

**Local vegetation history of Norway spruce  
(*Picea abies* (L.) Karst.) in central Scandes  
(Sweden) since the mid-Holocene****Pablo Garrido Rodriguez**

I denna rapport redovisas ett examensarbete utfört vid Institutionen för skogens ekologi och skötsel, Skogsvetenskapliga fakulteten, SLU. Arbetet har handletts och granskats av handledaren, och godkänts av examinatör. För rapportens slutliga innehåll är dock författaren ensam ansvarig.

This report presents an MSc thesis at the Department of Forest Ecology and Management, Faculty of Forest Sciences, SLU. The work has been supervised and reviewed by the supervisor, and been approved by the examiner. However, the author is the sole responsible for the content.

## **Table of contents**

Abstract.....	2
Introduction.....	3
Material and Methods.....	4
Results and Interpretation.....	8
Discussion.....	13
Conclusion.....	15
Acknowledgement.....	15
References.....	16
Appendix 1. Historia de la vegetación del Abeto rojo ( <i>Picea abies</i> (L.) Karst.) en los Escandes centrales (Suecia) desde el Holoceno medio.....	18

## Abstract

The former migration theory of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) suggested that spruce established in Sweden along the Swedish Bothnian coast c. 3500 years ago from an eastern refuge area through Finland. Recent spruce megafossil finds of Late Glacial and early Holocene in west central Sweden have challenged this theory suggesting a much earlier immigration and a possible western migration route.

The overall aim of the present study is to contribute to the understanding of the history of spruce in west central Sweden and evaluate a western migration route. Pollen analysis was performed on a site 50 km north of Handöl where macrofossils and pollen analysis have revealed early Holocene occurrence of spruce. The present study based on pollen analysis shows the establishment of spruce around 2400 cal. BP at the study site. The results compared with other studies display that the difference in the timing of local spruce establishment varies within the range of 2000 years. This study does not support a western migration route.

## Resumen

Las primeras teorías sobre la migración del abeto rojo, sugerían el establecimiento de éste en Suecia a lo largo de la costa de Bothnia procedente de áreas refugio del este, a través de Finlandia hace unos 3500 años. Posteriormente, hallazgos de restos fósiles en el centro oeste de Suecia cambiaron esta teoría sugiriendo una inmigración anterior y una posible ruta de migración por el oeste.

El objetivo general del presente estudio es la contribución al entendimiento de la historia del abeto rojo en el centro oeste de Suecia. La potencial ruta de migración por el oeste es también discutida. Con el fin de evaluar esa posible vía de migración, fue elegido un lugar a 50 km al norte de Handöl, donde análisis palinológicos y de macrofósiles han revelado la presencia del abeto rojo en el Holoceno temprano. El presente estudio basado en el análisis de polen muestra el establecimiento del abeto rojo en el área de estudio alrededor de 2400 cal. AP. Los resultados comparados con otros estudios muestran grandes diferencias temporales en el establecimiento del abeto rojo a nivel local (diferencias de hasta 2000 años). Mediante el presente estudio no se puede respaldar la teoría de la posible ruta de migración por el occidente.

**Keywords:** Holocene, *Picea abies*, pollen analysis, macrofossils, immigration, peat core, west central Scandes.

## Introduction

For Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) a much later immigration to Scandinavia after the last glaciation was suggested compared to other major tree taxa. At first, in the 19<sup>th</sup> century this was based on stratigraphical observations of macrofossils in peat (Sernander, 1892) but later, the theory has been upheld through numerous pollen analysis (von Post, 1918; Moe, 1970; Huntley and Birks, 1983).

The former migration theory of spruce based on pollen analysis suggested that spruce established in Sweden along the Swedish Bothnian coast c. 3500 years ago from an eastern refuge area through Finland. Thereby, in response to climate change, spruce migrated from east westwards as a front (Moe, 1970; Huntley and Birks, 1983).

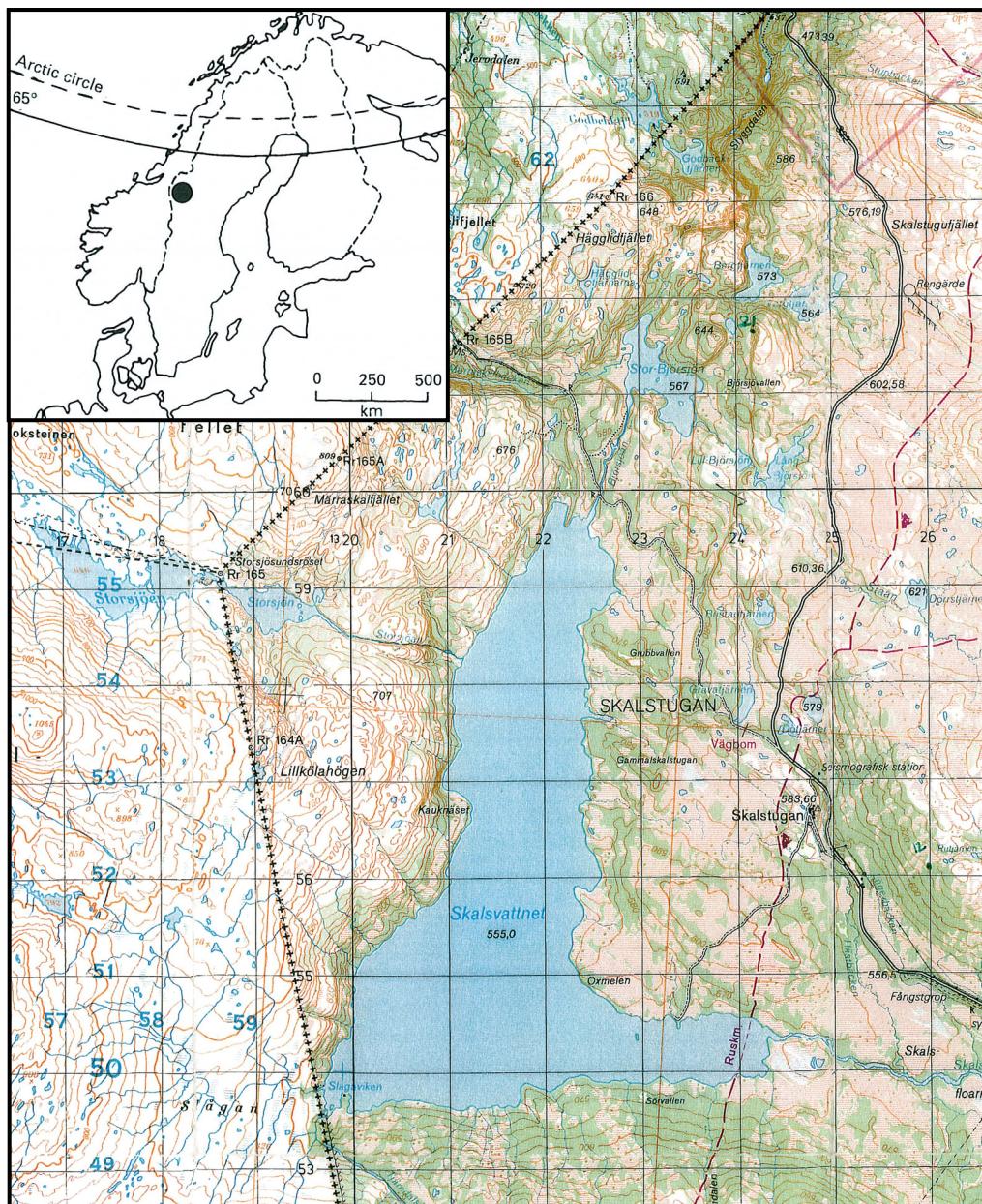
Recent finds of spruce megafossil remains (radio-carbon dated) have challenged this traditional theory (Kullman, 1996; 2000; 2002). Kullman performed his surveys in the Handöl valley and on the Åreskutan mountain in west central Sweden where he found spruce megafossils that were dated back to Late Glacial and early Holocene (the oldest, 11020 years before present). Recent studies carried out by Segerström and von Stedingk (2003), reveal spruce pollen records in peat deposits between about 9000 and 5500 years before present and fit well with the findings of Kullman. Based on the western location of these early *Picea* findings Kullman has suggested a western migration route (Kullman, 2002).

The overall aim of the present study is to contribute to the understanding of the history of spruce in west central Sweden. The results will be discussed in relation to the previous studies of spruce migration and establishment in the region. In order to evaluate a possible western migration route a site for pollen analysis was chosen in the Skalstugan area in the central Scandes which has been selected due to three fundamental features: 1- The situation of the site connects the present east and west spruce population distribution. 2- The topographic characteristics of the area that are low elevation and undulated relief allow an easier migration route. 3- It is a place where no macrofossil or other palaeoecological studies have been performed previously.

## Material and Methods

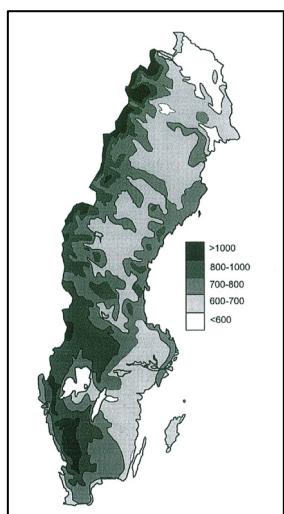
### Study site

The study site Lilla Björsjön (63° 36' N, 12° 15' E) ca. 600 m a.s.l, is situated in the Skalstugan area in west central Sweden (fig. 1), within the central Scandes and located 50 km north of Handöl where megafossils revealed early Holocene occurrence of spruce (Kullman, 1996).



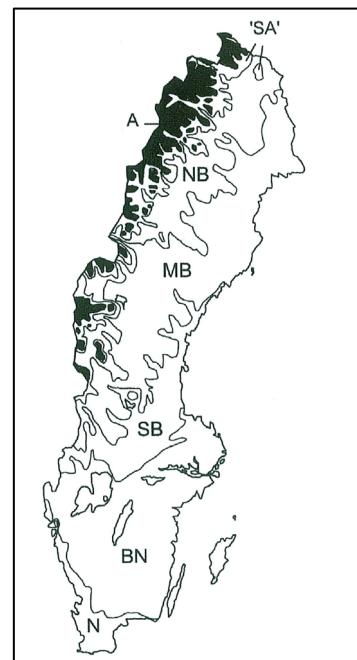
**Figure 1.** Map of the study site and location.

The elevation varies between 450-900 m a.s.l. and the bedrock is formed by amphibolite, gneiss and calcareous mica schist belonging to Caledonian age (Fredén, 1994). The climate is semi-oceanic and humid influenced by the proximity to the Norwegian coast which characterizes the local climate and vegetation period. The precipitation measure at the nearest weather station (Storlien/Visjövalen) situated at 640 m a.s.l. is 874 mm, with mean temperatures in July and January during 1963-2005 of +11.1°C and -6.7 °C, respectively (data from Swedish Meteorological and Hydrological Institute) (fig. 2).



**Figure 2.** Real annual precipitation according to the National Atlas of Sweden. Source: Swedish plant geography.

The vegetation in the area is composed of sub-alpine coniferous forest, sub-alpine mountain birch and low alpine tundra. The forest limit reaches 650-750 m of altitude. The sub-alpine coniferous forest is formed by a mixture of *P. abies* and *B. pubescens* ssp. *czerpanovii* (N.I. Orlova) in a scattered configuration (fig. 3 and 4).



**Figure 3.** Vegetational zonation. N = nemoral (temperate) zone, BN = boreo-nemoral (Hemi-boreal) zone, SB = southern boreal sub-zone, MB = middle boreal sub-zone, NB = northern boreal sub-zone (excluding the subalpine birch belt), 'SA' = subalpine belt (now considered a part of the northern boreal lacking coniferous trees), A = alpine belts. Source: Swedish plant geography.



**Figure 4.** Photo showing the study site, the vegetation of the mire and the surrounding area.

The area is rich in mires (35 %) that vary from rich minerotrophic fens to poorer ombrotrophic bogs. The mire selected for this study is located in a depression on a north facing slope and has today an extension of *c.* 3 ha.

### **Field work**

From the mire, a 214 cm peat core was taken for pollen analysis using a Russian peat corer (Jowsey, 1966). The first coring was performed already on June 17<sup>th</sup> 2003. In 2008 the site was revisited and a new coring was carried out for a visual check of the peat stratigraphy. Moreover, the main species were surveyed to describe the mire and the vegetation of the near surroundings (table 1).

### **Lab work**

In total 12 (1cm<sup>3</sup>) samples were extracted from the peat core for pollen analysis. The samples were taken from 214 to 25 cm, approximately every 20 cm. The preparation of the samples was made according to the standard methods (Moore *et al.*, 1991), including digestion in 5% potassium hydroxide (KOH) and acetolysis, in order to remove the organic matter. In addition, hydrofluoric acid (HF) treatment was performed on the samples from the bottom part of the peat core to remove the mineral matter in the material.

For the analysis, the samples were stained with safranine to enhance the contrast and the microscopic surface structures of the pollen, and mounted in glycerine on microscope slides. From each sample a minimum of 500 pollen grains were counted. For the pollen identification a pollen key (Moore *et al.*, 1991) was used and for critical examinations a reference pollen collection was available.

### **Dating**

Two bulk-peat samples were taken at 65 and 200 cm respectively, and sent to the Ångström Laboratory in Uppsala for dating by the AMS  $^{14}\text{C}$ -dating method. Calibrations were made using the OxCal program.

## Results and Interpretation

### Inventory of the current species both on mire and neighbouring area

In table 1 are the main species listed that were found on the mire and in the neighbouring forest. Nowadays the mire is a poor fen as reveal the presence of *Rubus chamaemorus*, *Sphagnum* and dwarf shrubs as Ericaceae and *Calluna vulgaris*.

**Table 1.** Main species list both on the mire and in the surroundings.

Species on the mire	Species found in the surrounding forest
<i>Rubus chamaemorus</i>	<i>Salix glauca</i>
<i>Andromeda polifolia</i>	<i>Betula pubescens</i> ssp. <i>czerpanovii</i>
<i>Vaccinium uliginosum</i>	<i>Picea abies</i>
<i>Calluna vulgaris</i>	<i>Juniperus communis</i> ssp. <i>nana</i>
<i>Empetrum nigrum</i>	<i>Vaccinium vitis-idaea</i>
<i>Vaccinium oxycoccus</i>	<i>Empetrum nigrum</i>
<i>Betula nana</i>	<i>Betula nana</i>
<i>Eriophorum vaginatum</i>	<i>Sorbus aucuparia</i>
<i>Trichophorum</i> sp.	<i>Vaccinium myrtillus</i>
<i>Sphagnum</i> spp.	<i>Gymnocarpium dryopteris</i>
<i>Drosera rotundifolia</i>	<i>Deschampsia flexuosa</i>
	<i>Lycopodium annotinum</i>
	<i>Cicerbita alpina</i>
	<i>Trientalis europaea</i>
	<i>Luzula pilosa</i>
	<i>Maianthemum bifolium</i>
	<i>Polytrichum</i> sp.
	<i>Solidago virgaurea</i>

The surrounding vegetation is composed by sub-alpine coniferous forest (mixture of *P. abies* and *B. pubescens* in a scattered group configuration) with dwarf shrubs, grasses and herbs dominating the open areas. The soil richness seems to be intermediate as reflected by the presence of *Gymnocarpium dryopteris* but also, the appearance of other species as *Cicerbita alpina* and *Empetrum nigrum* indicate rich and poor soil conditions respectively.

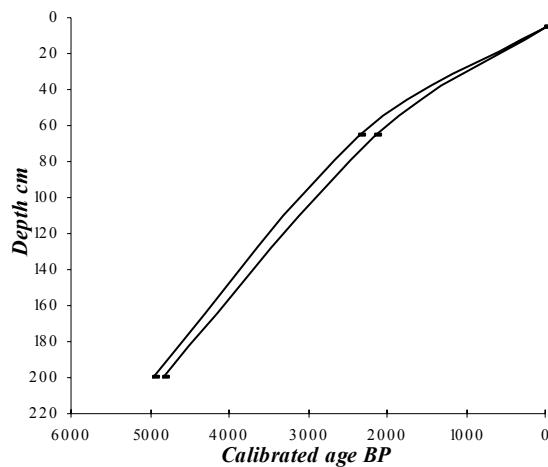
### Chronology and peat accumulation

The  $^{14}\text{C}$ -datings are presented in Table 2. The peat initiation on Lilla Björsjön started before 5000 years BP. A tentative chronology was established based on these two  $^{14}\text{C}$  dated levels and the surface that was assigned the age of 0 BP, and displayed in an age/depth curve (fig. 5).

**Table 2.** Radiocarbon dates from the study site Lilla Björsjön.

Lab. No	Depth (cm)	$^{14}\text{C}$ age BP	Cal BP age ranges at $2\sigma$	Material for radiocarbon dating
Ua-35989	65-66	$2265 \pm 30$	2350- 2150	Bulk peat samples
Ua-35990	200-201	$4315 \pm 35$	4970-4830	Bulk peat samples

### Lilla Björsjön



**Figure 5.** Age-depth curve based on calibrated  $^{14}\text{C}$  dates.

### Vegetation history

The pollen assemblage zones (A/B/C) (fig. 6) are defined based on major changes in the pollen diagram from Lilla Björsjön.

#### A. *Alnus-Betula*, c. 5500-4500 cal BP

The *Alnus* (30 %) and *Betula* (55 %) pollen records characterize this zone. At the beginning of the period *Pinus* pollen proportion is rather low, c. 3 %, but increasing towards the end reaching c. 20 %. Thermophilous deciduous trees such as *Tilia*, *Ulmus* and *Corylus*, are also present with a mean pollen ratio of c. 1 %. *Filipendula* and *Valeriana* appear with pollen records less than 1 %, and *Epilobium* starts with records around 2 %, and declines throughout the period. Ericaceae and Asteraceae pollen percentages have one peak at the middle of the zone while Poaceae and *Potentilla* show an increased pollen proportion towards the end. Cyperaceae and Compositae are the main herbaceous constituents reaching pollen proportion values of 10 %. Polypodiaceae starts with a peak around 55 %, and decreases to c. 25 %, at the end of the period. *Sphagnum* (10 %) and *Equisetum* (2%) are also represented mainly towards the end.

The zone represents the local development of a forested area in which *Betula* was the main tree constituent. Probably *Alnus* and *Betula* trees were growing on the mire area in the early stage of fen development. The transition from Polypodiaceae to *Sphagnum*, *Equisetum* and Cyperaceae can be interpreted as this early stage of fen development. The appearance of many herb and shrub species such as Compositae, *Filipendula*, Asteraceae, Rosaceae, *Potentilla* and *Valeriana* suggest that it was a rich fen. The occurrence of thermophilous tree species such as *Ulmus*, *Tilia* and *Corylus* may suggest warm conditions (Königsson, 1980). They were not necessarily present on site but can be considered as background pollen, i.e. a combination of regional presence of the species and long distance transport of pollen. *Pinus* was probably not present in the near vicinity and its records most likely are background pollen since values of only about 10 % were recorded (von Stedingk *et al.*, 2008).

**B. *Betula*-Cyperaceae, c. 4500-2200 cal BP**

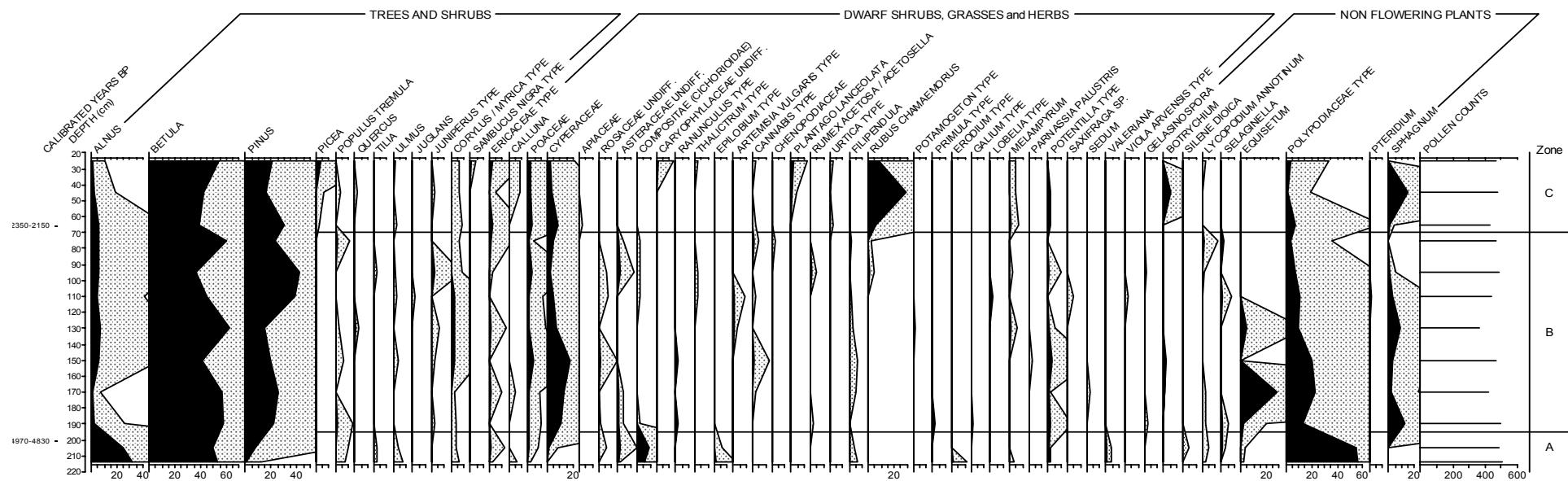
The zone is mainly characterized by *Betula* (40-50 %) and *Pinus* (15-40 %). The decrease in the share of *Alnus* is marked with a pollen proportion around 5 %. *Pinus* increases during the phase with a peak at c. 3000 cal. BP. The Quercetum mixtum species, i.e. cohort of thermophilous species (*Ulmus*, *Tilia* and *Corylus*) are not important in this period since they only are recorded sporadically and with low shares, though *Corylus* increases at the end of the period. *Populus* pollen is recorded sporadically. Ericaceae and *Juniperus* increase at the end of the zone. Polypodiaceae begins with a maximum of about 20 % and has a decreasing trend through the period. *Equisetum* spores are present with a peak of c. 30 % and then decreasing and disappearing approximately at the middle of the zone. *Sphagnum* spores are recorded with two peaks: at the beginning and at the middle with proportions of about 5 % in between, and then decreasing towards the end. Cyperaceae and Poaceae are also recorded during the period with means around 10 % and 3%, respectively. *Potentilla* pollen records fluctuate throughout the zone with a maximum of c. 5 %.

*Betula* was the dominant tree species probably in a sparse forest configuration. The proportion of *Pinus* pollen (with a mean about 30 %) plausibly can be considered either as background pollen, or as representing *Pinus* trees present in the near vicinity. Possibly it can be interpreted as background pollen even when *Pinus* reaches values of c. 40 %, due to a decline of *Betula* at that time, rather than a local establishment of *Pinus* trees (cf. von Stedingk, 2006). The decrease of *Betula* pollen records could be due to the vegetation starts to change towards tree less sparse forest. The sharp decrease in the *Alnus* curve is a local phenomenon, whereas at regional scale this decrease of *Alnus* is an evident general phenomenon in the mountain areas (Lundqvist, 1969). The competition and shade conditions owing to *Betula* may explain the local *Alnus* decrease because of the better adaptation for *Betula* to the new rich soil circumstances facilitated by the previous *Alnus* establishment. *Alnus* had probably been growing on the paludified land in the early development of the fen, but with increasing peat thickness the local importance of *Alnus* decreased. The *Alnus* pollen frequencies of c. 5 % correspond to the current frequencies of *Alnus* from a study of the present vegetation relationship, where no *Alnus* was present within 10 km (von Stedingk, 2006). The increase of Ericaceae, Poaceae, *Potentilla* and Cyperaceae reflects the development and local dynamics of a mire ecosystem, i.e. vegetation succession on the mire. At the end of the zone the first *Picea* pollen grain is recorded. It probably implies the onset of spruce establishment at the site.

**C. *Betula-Picea*, c. 2200 cal BP to present.**

During the period there is an increase of *Picea* and *Betula* pollen that reach values around 5 % and 40 %, respectively. *Pinus* and *Alnus* pollen decrease in comparison to the previous period. Dwarf-shrubs and herbs are well recorded. *Rubus chamaemorus* and *Sphagnum* reach peaks about 30 % and 15 %, respectively. *Botrychium* is recorded with 1-5 %, whereas Polypodiaceae in general is recorded with a low share. The first *Picea* pollen grain is recorded about 2400 cal. BP.

The start of the zone reveals the establishment of *Picea* as a forest constituent. The landscape was plausibly rather open as it is today, with scattered *Picea* and *Betula* tree groups. Shrubs and herbs such as Ericaceae, Caryophyllaceae and *Melampyrum* became more common elements of the vegetation than before, corroborating therefore the development of the open forest tundra conditions. *Sphagnum* was also an important part of the mire flora whereas Polypodiaceae and Cyperaceae decreased due to the mire development. The notable presence of *Sphagnum*, *Calluna* and *Rubus chamaemorus* indicate poor mire conditions and reflects a late mire succession stage. Therefore it is suggested that the mire was transforming from a rich fen to poorer peat bog conditions. The appearance of *Botrychium* and *Plantago lanceolata* is usually related with and is indicative of grazing, which it is noteworthy.



**Figure 6.** Percentage pollen diagram from Lilla Björsjön. The numbers on the y-axis to the left, show the depth (cm) of the peat core with  $^{14}\text{C}$  calibrated dates at  $2\sigma$ . The horizontal lines divide the diagram into three main zones (A/B/C) according to the major changes in the pollen assemblages. Black fields represent the percentage of each pollen type and dotted fields represent a 10 X exaggeration of the percentage values. Pollen and spore types of low proportion and without importance for the discussion are not shown.

## Discussion

### Regional growth of *Picea abies*

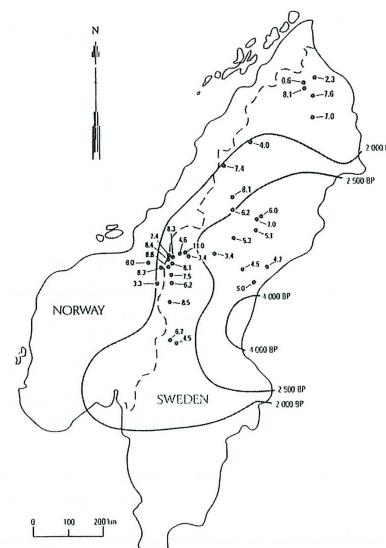
The appearance of *Picea* pollen records in the peat deposit is about 2400 cal. BP. In a radius of 10 km from the study site, four pollen evidences suggest that *Picea* became present in the area (Lundqvist, 1969; Selvik, 1985) between 3850-1650 cal. BP. The rather large differences in dating the local establishment of *Picea* show that is not possible to establish a single timing of the establishment. Recently, several studies carried out on the Handöl valley and on Mt Åreskutan (about 50 km southwards from the study site) have revealed the presence of *Picea* from c. 11000 cal. BP (Kullman, 1995; 1996; 2001; 2002). These studies based on radio-carbon dating of tree remains, refute the former theory of the timing of spruce establishment in the area. With the data obtained in the present study it was not possible to infer the earliest *Picea* establishment since the peat core is not old enough. There are no spruce evidences from 6000 to 2400 cal. BP. Instead, it shows the onset of the spruce expansion in the area.

In order to trace the early occurrence of spruce, some of the highest mires in the area should be selected for pollen analysis with a maximum distance of 5 km between them. At high altitude the probability to find early evidences of *Picea* increase because it probably was present at higher altitudes until the middle Holocene (Kullman, 1988; 2001; 2002). Another survey could be focused on the analysis of the sediments of the small near lakes in order to catch local population evidences. The lakes have larger catchment areas than the mires and some of them are formed prior to the onset of mire formation, so the chance to find early *Picea* pollen records is higher in these lake sediments. At the lab work the sub-sampling should be made with higher resolution (every centimeter) and a minimum of 1000 pollen grains should be counted trying to record the low concentration of *Picea* pollen grains in each slide due to the high density of certain other pollen grain types (e.g. *Betula* type).

### Possible migration route

Lindquist (1948) in his reviews on early occurrences of *Picea* pollen, postulated a refuge area on the Norwegian coast. This hypothesis was entirely based on stratigraphic evidences without the possibility to demonstrate it by means of independent dating as  $^{14}\text{C}$  analyses. Later, the most widespread theory based entirely on palynological surveys, suggests that *Picea* came from an eastern refuge area through Finland (fig. 7) and then in response to climate change, migrated from east towards the west as a front, reaching the Scandes around 2000 cal. BP (Moe, 1970; Huntley & Birks, 1983).

**Figure 7.** The solid lines represent isopoll contours (5% of the total arboreal pollen sum) complied by Huntley & Birks (1983). The dots represent a selection of radio-carbon dates (ka BP) of the regionally oldest specimens of *Picea*. This map represents the conventional view of the eastern immigration theory. Source: Kullman 2001.



The finds of Kullman (2001) that demonstrated the presence of *Picea* back to 11000 years (within the Younger Dryas stadial), infer the possibility of existing nunataks or glacial refugia where *Picea* and other species could have survived or colonized very early on the exposed continental shelf areas in western Norway (Kullman, 2002). These findings support the first theory of western refuge areas postulated by Lindquist (1948). In addition, the present day atmosphere circulation patterns were already established in the late Weichselian (Siegert & Marsiat, 2001) allowing the possibility of a western migration route. This fact could enable conceivably a western migration pattern due to the possibility that storms and predominant winds have the same direction. The eastern migration route can not alone explain the early presence of *Picea* in the Scandes mountain range according to Kullman (2002). However, Giesecke and Bennet (2004) argue that the eastern migration route can successfully explain the early presence of spruce in the Scandes. It is plausible that *Picea* seeds were dispersed over long distances by rare events in the early Holocene (Clark *et al.*, 1998) allowing the establishment of spruce in suitable localities. In fact most of the other common trees in Scandinavia were established in the mountain region in early Holocene (Kullman, 1998).

But how could spruce arrive to those nunataks? Recent modern studies from north-western Russia and northern Finland suggest an early Holocene establishment of *Picea* coinciding with birch maximum between 11500 and 10700 cal. BP (Subetto *et al.*, 2002; Wohlfarth *et al.*, 2002; 2004). These spruce occurrences are contemporaneous with the *Picea* finds of Kullman (2002). From those northern out-posts the early stands of *Picea* populations in the Scandes could descent from expanding *Picea* populations in north-western Russia and eastern Finland, rather than from a glacial refuge on the Norwegian continental ice free shelf (Giesecke & Bennet, 2004). Birks *et al.* (2005) pointed out the weakness of the palaeoecological evidences for a western migration route, e.g. the late-glacial vegetation of south-west Norway was treeless and summer temperatures were below the thermal limits for *Betula pubescens*, *Pinus sylvestris* and *Picea abies*.

However, the location of the present study site (altitude of the site) is probably not adequate or optimal for the earliest spruce spreading inferences because (as revealed by the megafossil finds) the appearances of the oldest *Picea* evidences are located at higher elevations. At the Late Glacial, the requirements of *Picea* only could be fulfilled at high elevations (nunataks), i.e. the oldest finds were recovered at 1340 m above the sea level.

On the other hand, the isolated populations (if the isolation was long enough) living in scattered refugial areas should be clearly differentiated genetically from the eastern provenance due to its own isolated development. Nonetheless, in a genetic study using tandem repeats in plant mitochondrial genomes in order to use in the analysis of population differentiation of Norway spruce in Europe, only two distinct lineages were observed (Sperisen *et al.* 2001). The two lineages separate clearly the populations of northern and northeastern Europe, from central and southeastern ones. The theoretical two different Scandinavian populations are belonging to the first lineage. Consequently, is not clear or demonstrated scientifically the differentiation of the two provenances (east and west) so far. To achieve a successful explanation of the migrational pattern specific genetic surveys are needed in order to elucidate and to distinguish both Scandinavian lineages from the north-western Russian.

If so, the hypothetic western migration could be analysed sampling the most probable ice free areas in order to find *Picea* fossil remains which could provide information about the potential migrational gradient.

## Conclusion

- The present study based on pollen analysis shows the establishment of spruce around 2400 cal. BP at the study site.
- The results compared with other studies display that the difference in the timing of local spruce establishment in central Scandes varies within the range of 2000 years.
- The study shows the development of the forest composition and structure from dense forest to tree less conditions since the mid-Holocene.
- This study does not support a western migration route.

## Acknowledgements

Firstly, I would like to thank my supervisors Ulf Segerström and Henrik von Stedingk. Without their unquestionable help and comments that allow me to walk by the right way, this study should not been possible to perform. I like to thank Eva Rodriguez for our productive discussions in the identification task. Of course thanks to Maria Cristina Bejarano to be patient in my deliriums. In general, thanks to everyone at the Department of Forest Ecology and Management to make me feel at home in a foreign country.

## References

- Birks, H.H., Larsen, E. and Birks, H.B.J. 2005. Did tree-Betula, Pinus and Picea survive the last glaciation along the west coast of Norway? A review of the evidence, in light of Kullman (2002). *Journal of Biogeography* 32, 1461-1471.
- Clark, J.S., Fastie, C., Hurt, G., Jackson, S.T., Johnson, C., King, G.A., Lewis, M., Lynch, J., Pacala, S., Prentice, C., Schupp, E.W., Webb, T., III & Wyckoff, P. 1998. Reid's paradox of rapid plant migration. *Bioscience* 48, 13-24.
- Fredén, C. 1994. Quaternary deposits. *Geology, National Atlas of Sweden*. (ed. By C. Fredén), pp. 104-119. Almqvist & Wiksell International: Stockholm.
- Giesecke, T. and Bennet, K.D. 2004. The Holocene spread of *Picea abies* (L.) Karst. in Fennoscandia and adjacent areas. *Journal of Biogeography* 31, 1523-1548.
- Huntley, B. & Birks, H.J.B. 1983. *An atlas of past and present pollen maps for Europe: 0-13000 years ago*. Cambridge University Press. Cambridge. 667 pp.
- Jowsey, P.C. 1966. An improved peat sampler. *New phytol.* 65, 245-248.
- Kullman, L. 1988. Holocene history of the forest-alpine tundra ecotone in the Scandes Mountains (central Sweden). *New phytol.* 108, 101-110.
- Kullman, L. 1995. New and firm evidence for midholocene appearance of *Picea abies* in the Scandes Mountains, Sweden. *Journal of Ecology* 83, 439-447.
- Kullman, L. 1996. Norway spruce present in the Scandes Mountains, Sweden at 8000 BP: new light on Holocene tree spread. *Global Ecology and Biogeography Letters* 5, 94-101.
- Kullman, L. 2000. The geoecological history of *Picea abies* in northern Sweden and adjacents parts of Norway. A contrarian hypothesis of postglacial tree immigration patterns. *Geoöko XXI*, 141-172.
- Kullman, L. 2001. Immigration of *Picea abies* into North-Central Sweden. New evidences of regional expansion and tree-limit evolution. *Nordic Journal of Botany* 21, 39-54.
- Kullman, L. 2002. Boreal tree taxa in the central Scandes during the Late-Quaternary forest history. *Journal of Biogeography* 29, 1117-1124.
- Königsson, L. 1980. Nordens, främst Sveriges, kvartära historia II. Uppsala Kvartärgeologi Kompendium 3, 8-9.
- Lindquist, B. 1948. The main varieties of *Picea abies* (L.) Karst. In Europe, with a contribution to the theory of a forest vegetation in Scandinavia during the last Pleistocene glaciation. *Acta Horti Bergiani* 14, 249-342.
- Lundqvist, J. 1969. *Beskrivning till jordartskarta över Jämtlands län*. Sveriges Geologiska Undersökning Serie Ca 45. 418 pp.
- Lundqvist, J. 1973. *Isavsmälningens förlopp i Jämtlands län*. Sveriges Geologiska Undersökning Serie C 66. 187 pp.
- Moe, D. 1970. The post-glacial immigration of *Picea abies* into Fennoscandia. *Botaniska Notiser* 123, 61-66.
- Moore, P.D., Webb, J.A. & Collinson, M.E. 1991. *Pollen analysis*. Blackwell Scientific Press, Oxford.
- von Post, L. 1918. Skogsträdpollen i sydsvenska torvmosselagerföljder. *Det 16 skandinaviske naturforskermøte 1916*, 432-468.
- Segerström, U. & von Stedingk, H. 2003. Early-Holocene spruce, *Picea abies* (L.) Karst., in west central Sweden as reveal by pollen analysis. *The Holocene* 13, 6, 897-906.

- Selvik, S.F. 1985. *Paleoøkologiske undersøkelser i Nord-Trøndelag: med hovedvekt på granskogens innvandring og etablering*. Master thesis. Universitetet i Trondheim. 140 pp.
- Sperisen, C., Büchler, U., Gugerli, F., Mátyás, G., Geburek, T., & Vendramin§, G.G. 2001. Tandem repeats in plant mitochondrial genomes: application to the analysis of population differentiation in the conifer Norway spruce. *Molecular Ecology* 10, 257-263.
- Sernander, R. 1892. *Die Einwanderung der Fichte in Skandinavien*. Englers Botanisches Jahrbuch 15. Leipzig. 94 pp.
- Siebert, M.J. & Marsiat, I. 2001. Numerical reconstructions of LGM climate across the Eurasian Arctic. *Quaternary Sciences Reviews* 20, 1595-1605.
- von Stedingk, H. 2006. History of *Picea abies* in west central Sweden. Applications of Pollen analysis to reveal past local presence of trees. Doctoral thesis. Swedish University of Agricultural Sciences (SLU), Umeå.
- von Stedingk, H., Fyfe, R.M. & Allard, A. 2008. Pollen productivity estimates for the reconstruction of past vegetation at the forest tundra ecotone. *The Holocene* 18,2, 323-332.
- Subetto, D.A., Wohlfarth, B., Davydova, N.N., Sapelko, T.V., Bjorkman, L., Solovieva, N., Wastegard, S., Possnert, G., & Khomutova, V.I. 2002. Climate and environment on the Karelian Isthmus, northwestern Russia, 13000-9000 cal yrs BP. *Boreas* 31, 1-19.
- Wohlfarth, B., Filimonova, L., Bennike, O., Björkman, L., Brunnberg, L., Lavrova, N., Demidov, I. & Possnert, G. 2002. Late-glacial and early Holocene environmental and climatic change at Lake Tambichozero, Southeastern Russian Karelia. *Quaternary Research* 58, 261-272.
- Wohlfarth, B., Schwark, L., Bennike, O., Filimonova, L., Tarasov, P., Björkman, L., Brunnberg, L., Demidov, I. & Possnert, G. 2004. Unstable early-Holocene climatic and environmental conditions in northwestern Russia derived from a multidisciplinary study of a lake-sediment sequence from Pichozero, southeastern Russian Karelia. *The Holocene* 14,5, 732-746.

## Appendix 1. Spanish summary

### Historia de la vegetación del Abeto rojo (*Picea abies* (L.) Karst.) en los Escandes centrales (Suecia) desde el Holoceno medio

#### Introducción

Para el abeto rojo (*Picea abies* (L.) Karst.) fue sugerida la inmigración tardía, comparada con otros taxones, a Escandinavia después de la última glaciación. Ya en el siglo XIX ésta hipótesis se basaba en la observación de los macrofósiles en la estratigrafía de muestras de turba (Sernander, 1892) y posteriormente la teoría se apoyó en numerosos análisis de polen (von Post, 1918; Moe, 1970; Huntley y Birks, 1983).

La primera teoría de la migración del abeto rojo basada en estudios palinológicos, sugería que *Picea abies* se había establecido en Suecia a lo largo de la costa de Bothnia hace unos 3500 años AP, procedente de un área refugio occidental, a través de Finlandia. Así, en respuesta a un cambio climático la especie migró frontalmente de este a oeste (Moe, 1970; Huntley y Birks, 1983).

Hallazgos recientes de restos fósiles (datados por radiocarbono) han cambiado la tradicional teoría (Kullman, 1996; 2000; 2002). Este autor llevó a cabo sus investigaciones en el valle de Händol y en la montaña Åreskutan donde encontró restos fósiles de fines de la última Glaciación y el Holoceno temprano (el más antiguo de hace unos 11020 años). Recientes estudios realizados por Segerström y von Stedingk (2003) han revelado restos de polen de *Picea abies* en depósitos de turba de hace 9000 y 5500 años, coincidiendo con los hallazgos de Kullman. Este autor basándose en la localización occidental de sus descubrimientos, ha sugerido la teoría de una posible ruta de migración occidental para la especie (Kullman, 2002).

El principal objetivo del presente estudio es la contribución del mismo al incremento del entendimiento sobre la especie en el centro oeste de Suecia. Al mismo tiempo será discutida la potencial ruta migratoria occidental, para lo cual un lugar cercano a donde Kullman encontró los ancestrales restos de abeto rojo fue elegido y en el cual no se han llevado a cabo nunca estudios de este tipo.

#### Material y métodos

##### Área de estudio

El área de estudio Lilla Björsjön ( $63^{\circ} 36' N$ ,  $12^{\circ} 15' E$ ) situada a unos 600 m s.n.m., se localiza en el centro occidente de Suecia en una zona llamada Skaltsugan, perteneciente a los Escandes suecos. El clima es semi-oceánico húmedo, debido a la cercanía de la costa Noruega. Así, la vegetación que se desarrolla en éste área está formada por tres diferentes asociaciones vegetales: bosques sub-alpinos de confieras, bosques sub-alpinos de abedul montano y tundra alpina. Los bosques de confieras sub-alpinos están

formados por una asociación de *Picea abies* y *Betula pubescens* ssp. *czerpanovii* conformando un tipo de paisaje abierto y poco denso (fig. 1).



**Figura 1.** Foto mostrando la vegetación en la turbera y aledaños.

El área en cuestión es rica en turberas (35 %) seleccionando para el presente estudio, una de unas 3 ha. de extensión, situada en la cara norte de una ladera.

### **Trabajo de campo**

De la turbera en estudio, se extrajo una muestra de turba de 214 cm, para su posterior análisis palinológico, al igual que un pequeño inventario de especies fue llevado también a cabo (tabla 1).

<b>Especies en la turbera</b>	<b>Especies de la vegetación limítrofe</b>
<i>Rubus chamaemorus</i>	<i>Salix glauca</i>
<i>Andromeda polifolia</i>	<i>Betula pubescens</i> ssp. <i>czerpanovii</i>
<i>Vaccinium uliginosum</i>	<i>Picea abies</i>
<i>Calluna vulgaris</i>	<i>Juniperus communis</i> ssp. <i>nana</i>
<i>Empetrum nigrum</i>	<i>Vaccinium vitis-idaea</i>
<i>Vaccinium oxycoccus</i>	<i>Empetrum nigrum</i>
<i>Betula nana</i>	<i>Betula nana</i>
<i>Eriophorum vaginatum</i>	<i>Sorbus aucuparia</i>
<i>Trichophorum</i> sp.	<i>Vaccinium myrtillus</i>
<i>Sphagnum</i> spp.	<i>Gymnocarpium dryopteris</i>
<i>Drosera rotundifolia</i>	<i>Deschampsia flexuosa</i>
	<i>Lycopodium annotinum</i>
	<i>Cicerbita alpina</i>
	<i>Trientalis europaea</i>
	<i>Luzula pilosa</i>
	<i>Maianthemum bifolium</i>
	<i>Polytrichum</i> sp.
	<i>Solidago virgaurea</i>

**Tabla 1.** Lista de las principales especies tanto en la turbera como alrededores.

Actualmente, la turbera es una pobre “fen” como revela la presencia de *Rubus chamaemorus*, *Sphagnum* y ciertas matas arbustivas como Ericaceae y *Calluna vulgaris*. La vegetación circundante la forma un bosque subalpino de confieras (mezcla de *Picea abies* y *Betula pubescens* en grupos dispersos) junto con plantas arbustivas y herbáceas dominando las zonas abiertas. La riqueza edáfica parece ser de tipo medio como se demuestra por la presencia *Gymnocarpium dryopteris*, pero también aparecen ciertas plantas como *Cicerbita alpina* y *Empetrum nigrum* denotando condiciones edáficas ricas y pobres respectivamente.

## **Trabajo de Laboratorio**

De la muestra de turba, se extrajeron 12 sub-muestras para su posterior análisis palinológico. Se puso mayor énfasis en el análisis de la zona más antigua de la muestra en un intento de captar los posibles pretéritos restos de polen de abeto rojo del Holoceno temprano. La preparación de las sub-muestras se realizó de acuerdo a métodos normalizados (Moore *et al.* 1991), incluyendo la digestión en hidróxido de potasio al 5% y acetolisis, a fin de eliminar los posibles restos de materia orgánica de la muestra. En cada muestra se contaron un mínimo de 500 granos de polen y para la identificación de los mismos se usó una guía de polen especializada (Moore *et al.* 1991).

## **Datación**

Se cogieron dos sub-muestras de turba a los 65 y 200 cm respectivamente, para datarlas mediante  $^{14}\text{C}$  (radiocarbono), para lo cual se enviaron al laboratorio Ångström en Uppsala. Las calibraciones para obtener la curva de edad de la muestra fueron hechas mediante el programa OxCal.

# **Resultados e interpretación**

## **Historia de la vegetación**

El diagrama de polen de Lilla Björsjön, ha sido dividido atendiendo a los principales cambios en la vegetación foco de interés (A/B/C) (fig. 2).

### *A. Alnus-Betula, c. 5500-4500 cal BP.*

Esta primera zona parece reflejar el desarrollo de una masa forestal constituida principalmente por *Alnus* y *Betula*. El polen procedente de *Pinus* es relativamente escaso debido a la alta producción de los antedichos, principales constituyentes forestales en la turbera. La abundancia en Polypodiaceae registrada y su posterior sustitución con el paso del tiempo por *Sphagnum*, *Equisetum* y *Cyperaceae*, puede ser interpretado como muestra de la evolución de los primeros estadios del complejo ecosistema de turbera. La aparición de numerosas especies arbustivas y herbáceas tales como Compositae, *Filipendula*, Asteraceae, Rosaceae, *Potentilla* y *Valeriana*, expresa la riqueza específica de la que hacia gala la turbera por aquel entonces. La aparición de polen de especies termófilas como *Ulmus*, *Tilia* y *Corylus* sugiere clima cálido (Königsson, 1980), aun cuando, seguramente tales especies no se encuentran necesariamente en el área de estudio y son consideradas como provenientes del

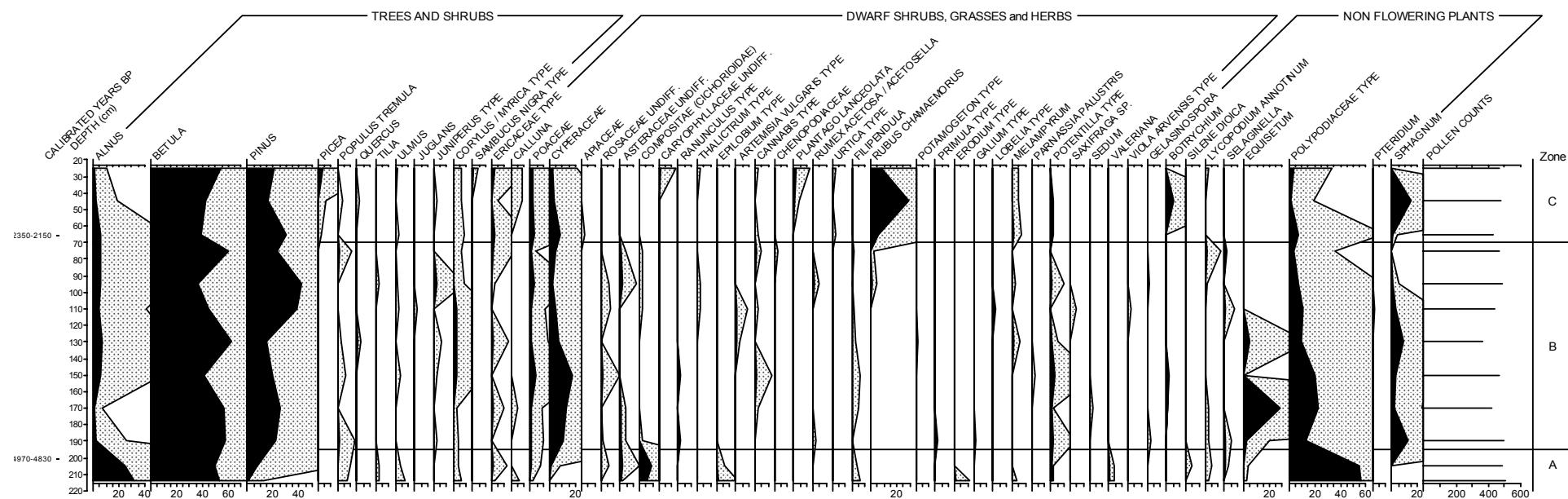
transporte a larga distancia. El polen de *Pinus* puede ser considerado como fruto del transporte a larga distancia, aún alcanzando niveles del 10% (von Stedingk *et al.*, 2008).

**B. *Betula*-Cyperaceae, c. 4500-2200 cal BP.**

*Betula* parece ser en este período la especie forestal dominante en el área de estudio. El alto porcentaje de polen de *Pinus* encontrado en esta zona, sigue siendo considerado como proveniente del transporte a larga distancia, aún cuando alcanza valores puntuales cercanos al 40%. Probablemente puede ser interpretado como el resultado de la disminución del polen de *Betula* producido, más que como el establecimiento de ciertos ejemplares en las cercanías del área de estudio. La disminución de polen de *Alnus* puede ser considerado como un fenómeno local, debido a la competencia ejercida por *Betula* y a la mejora de las condiciones de suelo facilitada por el previo establecimiento de *Alnus*. La frecuencia de polen de *Alnus* registrada es similar a la encontrada en un estudio de la zona donde se pretendía reconstruir la historia vegetal, y donde éste no estaba presente en un radio de 10 km (von Stedingk, 2006). El incremento en el registro de Ericaceae, Poaceae, *Potentilla* y Cyperaceae parece reflejar el desarrollo y dinámica local del ecosistema de turbera, expresando un estado avanzado del mismo. Hacia el final de la zona, el primer grano de polen de *Picea* es registrado, significando probablemente el inicio del establecimiento de la especie.

**C. *Betula*-*Picea*, c. 2200 cal BP hasta nuestros días.**

El comienzo de esta zona parece reflejar el inicio del establecimiento de *Picea* como elemento importante del sistema forestal. El paisaje era probablemente bastante abierto, tal y como hoy día se muestra, con pequeños y dispersos grupos de *Picea* y *Betula* salpicando el paisaje. Plantas herbáceas y arbustivas tales como Ericaceae, *Calluna*, Caryophyllaceae, *Melampyrum* y *Plantago*, se convierten en elementos significativos de vegetación, corroborando de ese modo el desarrollo de esas nuevas condiciones de tundra abierta y dispersa. La presencia de *Rubus chamaemorus* como parte constituyente de la flora de la turbera, refleja un avanzado estadio evolutivo de la misma. Se aprecia una transición en la turbera de condiciones edáficas ricas a pobres. Además la aparición de *Botrychium* y *Plantago lanceolata* está normalmente relacionado con el pastoreo, lo cual es digno de mención.



**Figure 2.** Diagrama de polen porcentual de Lilla Björsjön. Los números en el eje izquierdo (Y), muestran la profundidad de la muestra de turba extraída en cm. y la datación mediante  $^{14}\text{C}$  de 2 sub-muestras a sus respectivas profundidades. Las líneas horizontales dividen el diagrama en tres zonas principales (A/B/C) de acuerdo con los principales cambios de polen registrados. Los campos negros indican la cantidad porcentual de cada tipo de polen registrada y los campos punteados se corresponden con una exageración 10 X, de los valores registrados. Polen y esporas en baja proporción y sin importancia para la discusión, no son mostrados.

## Discusión

### Crecimiento de *Picea abies* en la región

La aparición de los primeros registros de polen de *Picea* en el depósito de turba se remonta a unos 2400 años atrás. En la zona, pretéritos estudios demostraron la presencia de la especie hace entre 3850-1650 años, coincidiendo con los resultados del presente estudio (Lundqvist 1969 & Selvik 1985). Recientemente, tratando de dilucidar evidencias de la llegada y establecimiento de los primeros ejemplares de la especie en la región (estudios llevados a cabo principalmente en el valle de Handöl y en la montaña Åreskutan situados a unos 50 km al sur de nuestra zona de estudio), tanto estudios palinológicos como de datación de restos fósiles mediante <sup>14</sup>C (radiocarbono), revelaron el crecimiento de la especie en la zona ya hace unos 11000-9000 años (Kullman, 1995, 1996, 2001, 2002; Segerström and von Stedingk, 2003). De este modo quedaron refutadas definitivamente las anteriores teorías de inmigración y establecimiento de los primeros ejemplares del género *Picea* en Escandinavia. Con los datos obtenidos en el presente estudio, no es posible dilucidar la llegada o migración de la especie debido a que la muestra no es suficientemente antigua. No se han encontrado evidencias de *Picea abies* entre 6000 y 2400 años AP. Sin embargo, el presente estudio muestra claramente el inicio de la expansión de la especie.

A fin de vislumbrar la aparición temprana de la especie, deberían ser seleccionadas algunas de las más altas turberas circundantes para ser analizadas palinológicamente, con una distancia máxima entre ellas de 5 km. A elevadas altitudes, la probabilidad de encontrar restos de las primeras poblaciones de la especie aumenta, puesto que la especie crecía en altitudes elevadas hasta el Holoceno medio (Kullman, 1988; 2001; 2002). Otras investigaciones podrían ser enfocadas en el análisis de los sedimentos lacustres de los pequeños lagos circundantes, con el fin de recoger evidencias de pequeñas poblaciones locales. Los lagos tienen un mayor área receptora de polen, en comparación con las turberas y al mismo tiempo, algunos de ellos se formaron con anterioridad. Por lo tanto, la posibilidad de obtener evidencias de las primeras poblaciones del abeto rojo aumentan. En el laboratorio, el sub-muestreo debería hacerse con mayor resolución (cada centímetro) y contar un mínimo de 1000 granos de polen en cada sub-muestra, debido a la alta densidad de otros tipos de granos de polen (e.g. tipo *Betula*).

### Possible ruta de migración

Ya en el siglo XX, Lindquist (1948), postuló una posible área refugio en el sur y sureste de la costa Noruega. Esta hipótesis estaba basada enteramente en trabajos estratigráficos, sin la posibilidad de demostrar sus especulaciones por un medio independiente. Más tarde, la teoría más extendida de inmigración del abeto rojo sugería su proveniencia hace sobre unos 3500 años, desde Finlandia, extendiéndose hacia el oeste frontalmente en respuesta a un cambio climático, alcanzando los Escandes alrededor de 2000 años AP (Moe, 1970; Huntley & Birks, 1983). Recientemente, los hallazgos de Kullman han cambiado definitivamente la pretérita teoría, demostrando la presencia del abeto rojo en Suecia hace unos 11000 años (Kullman, 2001), sugiriendo de nuevo la posibilidad de la existencia de áreas refugio en las costas de Noruega (Kullman, 2002). Estas nuevas evidencias concuerdan con

las sugeridas por Lundquist (1948). Además, parece ser que los actuales patrones de circulación atmosférica se establecieron ya durante el Weicheliense tardío (Siegert & Marsiat, 2001), propiciando la posible ruta de migratoria occidental. Según Kullman, la teoría de la migración oriental de la especie no es suficiente para explicar sus hallazgos. Por otra parte, Giesecke y Bennet (2004) argumentan que la teoría oriental de migración del abeto rojo puede explicar con éxito la presencia temprana de la especie en los Escandes. Cabe la posibilidad de que las semillas de *Picea abies* fuesen dispersadas a larga distancia por medio de esporádicos eventos acaecidos en el Holoceno temprano (Clark *et al.*, 1998), permitiendo el establecimiento de la especie en localidades apropiadas. De hecho, muchas de las especies de árboles comunes en Escandinavia se establecieron en las montañas (Escandes) en el Holoceno temprano (Kullman, 1998).

Pero, ¿cómo pudo *Picea abies* llegar a esas áreas refugio? Recientes estudios realizados en el oeste de Rusia y norte de Finlandia, sugieren el establecimiento de la especie en el Holoceno temprano entre 11500 y 10700 años AP (Subetto *et al.*, 2002; Wohlfarth *et al.*, 2002; 2004). Estos resultados son contemporáneos con los descubrimientos de Kullman (2002). Por tanto, las poblaciones de abeto de los Escandes pudieron establecerse, procedentes de estas poblaciones norteñas, más que provenir de áreas refugio libres de hielo del sur-oeste de Noruega (Giesecke & Bennet, 2004). Birks *et al.* (2005) señalaron la debilidad de las evidencias paleoecológicas de la potencial ruta migratoria occidental sugerida por Kullman, e.g. la vegetación del sur-oeste de Noruega a fines del último periodo glacial era rala y las temperaturas en verano estaban por debajo de los límites térmicos de las especies *Betula pubescens*, *Pinus sylvestris* y *Picea abies* para permitir su supervivencia y desarrollo.

Por otra parte, el presente estudio no se localiza a una altitud adecuada o suficiente como para inferir su presencia temprana (como han demostrado los registros fósiles) pues los restos más antiguos de la especie se han encontrado en cotas mayores. En aquel momento, los requerimientos de la especie solo podían ser satisfechos a elevadas altitudes, i.e. los hallazgos más antiguos fueron encontrados a 1340 m sobre el nivel del mar.

Por otra parte, si las poblaciones de abeto rojo suecas hubiesen estado separadas durante milenarios, deberían diferenciarse claramente entre sí genéticamente. A este respecto, estudios genéticos sobre la especie llevados a cabo a nivel europeo no han demostrado tales diferencias (Sperisen *et al.* 2001). En consecuencia, no se ha podido demostrar la existencia de las dos posibles precedencias poblacionales hasta el momento. Para alcanzar una exitosa explicación del patrón migratorio un análisis enfocado solamente en las poblaciones suecas sería requerido. De ese modo, la hipotética ruta migratoria occidental podría ser inferida analizando las áreas con mayor probabilidad de estar libres de hielo, a fin de encontrar restos fósiles suficientes como para trazar el potencial gradiente migratorio.

## Conclusiones

- El presente estudio palinológico muestra el establecimiento de *Picea abies* en el área, alrededor de 2400 años AP.
- Los resultados comparados con los de otros estudios muestran la enorme diferencia temporal en el establecimiento local del abeto rojo en los Escandes centrales, variando dentro de un rango de unos 2000 años.
- El estudio muestra la evolución de la composición vegetal y estructura, pasando de bosque denso a ralo, desde el Holoceno medio.
- Este estudio no respalda la teoría de la posible ruta de migración occidental.

## **SENASTE UTGIVNA NUMMER**

- 2008:14 Författare: Hampus Roffey  
Fågelbär (*Prunus avium* L.) – Överlevnad, höjdutveckling och skador i unga planteringar på småländska höglandet
- 2008:15 Författare: Jenny Andersson  
Ekologisk landskapsplan för fastigheten Götebo 1:5
- 2008:16 Författare: Ylva Linnman-Väglund  
How is the distribution of the epiphytic lichen *Usnea longissima* affected by forest structure and logging history within stands?
- 2008:17 Författare: Anna Högdahl  
Naturvårdande skötsel (NS) – blir resultatet som man tänkt sig? En fältstudie över föryngring, trädslagsfördelning och död ved 14 år efter åtgärd
- 2008:18 Författare: Ann Österström  
Flygbildsanalys av trädskiktets status efter brand. En metodstudie
- 2008:19 Författare: Anna Karlsson  
Årstidsdynamik för kvicksilver i ett sötvattensediment
- 2008:20 Författare: John Erlandsson  
Fukthalt i GROT – påverkande faktorer
- 2008:21 Författare: Magnus Härjegård  
Föryngringsresultatet efter en vegetationsperiod med plantering, sådd och sådbrikett för svensk tall (*Pinus sylvestris* L.) och contortataall (*P. contorta*)
- 2008:22 Författare: Daniella Andersson  
Early Holocene occurrence of thermophilous trees in the Storulvån valley – a study based on pollen analysis
- 2008:23 Författare: Eva Rodriguez  
Vegetation history and *Picea abies* L. Karst. establishment in the Härjedalen province (central Sweden)
- 2008:24 Författare: David Elm  
Dikesrensning och skyddslikning – en fältstudie och utredning av behov i södra Sverige
- 2008:25 Författare: Ida Dahl  
The effects of forest clear-cutting on stream water DOC.
- 2008:26 Författare: Anders Bergman  
Betydelsen av kolkälla och mikrobiell fysiologisk status för temperaturresponsen ( $Q_{10}$ ) vid nedbrytning av organiskt material
- 2008:27 Författare: Helena Gustafsson  
The effect of moisture, litter and stand age on N fixation in the feathermoss, *Pleurozium schreberi*
- 2008:28 Författare: Pablo Martin Ortega  
Water availability controls nitrogen fixation in the feather moss *Pleurozium schreberi*
- 2008:29 Författare: Hanna Triumf  
Landskapsplanering och konnektivitetsförbättringar inom värdestrakter i Västerbottens län