

- IRIARTE CHIAPUSSO, M.J.; MUÑOZ SOBRINO, C.; RAMIL REGO, P. & RODRÍGUEZ GUTIÁN, M.A. (2001). Análisis palinológico de la turbera de San Mamés de Abar (Burgos). In: M.A. FOMBELLA, D. FERNÁNDEZ & R.M. VALENCIA (eds). *Palinología: diversidad y aplicaciones*, pp. 87-93. Serv. Pub. Univ. León, León.
- MENÉNDEZ AMOR, J. (1968). Estudio esporo-polinico de una turbera en el valle de la Nava (provincia de Burgos). *Bol. Real Soc. Esp. Hist. Nat. Secc. Geol.* 66:35-39.
- MUÑOZ SOBRINO, C. (2001). *Cambio climático y dinámica del paisaje en las montañas del noroeste de la península*. Tesis Doctoral. Univ. Santiago de Compostela.
- MUÑOZ SOBRINO, C.; RAMIL REGO, P.; DELIBES DE CASTRO, G. & ROJO GUERRA, M. (1996). Datos paleobotánicos sobre la turbera de La Piedra (Páramo de Tozo, Burgos). In: P. RAMIL REGO, C. FERNÁNDEZ RODRÍGUEZ & M.A. RODRÍGUEZ GUTIÁN (coord.). *Biogeografía Pleistocena-Holocena de la Península Ibérica*, pp. 149-162. Xunta de Galicia, Santiago de Compostela.
- NAVARRO ANDRÉS & VALLE GUTIÉRREZ, C.J. (1987). CASTILLA-LEÓN. In: M. PEINADO LORCA & S. RIVAS MARTÍNEZ (eds) *La vegetación de España*, pp. 47-76. Univ. Alcalá. Serv. Pub.
- RAMIL-REGO, P. (1992). *La vegetación cuaternaria de las Sierras Septentrionales de Lugo a través del análisis polínico*. Tesis Doctoral. Univ. Santiago.

- RAMIL-REGO, P. (1993). Evolución climática e historia de la vegetación durante el Pleistoceno Superior y el Holoceno en las regiones montañosas del Noroeste Ibérico. In: A. Pérez et al. (eds). *La evolución del paisaje en las montañas del entorno de los Caminos Jacobeos*, pp. 25-60. Xunta de Galicia. Santiago de Compostela.
- RAMIL-REGO, P.; AIRA RODRÍGUEZ, M.J. & TABOADA CASTRO, T. (1994). Análisis polínico y sedimentológico de dos turberas en las Sierras Septentrionales de Galicia (Noroeste de España). *Rev. Paléobiol.* 12(1):9-28.
- RAMIL-REGO, P.; MUÑOZ-SOBRINO, C.; RODRÍGUEZ-GUTIÁN, M. & GÓMEZ-ORELLANA, L. (1998). Differences in the vegetation of the North Iberian peninsula during the last 16.000 years. *Plant Ecol.* 138:41-62.
- RIVAS MARTÍNEZ, S.; GANDULLO GUTIÉRREZ, J.M.; SERRADA, R.; ALLUÉ ANDRADE, J.L.; MONTERO BURGOS, J.L. & GONZÁLEZ REBOLLAR, J.L. (1987). *Memoria del mapa de series de vegetación de España*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. ICONA. Serie Técnica. Madrid.
- RIVAS MARTÍNEZ, S.; LOIDI ARREGUI, J.; COSTA TALENS, T.E.; DÍAZ GONZÁLEZ, T.E. & PENAS MERINO, A. (1999). *Iter ibericum A.D. MIM. (Excusus geobotanicus per Hispanium et Lusitaniam, ante XLII Symposium Societatis Internationalis Scientiae Vegetationis Bilbao mese Iulio celebrandum dicti Anni)*. *Itinera Geobot.* 13:5-348.

EVOLUCION PALINOLOGICA DE TURBAS HOLOCENAS EN UNA LITHALSA DE LA MESETA DE HAUTES - FAGNES (BELGICA)

Vargas-Ramírez, V.L.

Service de Paléontologie Végétale, Université de Liège,
Sart Tilman, B18, 4000 - Liège 1, Belgique.
Herbario Nacional de Bolivia, Universidad Mayor de San Andrés,
Casilla - 10077, La Paz, Bolivia.

(Manuscrito recibido el 28 de Septiembre de 2002, aceptado el 5 de Mayo de 2003)

RESUMEN: La meseta de Hautes - Fagnes, situada en el este de Bélgica donde la máxima altitud alcanza los 694 m (Botrange), presenta varias turberas entre las cuales se encuentra la fagne de Deux-Séries, la misma que cubre una extensión de 935 ha. Durante la prospección efectuada con un radar de subsuelo (G.P.R.) se detectó un vestigio de lithalsa en la fagne de Deux-Séries, estudio que presentamos en esta oportunidad. Mediante la extracción de sedimentos de turba y de limo obtenidos hasta una profundidad de 420 cm, el estudio palinológico demuestra que la lithalsa inició su proceso de llenado al final del Dryas Reciente (± 11.500 B.P.) y prosiguió hasta el principio del Atlántico (± 8.900 B.P./ ± 4.700 B.P.) época durante la cual la turba desbordó de la cubeta (lithalsa). A partir del diagrama esporo-polinico obtenido fue posible interpretar y esquematizar de forma paralela, tanto el proceso de formación de la lithalsa así como la evolución del medio ambiente regional, siguiendo la sucesión climática llevada a cabo desde el período Dryas Reciente hasta el período Subatlántico.

PALABRAS CLAVE: Hautes-Fagnes, Deux-Séries, lithalsa, radar de subsuelo, Holoceno.

SUMMARY: The Hautes-Fagnes Plateau located in Eastern Belgium with a maximum altitude of 694 m (Botrange) is covered by peat bogs among which the "Deux-Séries" extends across an area of 935 ha. Prospection carried out with subsurface radar (GPR) has detected the remnant of a lithalsa in the "Deux-Séries" peat bog. This is the subject of the present paper. The palynological analysis of a 420 cm succession of silt and peat extracted from the lithalsa indicates that the filling process began at the end of the Younger Dryas (± 11.500 BP) and during the Atlantic ($\pm 8.900/\pm 4.700$ BP) when peat extended beyond the lithalsa structure. The pollen diagram obtained, has allowed interpreting and reconstructing the process of the lithalsa formation as well as the evolution of the regional environment and climate from the Younger Dryas to the Subatlantic.

KEY WORDS: Hautes-Fagnes, Deux-Séries, lithalsa, GPR, Holocene.

INTRODUCCION

En Bélgica, las mesetas de alto Ardenas comprenden varias turberas que son consideradas como reservas biológicas de importancia europea. Entre las varias turberas si-

tuadas entre 500 y 694 m de altitud, se encuentra la fagne de Deux-Séries, ella forma un complejo turboso que en la actualidad lamentablemente se encuentra fuertemente degradado debido a los drenajes intensivos y a incendios repetitivos.

En la fagne de Deux-Séries fue implementada una prospección sistemática utilizando un radar de subsuelo (GPR), WASTIAUX *et al.*, (1998), técnica mediante la cual fueron detectados numerosos vestigios de lomas periglaciares denominadas «lithalsas», de entre ellas una fue seleccionada para nuestro estudio.

En el marco de las investigaciones paleoecológicas de la Reserva y particularmente de la fagne de Deux-Séries, el presente trabajo tiene por objeto el estudio de la evolución palinológica de la turba del vestigio de la lithalsa seleccionada. Determinar la edad máxima de su formación; determinar a que edad la turba inició el llenado de la lithalsa siguiendo la evolución local y regional de la vegetación mediante el estudio de polenes y esporas y describir los eventos palinoclimáticos producidos regional y localmente

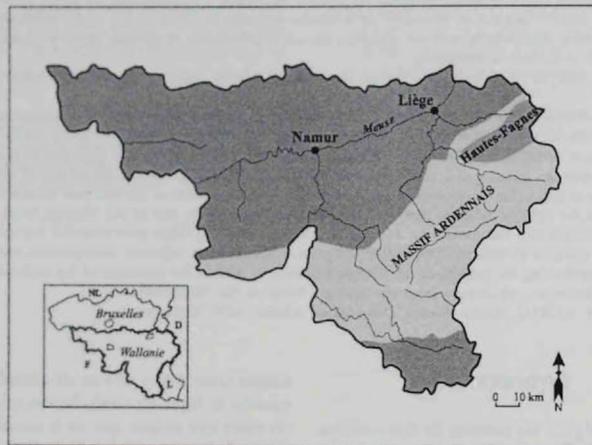


FIGURA 1. Situación geográfica de Hautes Fagnes.

en el curso del llenado de la cubeta por la turba, son los objetivos a alcanzar en este estudio.

PRESENTACION DEL MEDIO

La meseta de Hautes-Fagnes situada en el este de Bélgica (Fig.1), presenta una gran variedad de depósitos turbosos y paraturbosos en general situados sobre suelos a pseudogley, según DAMBLON (1994). La Figura 2 muestra la extensión de estas turberas.

El clima de la región es frío y lluvioso, con vientos provenientes del oeste predominantemente húmedos, la frecuencia y duración de las neblinas caracterizan la meseta, los registros muestran 120 días de hielo y 169 días de neblina por año. Las precipitaciones anuales llegan a 1.450 mm en Mont-Rigi, la tem-

peratura media anual es de 6,2°C, se registra una media en enero de -1,2°C y una media de 13,8°C en julio (HINDRYCKX 2000).

En Hautes-Fagnes la roca madre está formada esencialmente de filitas, esquistos y sobre todo de cuarzofilitas y cuarcitas, que pertenecen al macizo Cambro-Ordovícico de Stavelot (Revinien) constituyendo la base geológica de las turberas de la fagne de Deux-Séries (Fig. 2). Los suelos son mayormente de tipo limoso y limoso-pedregoso, sin embargo, los suelos ácidos mull, moder y mor están muy extendidos.

La vegetación forestal de Hautes-Fagnes consiste esencialmente en plantaciones de *Picea* y algunas otras especies de árboles como *Fagus*, *Quercus* y *Betula* están presentes, aunque en poca cantidad, praderas permanentes se ven repartidas entorno a aldeas periféricas donde las granjas están protegidas de los fuertes vientos por cercos podados de *Fagus*, (DAMBLON, 1978).

La vegetación potencial de la fagne de Deux-Séries determinada según el tipo de suelos, es en gran parte una turbera alta a *Sphagnum*, existen también dispersos en el perímetro algunos ejemplares de *Alnus* y de *Betula* y algunos islotes de *Quercus* y *Fagus*, JORTAY (1988). La revisión de una zona de 70 ha del mapa fitosociológico confeccionado por STREEL & SCHUMACKER entre 1955 y 1959 (original no publicado), fue descrita por STREEL (1959 a,b); SCHUMACKER (1972) y por WASTIAUX (1990), demostrando la existencia de una fulgurante expansión de *Molinia caerulea*, especie que actualmente ocupa casi la totalidad del espacio, la fuerte regresión de las asociaciones turfígenas y la abundancia de especies mesotróficas como *Sphagnum fimbriatum*, *S. palustre* y *S. flexuosum*. Localmente, especies como *Carex limosa*, *C. pulicaris*, *C. dioica*, *Menyanthes*

trifoliata y *Phragmites australis* muestran los signos evidentes de mineralización del medio, SCHUMACKER (1980); SCHUMACKER *et al.*, (1974), la presencia de especies típicas de turberas altas oligotróficas es notable, entre ellas *Eriophorum vaginatum* y *Vaccinium oxycoccus*. En las landas con turbas se encuentran *Scirpus cespitosus* subsp. *Germanicus*, *Erica tetralix*, *Eriophorum angustifolium* en asociación con *Vaccinium vitis-idaea* y *Vaccinium uliginosum*; también las especies de la asociación *Nardo-Callunetea* (*Potentilla erecta*, *Luzula multiflora* subsp. *congesta*) y como reliquias forestales *Deschampsia flexuosa*, *Anemone nemorosa* y *Trientalis europaea* (HAMBUECKERS *et al.*, 1995).

LAS LOMAS PERIGLACIARES – PROCESO DE FORMACIÓN Y CRECIMIENTO

A las áreas periglaciares pertenecen las regiones frías de alta latitud y altitud, en las que el relieve está modelado por la acción del hielo. La proximidad de un glaciar no es necesario para que un territorio sea denomi-



FIGURA 2. ● Lugar de sondeo.

nado como periglaciario. Cuando el clima es suficientemente frío, existen partes del suelo que quedan expuestas durante mucho tiempo a temperaturas inferiores a 0°C, esas masas siempre congeladas son denominadas permafrost. Las regiones donde existen permafrost son regiones periglaciales; en alto Bélgica el permafrost existió hasta la transición Dryas reciente / Holoceno, es decir hace 11.630 años B.P. cal (GROOTES *et al.*, 1993).

En una zona de tundra en la que se encontraban dispersos permafrost discontinuos, situada al sud de la Inlandis Escandinava, entre 50° y 55° de latitud norte y entre las isoterma comprendidas entre -8°C y -1°C, se formaron las lithalsas durante el Dryas III, en forma de lomas criógenas sin turba, debidas a la aparición de hielo de segregación en los suelos limosos-pedregosos (PISSART *et al.*, 1998; PISSART, 2000).

PISSART (1987) describe el proceso de formación de las lomas periglaciales de la siguiente forma: el hielo de segregación se forma a partir de la congelación del agua que llega de las profundidades y es atraída hacia el frente del hielo, desplazándose a lo largo de las capilares entre las partículas del sustrato. Cuando el agua que se encuentra en las capilares y que es mantenida allí por la tensión superficial, congela, se produce una disminución del espesor de la película de agua y muestra una tendencia a reconstituirse, razón por la cual se capta el agua que esta libre, es decir aquella que llega de la dirección opuesta al hielo. Este es un fenómeno de criosucción. Si el agua succionada compensa el enfriamiento, la onda de hielo queda estacionaria y las lentejas del hielo de segregación crecen desde algunos milímetros hasta más de 15 cm de espesor.

Tres condiciones estrictas rigen la posibilidad de la aparición del hielo de segre-

gación: una humedad suficiente, una congelación lenta y un suelo limoso. La formación de este tipo de hielo, origina las lomas denominadas palsas (en las turberas), palsas minerales o lithalsas (en suelos limoso-pedregosos).

Estructuras periglaciales existen aún en nuestros días en Hudson (N de Quebec-Canadá), en Laponia (N de Europa) bajo temperaturas medias anuales comprendidas entre -4,3°C y -5,8°C (9,5°C a 11,7°C en verano; -22°C a -24°C en invierno). ISARIN (1997 a y b), estimó que la temperatura media anual para Hautes-Fagnes en la etapa de la formación de la lithalsa fue entre -5,0°C y -6,2°C. En la meseta los vestigios de lomas periglaciales son visibles sobre una extensión de aproximadamente 2.500 ha, es decir algo más de la mitad de la superficie de la reserva natural (4.000 ha). También se encuentran en la cresta de Malchamps y en la meseta de Tailles. En la fagne de Deux-Séries, cuando se realizó la prospección con el radar de subsuelo fueron detectados bajo la turba, más de cien de estos vestigios.

En la meseta de Hautes-Fagnes, la turba se formó después de la fusión del hielo de las lomas. En la última etapa de fusión, lo que se observa es una depresión rodeada de una muralla, semejante a la de los «pingos», pero con diferente proceso de formación del sub-suelo (JUVIGNÉ & PISSART, 1979). Las palsas son de dos tipos: palsas orgánicas si las lomas se forman en el interior de la turba y palsas minerales si se forman en un suelo limoso. La acumulación de observaciones hizo determinar que los «viviers» de Hautes-Fagnes son indicios de palsas minerales PISSART & JUVIGNÉ (1980), y recientemente PISSART *et al.*, (1998) propusieron el término «lithalsa» para designar a las lomas de Hautes-Fagnes en virtud de las características que ellas presentan.

MATERIAL Y MÉTODOS

La detección de la lithalsa estudiada fue realizada mediante la prospección que se hizo en la zona con un radar de subsuelo (GPR – Ground Penetrating Radar-), técnica de prospección geofísica poco profunda basada en la reflexión de una impulsión electromagnética (Fig. 3).

El sondeo se realizó utilizando una sonda de tipo ruso, obteniendo testigos de 50 cm de longitud y 5 cm de diámetro (JOWSEY, 1966), penetrando hasta una profundidad de 420 cm.

El muestreo para el tratamiento de laboratorio fue efectuado cada 5 cm, habiendo sometido los sedimentos al HF 40 %, luego al KOH 10 %, se efectuó la filtración con un tamiz de 12 µm, la tinción de los concentrados se realizó con safranina y se procedió al montaje de las placas permanentes para contar un mínimo de 200 granos por cada placa,

cantidad que no tomó en cuenta las esporas de *Sphagnum* que fueron contabilizadas por separado para ser incluidas en una columna específica en el diagrama.

Las dataciones ¹⁴C fueron realizadas por el «Centre for Isotope Research» de la Universidad de Groningen – Holanda.

Dos series de muestras fueron sometidas al proceso de calcinación (a 500°C) habiendo sido tomadas cada 2,5 cm. Las series fueron seleccionadas tomando en cuenta las capas que presentaban las reflexiones más fuertes en las imágenes del radar de subsuelo. (Fig. 3).

INTERPRETACION Y DISCUSION DE LOS RESULTADOS

Numerosos estudios palinológicos, granulométricos y de minerales densos fueron efectuados en la meseta de Hautes-

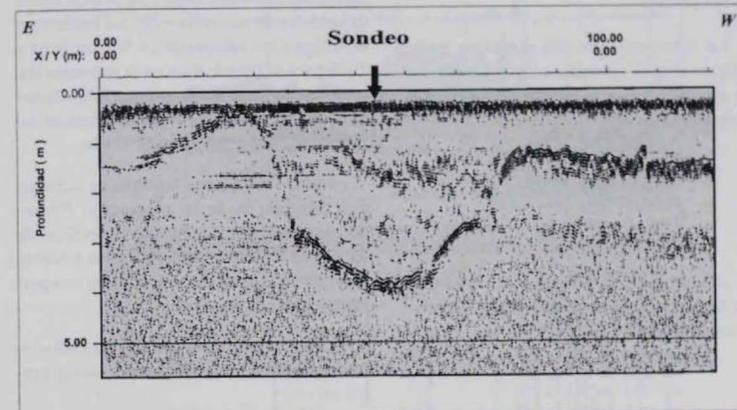


FIGURA 3. Perfil de la lithalsa estudiada, detectada por el radar de subsuelo.

ZONA III (295 a 198cm) aprox. de 9.000-8.000 BP

La zona III se caracteriza por una importante expansión de *Corylus* que llega a 83 % y por la sensible regresión de *Pinus* y *Betula*, así como de *Poaceae*.

Las dos sub-zonas IIIa y IIIb se destacan por la presencia marcada de *Salix* (18%); un pico de *Alnus* (18 %) en la primera sub-zona y una presencia continua de *Quercus* y *Ulmus* en la segunda son observados. Un nuevo pico de *Sphagnum* se presenta en el inicio de la sub-zona IIb.

ZONA IV (198 a 100cm) aprox. de 8.000-4.700 BP

La zona IV esta dominada por la presencia de *Betula* (54,8 %) y de *Alnus* (43,2 %), mientras que *Corylus* muestra una reducción progresiva en esta parte de la secuencia. *Pinus* concluye su curva, mientras que *Tilia* realiza su aparición.

Salix se presenta de manera irregular, en cambio *Quercus* evidencia una curva continua de bajo porcentaje (11,4 % como máximo).

La presencia de *Poaceae* es continua y sus porcentajes son variables. Los *Filicales* monoletes recomienzan su curva, pero esta vez de manera continua. *Myriophyllum* vuelve a aparecer con una tasa de 14,7 % y experimenta una pronta regresión. Las otras herbáceas registran muy bajos porcentajes. En el transcurso de esta zona, *Sphagnum* muestra un nuevo pico.

Carpinus y *Fagus* están presentes en esta zona, la presencia de *Carpinus* puede deberse a una contaminación, debido a que este taxón no se encuentra citado en los diagramas con los cuales se comparó el presente trabajo, en cambio en esta época, *Fagus* inicia su curva continua en la meseta de Hautes-Fagnes (WOILLARD, 1975).

ZONA V (100 a 37,5cm) aprox. de 4.700-2.700 BP

En la zona V se denota una presencia continua de los taxa arbóreos *Betula*, *Corylus*, *Alnus*, *Quercus*, *Tilia* y *Fagus*.

Pinus está muy poco representado en la sub-zona Vb (1,7 %), *Betula* desciende en porcentaje en ambas sub-zonas en relación a la zona anterior, llegando a frecuencias máximas que oscilan entre 16,6 % y 21,8 %, *Corylus* demuestra un apreciable incremento especialmente en Va, alcanzando 24,3 %, *Salix* con bajas tasas y de forma discontinua se encuentra en ambas sub-zonas. *Alnus* con incrementos y descensos de tasas, llega a 25,5 % en la sub-zona Va y a 22,4 % en la sub-zona Vb. *Fagus* ligeramente presente en la sub-zona Va con 1,8 % e incrementando apreciablemente su tasa en la sub-zona Vb alcanzando 16,2 %.

Quercus con porcentajes cercanos en ambas sub-zonas (29,2 % en Va y 30,2 % en Vb), *Ulmus* solo con representación en la sub-zona Va (1,3 %) y *Tilia* en curva oscilante pero continua aunque en baja frecuencia (4,4 % en Va y 3,1 % en Vb), testimonian una nueva presencia del Quercetum mixtum ya mostrada en la zona II.

Poaceae está representada con el 44 % en Va manifestando su máximo alcance en la secuencia y con el 9,5 % en Vb, *Ericaceae* muestra una curva continua que llega a 23 % en la sub-zona Vb, Los *Filicales* monoletes con bajos valores (0,9 %) en ambas sub-zonas.

Sphagnum expone tres picos en esta zona, el primero integrado a la sub-zona Va (33,8 %) y los otros dos a la sub-zona Vb con valores de 22,9 % y 25,7 %.

ZONA VI (37,5 a 0cm) a partir de 2.700 BP

La zona VI está caracterizada por la mayor extensión de *Fagus* de la secuencia, cuyo porcentaje de 35,4 es el máximo registrado

para ese taxón. *Betula* con 23,7 % a nivel superficial del sondaje, *Alnus* representado con 19 % y *Quercus* con 11,9 % muestran curvas continuas, contrariamente a *Pinus*, *Corylus*, *Salix*, *Ulmus*, *Tilia*, y *Fraxinus*, taxa que presentan en esta zona curvas discontinuas con porcentajes que se encuentran entre 1,1 % y 9,1 %. En cuanto a *Carpinus*, el taxón realiza su aparición.

En cuanto a las herbáceas, *Poaceae* alcanza un 26,4 % en la superficie, *Cyperaceae* un 17,3 %, *Ericaceae* encuentra su máxima frecuencia en el inicio de la zona con 27,2 % y las otras herbáceas exhiben porcentajes bajos al igual que los *Filicales* monoletes.

Una apreciable elevación de la tasa de *Sphagnum* está presente en la zona VI, alcanzando un 42,4 %. (Fig. 4).

INTERPRETACIÓN ECOCLIMÁTICA DEL SONDEO

ZONA I (415 a 394cm)

En base a la interpretación cronológica del diagrama esporopolínico, consideramos que la zona I corresponde al Dryas Reciente, último estadio frío del Tardiglaciario. La notable predominancia de *Poaceae* y el apreciable porcentaje de *Cyperaceae*, herbáceas heliofilas, nos permite pensar en la existencia de un medio mesótrofo de clima frío donde observamos la presencia discreta de *Salix*, *Pinus* y *Betula*.

Los taxa citados también conforman la vegetación del Dryas III descrita por DAMBLON (1996), en la reconsideración que efectúa sobre el diagrama de Konnerzvenn, Hautes-Fagnes elaborado por BASTIN (1985).

ZONA II (394 a 295cm)

El nivel 394 cm marca la transición Dryas Reciente / Preboreal; este intervalo alcanza

su límite a 295 cm. Están presentes *Pinus*, *Betula* y *Salix*, existe una disminución de *Poaceae* marcando así un mejoramiento climático que favorece la instalación de un bosque ralo, pues los porcentajes de polenes arbóreos no son muy elevados.

En la zona IIb, la aparición de *Ulmus*, *Tilia*, *Quercus*, *Fraxinus* y *Alnus* marca sin duda una ligera mejora del clima permitiendo la lenta expansión de las especies componentes del Quercetum mixtum y al mismo tiempo un fuerte aumento de especies arbóreas.

La existencia de *Myriophyllum* y la fuerte extensión de *Sphagnum* indican un medio local (interior de la lithalsa) húmedo que se acidifica paralelamente al empobrecimiento en bases.

De la misma manera como cita GOTÉ (1990) en su estudio del depósito de Grand-Bongard en Hautes-Fagnes, el período se inicia con una leve mejora climática que se acentúa en la segunda parte del Preboreal, impulsando el incremento de especies termófilas coincidentes con las encontradas en nuestro análisis.

ZONA III (295 a 198cm)

El período Boreal se inicia a 295 cm y está caracterizado por una brusca y fuerte extensión de *Corylus*, por la reaparición de *Quercus* y *Ulmus* en curvas continuas. En cuanto a las herbáceas, *Poaceae* retroceden fuertemente y las *Cyperaceae* mantienen un porcentaje bajo; *Sphagnum* muestra un segundo máximo.

El conjunto vegetal descrito pone de manifiesto una fuerte dinámica forestal concordante con la descripción de STREEL (1959), debido al incremento en las precipitaciones, al aumento de la temperatura y a la existencia de suelos aún relativamente bien

drenados y ricos en bases intercambiables, especialmente en la zona IIIb.

Encontramos así mismo similitudes interesantes entre nuestro diagrama y la investigación de WOILLARD (1975), especialmente la aparición de las especies del *Quercetum mixtum* en la última parte del Preboreal y también en la segunda parte del Boreal.

ZONA IV (198 a 103cm)

La transición Boreal / Atlántico (198 cm) está marcada por un fuerte avance de *Alnus* y *Betula* y un aumento neto de especies del *Quercetum mixtum* (*Ulmus*, *Tilia*, *Quercus*, *Fraxinus* y *Alnus*), particularmente *Tilia* inicia una curva continua.

Pinus concluye su curva y *Corylus* disminuye fuertemente su frecuencia relativa.

Myriophyllum presenta una elevación de su porcentaje, las *Cyperaceae* continúan su representación y *Sphagnum* alcanza su tercer máximo en el diagrama.

La población forestal regional compuesta por *Alnus* y *Betula*, se desarrolla paralelamente a la extensión progresiva a nivel local de los suelos hidromorfos en las zonas de origen y brote de la napa freática, cabe destacar que este período es considerado como el óptimo climático holoceno.

Podemos establecer comparaciones con los datos de los trabajos de WOILLARD (1975) en Alto-Belgica (Brackvenn I a V y Konnerzvenn I), Grand-Bongard por GOTÉ *et al.*, (1990) y en Hautes-Fagnes por DAMBLON (1994), en los cuales los diagramas presentan curvas que comparan bien con las de nuestro trabajo.

ZONA V (103 a 37,5cm)

El período Subboreal está representado por el inicio de una curva continua de *Fagus*,

un nuevo incremento en el porcentaje de *Corylus*, el aumento notorio en los porcentajes de *Quercus* y la presencia constante de *Betula* y *Alnus*. En cuanto a las herbáceas, un pico de *Poaceae* en la transición Atlántico/Subboreal, la presencia de *Ericaceae* y los porcentajes oscilantes de *Cyperaceae* están mostrados en el diagrama.

Los taxa y sus frecuencias representadas en este período, muestran que al principio se produjo un recalentamiento climático, seguido de una disminución de la temperatura y un aumento en las precipitaciones expresado claramente en STREEL (1959) y constatado por los incrementos de *Sphagnum* en nuestro diagrama. La presencia de una apreciable tasa de *Poaceae* y de *Ericaceae*, permiten pensar en un posible comienzo de intervención humana en la región coincidiendo con lo enunciado en GOTÉ *et al.*, (1990).

ZONA VI (37,5 a 0cm)

El máximo aumento del porcentaje de *Fagus*, la aparición de *Carpinus*, la presencia de *Betula* y de *Alnus* junto a los reducidos y oscilantes porcentajes de *Fraxinus*, *Tilia*, *Ulmus* y *Salix* exponen el Subatlántico. La máxima tasa alcanzada por *Ericaceae*, los porcentajes notables de *Poaceae*, *Cyperaceae* y de otras herbáceas, en conjunto con un último incremento de *Sphagnum*, nos posibilitan reflexionar sobre el clima regional y local reinante en Hautes-Fagnes, hasta nuestros días.

Un clima oceánico ya esbozado al final del subboreal está instalado en este último período, las condiciones de humedad existentes, permiten la progresión de los taxa mencionados, sin embargo, la presencia de los elevados porcentajes de herbáceas parecen confirmar la posibilidad ya descrita en el Subboreal y mencionada por GOTÉ *et al.* (1990), respecto a la acelerada influencia

humana en la región, desmejorando consecuentemente las condiciones de permanencia de los bosques de antaño. (Fig. 5).

LOS ENSAYOS DE CALCINACION

PRIMERA SERIE

Las muestras comprendidas entre 100 cm y 200 cm de profundidad (Fig. 6), presentaron un alto porcentaje de materia orgánica que osciló entre 90 y 100 %.

Los porcentajes más elevados en materia mineral, con contenidos entre 8,7 y 10 %, fueron registrados entre los niveles 180 cm y 192,5 cm de profundidad, resultado que coincide con la reflexión observada en la imagen del radar de subsuelo, sin embargo es posible que la cantidad de muestra tratada ($\pm 0,78$ g) no hubiese sido suficiente para apreciar correctamente el porcentaje de materias minerales contenidas en las capas reflejadas por el radar, pues en los ensayos efectuados a la misma profundidad en una otra lithalsa de la fagne de Deux-Séries, se encontraron porcentajes mayores de materia mineral en la capa de fuerte reflexión del radar (WASTIAUX, com. pers., 1999).

SEGUNDA SERIE

La segunda serie muestreada entre 350 cm y 420 cm de profundidad registró porcentajes mayores de materia mineral que oscilaron entre 17,4 % y 94,68 % (Fig. 6).

Los datos porcentuales más altos fueron encontrados a profundidades comprendidas entre 397,5 cm y 420 cm, niveles en los que la distribución granulométrica mostró un suelo compuesto de arcilla y limo con cierta carga de grava.

Entre 350 cm y 397,5 cm el porcentaje de materia orgánica disminuyó progresivamente

hasta llegar a 23,66 %, por tanto la materia mineral incrementó proporcionalmente, este hecho corresponde en el análisis esporopolínico, al inicio del desarrollo de la vegetación en el interior de la lithalsa.

Entre 355 cm y 397,5 cm los aportes minerales provinieron de las paredes interiores de la lithalsa y se mezclaron o se intercalaron con los depósitos de materia orgánica, resultado confirmado a través de los análisis de minerales densos efectuados, en los cuales se obtuvieron contenidos comprendidos entre 50 % y 75 % de minerales de origen eólico. (Fig. 6).

CONCLUSIONES

El estudio palinológico de la secuencia sedimentaria y el análisis de la evolución del entorno, pone de manifiesto los siguientes puntos:

En la relación AP / NAP del diagrama, predominan los polenes arbóreos.

La zona I corresponde al período Dryas Reciente exponiendo una vegetación mayormente herbácea típica de una tundra, en cuyo suelo se desarrolló el permafrost discontinuo que al advenimiento de un clima más caliente dió paso al origen del vestigio periglacial denominado lithalsa.

La zona II concuerda con el tiempo Preboreal, el clima frío a templado y seco reinante, incentiva las primeras apariciones boscosas. La fusión del hielo de segregación permitió la formación de un pantano.

La zona III corresponde al tiempo Boreal con un clima templado que posibilita la continuación del desarrollo forestal, mientras en la lithalsa la turba inicia el proceso de sedimentación.

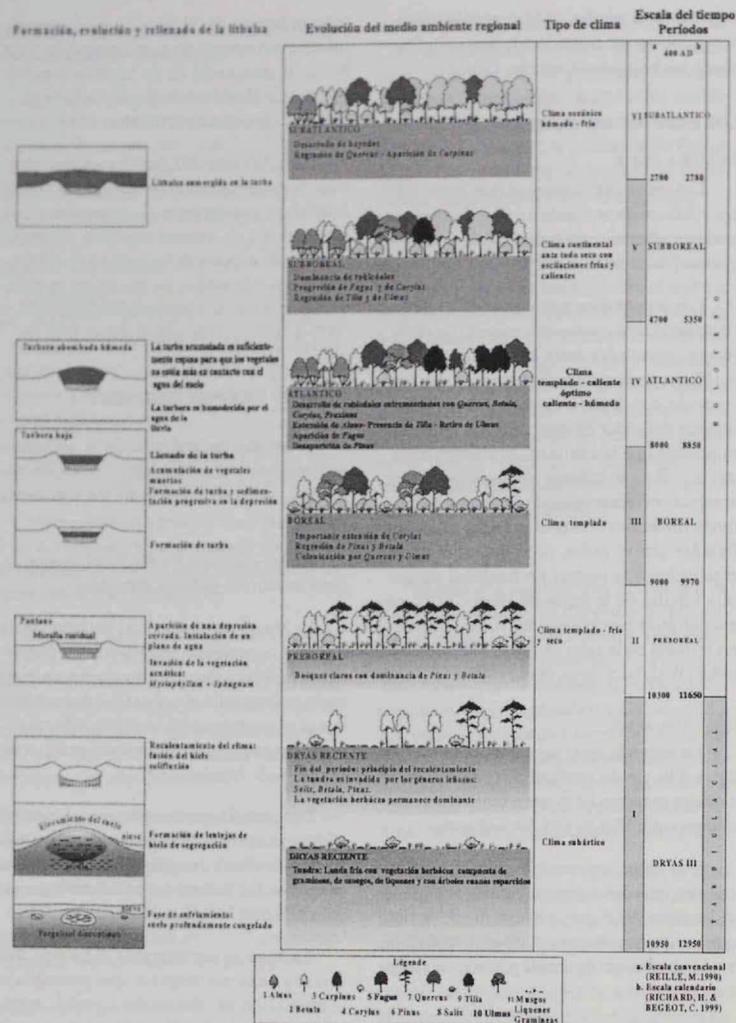


FIGURA 5. Evolución de la lithalsa y del medioambiente regional.

La zona IV constituida por el tiempo Atlántico, exhibe el óptimo climático (templado a caliente y húmedo), condiciones que permiten la diversificación y la extensión de los bosques, acentuando la turbificación en el interior de la lithalsa hasta su rebose.

La zona V caracterizada por el período Subboreal, en el cual se detectan alternancias climáticas deducidas a partir de los taxa forestales que aumentan y disminuyen, permiten determinar el establecimiento de un clima continental que aceleró en un determinado tiempo la producción de turba, la misma que desbordando de la lithalsa la recubrió con capas sucesivas.

La zona VI correspondiente al tiempo Subatlántico de clima oceánico (frío y húmedo), muestra un bosque alterado por la intervención humana, al interior del cual la lithalsa se identifica como un vestigio de formaciones generadas en el pasado, que aún

resguarda sedimentos que testimonian la composición del paisaje vegetal del pasado y de tiempos recientes.

Los contenidos de cenizas obtenidos en las calcinaciones, demuestran que:

La primera serie de muestras (100 cm a 200 cm de profundidad), presentan un bajo contenido de materia mineral, no obstante, entre 180 cm y 192,5 cm de profundidad los porcentajes aumentan levemente, hecho coincidente con el registro de fuerte reflexión en la imagen del radar de subsuelo.

En las muestras correspondientes a la segunda serie (350 cm a 420 cm de profundidad), se obtuvieron altos porcentajes de materia mineral, especialmente entre 397,5 cm y 420 cm, los mismos que llegan a 94,68 %, resultado que corrobora la intensidad de reflexión mostrada en el perfil del radar en esa misma profundidad.

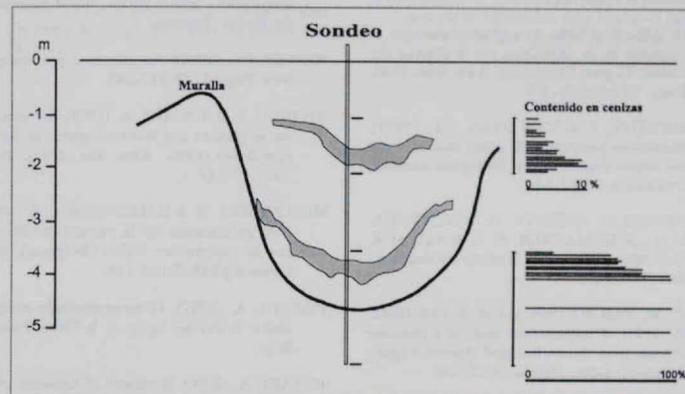


FIGURA 6. Niveles de fuertes reflexiones del radar.

REFERENCIAS

- BASTIN, B. (1985). Etude palynologique d'une couche de tourbe mise au jour dans le « rempart » d'une « palse » de la Konnerzvenn Hautes Fagnes 179-72-73.
- BASTIN, B., JUVIGNÉ, E., PISSART, A. & THOREZ, J. (1974). Etude d'une coupe dégagée à travers un rempart d'une cicatrice de pingo de la Brackvenn. *Ann. Soc. Géol. Belg.* 97:341-358.
- C.E.A.H. (Centre d'Ecologie Appliquée du Hainaut), (1998). L'excursion mycologique et géomorphologique dans le massif de Stavelot et les Hautes-Fagnes. *Bull. C.E.A.H.* 31:19-22.
- DAMBLON, F. (1976). Exposé d'une étude paléo-écologique de tourbières en Haute-Ardenne (Belgique). Séance doctorale, Univ. Louvain-la-Neuve.
- DAMBLON, F. (1978). Etudes paléo-écologiques de tourbières en haute Ardenne. Ministère de l'Agriculture, Administration des Eaux et Forêts, Service de la Conservation de la Nature, Travaux, 10:145 p.
- DAMBLON, F. (1994). Les dépôts tourbeux et l'histoire de la végétation sur le plateau des Hautes-Fagnes (Belgique). *Ann. Soc. Géol. Belg.* 117:259-276.
- DAMBLON, F. (1996). Les dépôts tourbeux et l'histoire de la végétation sur le Plateau des Hautes-Fagnes (Belgique). *Ann. Soc. Géol. Belg.* 117(2):259-276.
- FLORSCHÜTZ, F. & VAN OYEN, E.L. (1939). Recherches analytiques de pollen dans la région des Hautes-Fagnes belges. *Biologisch Jaarboek. Dodona* 6:227-234.
- FRANKARD, P., GHIETTE, P., HINDRYCKX, M.N., SCHUMACKER, R. & WASTIAUX, C. (1998). Eatlands of Wallony (S-Belgium). *Suo* 49:33-47.
- GOTJÉ, W., VAN WAYJEN, M.C.A. & VAN GEEL, B. (1990). A palynological study of a Holocene deposit from Grand-Bongard (Hautes-Fagnes, Belgium). *Geol. Mijnb.* 69:227-241.
- GROOTES, P.M., STUIVER, M., WHITE, J.W.C., JOHNSEN, S. & JOUZEL, J. (1993). Comparison of oxygen isotope records from the GISP2 and GRIP Greenland ice cores. *Nat.* 366:552-554.
- HAMBUCKERS, A.; SCHUMACKER, R.; REMACLE, J. & FRANKARD, PH. (1995). La présence de groupements végétaux à caractère mésotrophe au milieu des tourbières des Hautes-Fagnes (Belgique) est-elle liée à des intrusions de tonalité dans les couches reviniennes?. *Bel. J. Bot.* 128:48-56.
- HINDRYCKX, M. (2000). Evolution régressive récente de la végétation des tourbières hautes à sphaignes en haute Ardenne (Hautes-Fagnes, Belgique). Thèse doctorale, Univ. de Liège.
- ISARIN, R.F.B. (1997a). The climate in North-Western Europe during the Younger Dryas. A Comparison of Multi-Proxy Climate Reconstructions with Simulation Experiments. Drukkerij Elinkwijk, Utrecht.
- ISARIN, R.F.B. (1997b). Permafrost distribution and temperatures in Europe during the Younger Dryas. *Permafrost and Periglacial Processes* 8(3):313-333.
- JORTAY, A. (1988). Réserve naturelle domaniale des Hautes-Fagnes. Plan de gestion écologique. Fiche technique du secteur 5, Fagne des Deux-Séries, annexe (inédit, Station scientifique des Hautes-Fagnes).
- JOWSEY, P.C. (1966). An improved peat sampler. *New Phytol.* 65:245-248.
- JUVIGNÉ, E. & PISSART, A. (1979). Un sondage sur le plateau des Hautes-Fagnes, au lieu-dit «La Brackvenn». *Ann. Soc. Géol. Belg.* 102:277-284.
- MULLENDERS, W. & HAESSENDONCK, F. (1963). Note préliminaire sur la palynologie des pingos du plateau des Tailles (Belgique). *Ann. Géomorphol.* 7:165-168.
- PISSART, A. (1987). Géomorphologie périglaciaire. Textes des leçons de la Chaire Francqui belge.
- PISSART, A. (2000). Remnants of Lithalsas of the Hautes Fagnes, Belgium: A Summary of Present-day Knowledge. *Permafrost Periglacial Processes* 11:327-355.
- PISSART, A. & JUVIGNÉ, E. (1980). Genèse et âge d'une trace de butte périglaciaire (pingo ou palse) de la Konnerzvenn (Hautes-Fagnes, Belgique). *Ann. Soc. Géol. Belg.* 103:73-86.
- PISSART, A.; HARRIS, S.; PRICK, A. & VAN VLIET-LANOË, B. (1998). La signification paleoclimatique des lithalsas (palses minérales). *Biul. Peryglac.* 37:141-154.
- REILLE, M. (1990). Leçons de Palynologie et d'analyse pollinique. CNRS. Paris.
- RICHARD, N. & BEGEOT, C. (1999). Tourbes et enregistrement des variations climatiques. *Geochronique* 71:14.
- SCHUMACKER, R. (1972). L'incendie du 27 octobre 1971 dans la Réserve naturelle domaniale des Hautes-Fagnes. Historique, bilan et leçons. *Hautes Fagnes* 38:14-40.
- SCHUMACKER, R. (1980). Groupements du *Caricetum limosae* (Paul 1910) Osv. 1923, du *Caricetum lasiocarpae* Koch 1926 et à *Carex rostrata-Sphagnum apiculatum* en haute Ardenne nord-orientale. *Colloq. Phytosociol.* 7:461-475.
- SCHUMACKER, R.; DIRKSE, G. & DE ZUTTERE, PH. (1974). *Carex dioica* L. et *Carex pulicaris* L. dans la Réserve domaniale des Hautes-Fagnes (province de Liège, Belgique). *Lejeunia N.S.* 74:1-21.
- SOLTYS, S. (1998). Etude géomorphologique, sédimentologique et palynologique de palses minérales allongées dans Hautes-Fagnes à la Brackvenn - Konnerzvenn. Mémoire de Licence en Sciences Géographiques, Univ. de Liège.
- STREEL, M. (1959a). Carte détaillée des groupements végétaux du plateau de la Baraque-Michel. Station Scientifique des Hautes-Fagnes, inédit.
- STREEL, M. (1959b). Les rapports «climat - végétation» discernables dans l'épaisseur des tourbières du plateau des Hautes-Fagnes belges. *Bull. Soc. R. Sci. Liège* 3(4):90-101.
- WASTIAUX, C. (1990). Végétation et régime hydrologique d'une tourbière haute drainée: dégradation et régénération (Deux-Séries, Hautes-Fagnes, Belgique). Mémoire de Licence en Sciences Géographiques, Univ. De Liège.
- WASTIAUX, C. et al. (1998). Convention Région Wallonne. Topographie de surface et de subsurface des zones tourbeuses des réserves naturelles domaniales des Hautes-Fagnes. Partim 1 (1998): fagne des Deux-Séries, Rapport final.
- WOILLARD, G. (1975). Recherches palynologiques sur le Pléistocène dans l'est de la Belgique et dans les Vosges lorraines. *Acta Geogr. Lovan.* 14:118.