios y contribuciones de Peter Buurman y Ed Meijer, Department of Soil Science and Geology, Universidad de Wageningen, Holanda; Ward Chesworth, Land Resource Science Department, Universidad de Guelph, Canada; Felipe Macías y Carmina Nieto, Departamento de Edafología y Química Agrícola, Universidad de Santiago de Compostela; Steve Norton, Bryan Global Science Center, Universidad de Maine, Estados Unidos; William Shotyk, Institute of Geology, Universidad de Berna, Suiza; y Domink Weiss, Imperial College, Londres, Inglaterra.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aaby, B. (1986). Paleoeological studies of mires. En B.E. Berglund (ed) "*Handbook of Holocene palaeoecology and paleohydrology*", 145-164. John Wiley & Sons, New York.
- Aira, M.J. (1986). *Contribución al estudio de suelos fósiles, de montaña y antropógenos de Galicia, por análisis polínico*. Tesis Doctoral. Fac. Farmacia. Univ. Santiago de Compostela.
- Aira, M.J., Saa, P., López, P. (1992). Cambios del paisaje durante el Holoceno: análisis de polen en turberas (Galicia, España). *Revue Paléobiologie* **11**, 243-254.
- Bellot, F., Vieitez, E. (1945). Primeros resultados del análisis polínico de las turberas galaicas *Anal. Inst. Edafol. Ecol. & F. Veget.* **2**, 281-303.
- Benito, E., Soto, B., Díaz-Fierros, F. (1991): *Soil erosion studies in NW Spain*. En M. Sala, J.L. Rubio y J.M. García-Ruiz (eds) "Soil Erosion Studies in Spain", 55-74. Geoforma Ediciones, Logroño.
- Botch, M.S., Masing, V.V. (1983). Mire ecosystems in the USSR. En J.P. Gore (ed) "*Ecosystems of the world, 4B, Mires: swamp, bog, fen and moor, Regional Studies*", 95-152. Elsevier, Amsterdam.
- Chambers, F. (1988). Archaeology and the flora of the British Isles: The moorland experience. En M. Jones "*Archaeology and the Flora of the British Isles*", Oxford University Committee for Archaeology, Monograph **14**, 107-115.
- Cheburkin, A. K., Shotyk, W. (1996). An energy - dispersive miniprobe multielement analyzer (EMMA) for direct analysis of Pb and other trace elements in peat. *Fresenius J. Anal. Chem.* **354**, 688-691.
- Clymo, R.S. 1983. Peat. En: Gore, A.J.P. (ed.), "*Mires: Swamp, Bog, Fen and Moor*". Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, 159-224.
- Clymo, R.S. (1984). The limits to peat growth. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B* **303**, 605-654.
- Damman, A.W.H. (1988). Regulation of nitrogen removal and retention in Sphagnum bogs and other peatlands. *Oikos* **51**, 291-305.
- Dimbleby, G. W. (1985). *The palynology of archaeological sites*. Academic Press. London.
- Driessen, P.M. (1978). Peat soils. *Soils & Rice*. 763-779.

- Eggelsmann, R.; Heathwaite, A.L.; Grosse-Brauckmann, G.; Kuster, E.; Naucke, W.; Schuch, M. & Schweickle, V. 1993. Physical processes and properties of mires. Mires: definitions and form. En: Heathwaite, A.L. & Göttlich, Kh. (eds.), "Mires: process, exploitation and conservation". John Wiley & Sons Ltd., Chichester, England, Cap.4, pp:171-262.
- European Commission. (1996). *Interpretation manual of European Union Habitats*. European Commission, DG XI – Environment, Nuclear Safety and Civil Protection.
- F.A.O. (1990). *Soil Map of the World. Revised legend*. FAO, Rome.
- Fernández Rodríguez, C., Ramil Rego, P. (1995). Fechas  $^{14}\text{C}$  en yacimientos arqueológicos, depósitos orgánicos y suelos de Galicia. *Gallaecia* **13**, 433-445.
- Glooschenko, W.A., Capobianco, J.A. (1982). Trace element composition of Northern Ontario peats. *Environ. Sci. & Technol.* **16**, 187-188.
- Gorham, E. (1991). Northern peatlands: role in the carbon cycle and probable responses to climate warming. *Ecological Applications* **1**, 182-195.
- Gorham, E. 1995. The biogeochemistry of northern peatlands and its possible responses to global warming. En: Gorham, E.; Woodwell, G.M. & Mackenzie, F.T. (eds.), *Biotic feed backs in the global climatic system*. Oxford University Press, Oxford. Cap.9:169-186.
- Hemond, H.F. (1980). Biogeochemistry of Thoreau's Bog, Concord, Massachusetts. *Ecological Monographs* **50**, 507-526.
- Janssen, C.R. (1994). Palynological indications for the extent of the impact of man during Roman times in the western part of the Iberian Peninsula. En B. Frenzel (ed) *Evaluation of land surfaces cleared from forest in the Mediterranean region during the time of the Roman empire*, Palaeoclimate Research, 15-22. Gustav Fischer, Stuttgart.
- Jato, M.V. (1974). *Contribución a la cronología de suelos por análisis de polen*. Tesis Doctoral. Fac. Ciencias. Univ. Santiago de Compostela.
- Kossel, U. (1996). Problemas geomorfológicos acerca de la determinación del máximo avance glaciar en la Sierra de Ancares (León-Lugo-Asturias). En A. Pérez-Alberti, P. Martini, P., W. Chesworth, A. Martínez-Cortizas, (eds), *Dinámica y Evolución de Medios Cuaternarios*, 131-142. Xunta de Galicia.
- Laplainen, E. (1997). *Global Peat Resources*. International Peat Society, Unesco, Geological Survey of Finland. Jyska, Finland. 368 pp.
- Leirós, M.C. (1979). *Suelos hidromorfos en Galicia*. Tesis Doctoral. Fac. Biología. Univ. Santiago de Compostela. 327 pp.
- Lynn, W.C., McKinzie, W.E., Grossman, R.B. (1974), Field laboratory tests for characterization of Histosols. En A.R. Aandahl, S.W. Buol, D.E. Hill, H.H. Bailey (eds) *Histosols: their characteristics, classification, and use*, Soil Sci. Soc. Am., Inc, Madison, Wisconsin, 11-20.
- Majakova, E. F., Proskurjakov, V. A. (1972). Some ways of complex chemical processing of peat *Proc. 4<sup>th</sup> Intern. Peat Congress*, Otaniemi, Finland, **IV**, 235-238.
- Martínez Cortizas, A. (1996). Evolución de los suelos durante el cuaternario reciente en las Sierras Septentrionales de Galicia (NW España). En A. Pérez Alberti y A. Martínez Cortizas "Avances en la Reconstrucción Paleambiental de las Áreas de Montaña Lucenses", 137-161, Diputación Provincial de Lugo. Lugo.
- Martínez Cortizas, A., Moares Domínguez,

- C. (1995). *Edafología y Arqueología: estudio de yacimientos arqueológicos al aire libre en Galicia*. Consellería de Cultura. Xunta de Galicia. 199 pp.
- Martínez Cortizas, A., Pérez Alberti, A. (coords). 2000. Atlas Climático de Galicia. Consellería de Medio Ambiente, Xunta de Galicia. 210 pp.
- Martínez Cortizas, A., Ramil Rego, P., García-Rodeja, E., Moares Domínguez, C. (1993). Suelos de montaña y ciclos de estabilidad/inestabilidad de las vertientes en Galicia. En A. Pérez Alberti, L. Guitián Rivera y P. Ramil "La Evolución del Paisaje en las Montañas del Entorno de los Caminos Jacobeos", 107- 123. Xunta de Galicia.
- Martínez Cortizas, A., Pontevedra-Pombal, X., Nóvoa-Muñoz, J. C., García-Rodeja, E. (1997). Four thousand years of atmospheric Pb, Cd and Zn deposition recorded by the ombrotrophic peat bog of Penido Vello (Northwestern Spain). *Water Air and Soil Pollution* **100**, 387-403.
- Martínez Cortizas, A., Pontevedra-Pombal, X., García-Rodeja, E., Nóvoa-Muñoz, J. C., Shotyk, W. (1999). Mercury in a Spanish peat bog: archive of climate change and atmospheric metal deposition. *Science* **284**, 939-942.
- Martínez Cortizas, A., Pérez Alberti, A., Franco Maside, S., García-Rodeja, E. (2000). Evolución del paisaje durante el Holoceno en Galicia (NW de la Península Ibérica). En F. Díaz del Olmo, D. Faust y A.I. Porras "Environmental Changes During the Holocene", 61-64. INQUA – Commission of the Holocene.
- Molinero, A., Polo, A., Dorado, E. (1984). Características físico-químicas de la turbera de Vivero (Lugo). *Anal. de Edaf. & Agrobiol.* **43**, 1107-1122.
- Moore, P.D. (1975). Origin of blanket mires. *Nature London* **256**, 267-269.
- Moore, P.D. (1984). *European mires*. Academic Press, London.
- Moore, P.D. (1986). Hydrological changes in mires. In: Berglund, B.E., (ed) *Handbook of Holocene palaeoecology and palaeohydrology*, John Wiley & Sons Ltd., 91-107.
- Motzkin, G. (1994). Calcareous fens of western New England and adjacent New York State. *Rhodora* **96**, 44-68.
- Pérez Alberti, A., Covelo, P. (1996). Reconstrucción paleoambiental de la dinámica glaciaria del Alto Bibei durante el Pleistoceno reciente a partir del estudio de los sedimentos acumulados en Pías (Noroeste de la Península Ibérica). En A. Pérez-Alberti, P. Martini, W. Chesworth, A. Martínez Cortizas (eds), *Dinámica y Evolución de Medios Cuaternarios*, 115-130. Xunta de Galicia.
- Pontevedra-Pombal, X. (1995). *Histosoles de la Serra dos Ancares (Galicia)*. Tesis de Licenciatura. Dpto. Edafología, Fac. Biología, Univ. Santiago de Compostela.
- Pontevedra Pombal, X., García-Rodeja, E., Martínez Cortizas, A. (1996a). Caracterización edafo-geomorfológica de las turberas del as "Serras Orientais" de Galicia. En A. Pérez Alberti, P. Martini, W. Chesworth, A. Martínez Cortizas (eds) "Dinámica y Evolución de Medios Cuaternarios" 243-259. Xunta de Galicia.
- Pontevedra Pombal, X., Martínez Cortizas, A., García-Rodeja, E. (1996b). Caracterización físico-química de depósitos orgánicos en la Serra dos Ancares (NW Ibérico): origen y evolución. En A. Pérez Alberti y A. Martínez Cortizas (eds) "Avances en la Reconstrucción Paleomabiental de las Áreas de Montaña Lucenses", 91-119, Diputación Provincial de Lugo. Lugo.

- Puga, M. (1982). *Suelos sobre gabros en Galicia*. Tesis Doctoral. Fac. Biología. Univ. Santiago de Compostela.
- Ramil, P. (1993). La vegetación cuaternaria de las Sierras Septentrionales de Lugo a través del análisis polínico. Tesis Doctoral. Facultad de Biología, Universidad de Santiago de Compostela.
- Ramil, P., Aira Rodríguez, M.J. (1993). Estudio de la turbera de Pena Veira (Lugo). *Anales Jardín Botánico de Madrid* **51**, 111-122.
- Ramil, P., Taboada Castro, M.T., Aira Rodríguez, M.J. (1993). Estudio palinológico y factores de formación de la turbera de Gañidoira (Lugo, España). En M.P. Fumanal y J. Bernabeu "Estudios sobre Cuaternario: Medios Sedimentarios, Cambios Ambientales, Hábitat Humano", 191-197. Departament de Geografia, Universidad de Valencia – Asociación Española para el Estudio del Cuaternario.
- Ramil, P., Aira, M.J., Taboada, M.T. (1994). Análisis polínico y sedimentológico de dos turberas en las Sierras Septentrionales de Galicia (N.O. de España). *Rev. Paléobiologie* **13**, 9-28.
- Ramil, P., Rodríguez Oubiña, M.A., Muñoz Sobrino, C. (1996). Distribución, génesis y caracterización botánica de las turberas ombrotóricas de Galicia. *XII Biental de la Real Sociedad Española de Historia Natural, Tomo Extraordinario – 15 Aniversario*, 253-256.
- Rochette, A.M. (1992). O Homen e o meio no Holocénio portugués. Paleo-ambientes e erosao. *Mediterráneo* **1**, 89-109.
- Rochette, A.M., Deneffe, M., Vergne, V. (1991). L'importance du facteur anthropiques dans l'apparition des milieux tourbeux; l'exemple des Montagnes Occidentales du centre-nord du Portugal. *Cadernos de Geografia*, 10. IEG, Coimbra.
- Rodríguez Oubiña, J. (1986). *Estudio fitosociológico de las brañas de la provincia de A Coruña*. Tesis Doctoral, Fac. Farmacia, Univ. Santiago de Compostela.
- Shotyk, W. (1996). Peat bog archives of atmospheric metal deposition: geochemical evaluation of peat profiles, natural variations in metal concentrations and metal enrichment. *Environ. Rev.* **4**, 149-183.
- Soil Survey Staff. (1997). *Keys to Soil Taxonomy*. Soil Conservation Service, USDA. Pocahontas Press, Inc.
- Stieperaere, H., Rodríguez Oubiña, J., Izco, J. (1988). Distribution and ecology of *Sphagnum pylaesii* Brid. in Northern Spain. *J. Bryol.* **15**, 199-208.
- Taboada, M.T., Aira, M.J., Diaz-Fierros, F. (1993). Formación de turberas en la Sierra de O Bocelo. Relación con las condiciones paleoambientales del holoceno. *Cuad. Lab. Xeol. Laxe*, **18**, 365-377.
- Taylor, J. A., Smith, R. T. (1972). Climatic peat - a misnomer? *Proc. 4<sup>th</sup> Intern. Peat Congress*, Otaniemi, Finland **1**, 471-484.
- Tolonen, K. (1979). Peat as a renewable resource: long-term accumulation rates in North European mires. *Procc. Intern. Symp. Classification of Peat and Peatlands*, 282-296. Hyytiala, Finland. Internatinoal Peat Society, Helsinki, Finland.
- Tornqvist, T.E., Joosten, J.H.J. (1988). On the origing and development of Subatlantic "man-made" mire in galicia (northwest Spain). *Procc. of the 8<sup>th</sup> Intern. Peat Congress* **1**, 214-224. Leningrad.
- Tornqvist, T.E., Janssen, C.R., Pérez-Alberti, A. (1989). Degradación antropogénica de la vegetación en el noroeste de Galicia durante los últimos 2500 años. *Cuadernos de Estudios Gallegos* **38**, 175-198.

- Torras Troncoso, M. A. (1982). *Aplicación del análisis polínico a la datación de paleosuelos en Galicia*. Tesis Doctoral. Dpto. Biol. Vext. Fac. Biología. Univ. Santiago de Compostela.
- Valcárcel, M. (1996). Aportaciones al estudio de los procesos glaciares y periglaciares en el Galicia (NW de la Península Ibérica): estado de la cuestión. En A. Pérez Alberti y A. Martínez Cortizas (eds) "Avances en la Reconstrucción Paleoambiental de las Áreas de Montaña Lucenses", 11-38. Diputación Provincial de Lugo. Lugo.
- Valcárcel, M. (1999). *Evolución geomorfológica y dinámica de las vertientes en el noroeste de Galicia: Importancia de los procesos de origen frío en un sector de las montañas lucenses*. Tesis de Doctorado, Departamento de Geografía, Universidad de Santiago.
- Van der Brink, L. M., Janssen, J. M. (1985). The effect of human activities during cultural phases on the development of montane vegetation in the Serra da Estrela, Portugal. *Rev. Palaeob. Palyn.* **44**, 193-215.
- Van Lierop, W. (1981). Laboratory determination of field bulk density for improving fertilizer recommendations of organic soils. *Can. J. Soil Sci.* **61**, 475-482.
- Van Mourik, J.M. (1986). *Pollen profiles of slope deposits in the Galician area (N.W. Spain)*. Nederlandse Geografische Studies **22**, 171 pp.
- Weiss, D., Shotyck, W., Cheburkin, A. K., Gloor, M. (1998). *Analyst* **123**, 2097-2102.
- Zak, D.R. & Grigal, D.F. (1991). Nitrogen mineralization, nitrification and denitrification in upland and wetland ecosystems. *Oecologia* **88**, 189-196.
- Zurek, S. (1976). The problem of growth of the Eurasia Peatlands in the Holocene. *Procc. Fifth Intern. Peat Congress* **2**, 99-122. Poznan, Poland. International Peat Society, Helsinki, Finland.