

UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROFORESTAL



**Autoecología, calidad de estación y xilología de
Quercus pyrenaica Willd. en Galicia**

TESIS DOCTORAL

JOSÉ FERNÁNDEZ PARAJES

Lugo, diciembre de 2005

UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROFORESTAL

**Autoecología, calidad de estación y xilología de
Quercus pyrenaica Willd. en Galicia**

JOSÉ FERNÁNDEZ PARAJES

Ingeniero de Montes

Memoria para optar al grado de Doctor realizada bajo la dirección de los Doctores del Departamento de Ingeniería Agroforestal de la Universidad de Santiago de Compostela

DR. IGNACIO J. DÍAZ-MAROTO HIDALGO

Vº Bº

El director de la Tesis

DR. PABLO VILA LAMEIRO

Vº Bº

El director de la Tesis

IGNACIO J. DÍAZ-MAROTO HIDALGO

PABLO VILA LAMEIRO

Lugo, diciembre de 2005

DR. IGNACIO J. DÍAZ-MAROTO HIDALGO y DR. PABLO VILA LAMEIRO, Profesores del Departamento de Ingeniería Agroforestal de la Universidad de Santiago de Compostela, informan:

Que la memoria titulada “Autoecología, calidad de estación y xilología de *Quercus pyrenaica* Willd. en Galicia” presentada por el Ingeniero de Montes D. JOSÉ FERNÁNDEZ PARAJES para optar al grado de Doctor Ingeniero de Montes, fue realizada bajo nuestra dirección. Considerando que el trabajo está finalizado y es materia de tesis, autorizamos su presentación.

VºBº

EL DIRECTOR DE LA TESIS

VºBº

EL DIRECTOR DE LA TESIS

DR. IGNACIO J. DÍAZ-MAROTO HIDALGO

Lugo, diciembre de 2005

DR. PABLO VILA LAMEIRO

Lugo, diciembre de 2005

EL AUTOR

JOSÉ FERNÁNDEZ PARAJES

Lugo, diciembre de 2005

Nada en el mundo sustituye a la constancia. El talento no la sustituye, pues nada es tan corriente como los inteligentes frustrados. El genio tampoco, ya que resulta ser t3pico el caso de los genios ignorados. Ni siquiera la educaci3n sustituye a la constancia, pues el mundo est3 lleno de fracasados bien educados. Solamente la constancia y la decisi3n lo consiguen todo.

(An3nimo)

AGRADECIMIENTOS

Resulta un tanto complicado resumir en unas líneas todo el apoyo recibido durante los años que he necesitado para llevar a cabo este trabajo, espero no olvidarme de nadie y si así fuese os pido perdón de antemano.

Los trabajos desarrollados para la realización de esta tesis doctoral han sido financiados por la Xunta de Galicia a través del proyecto de investigación PGIDIT02RFO29101PR “*Estudio de modelos de clasificación visual de madera en pie de masas naturales de Quercus en Galicia*” que ha sido desarrollado en el Departamento de Ingeniería Agroforestal de la Universidad de Santiago de Compostela.

A Ignacio Javier Díaz-Maroto Hidalgo, impulsor de este estudio, por haber pensado en mí para trabajar en el proyecto de investigación que desemboca en esta tesis, y por toda la ayuda y consejos recibidos a lo largo de estos años. A mi otro tutor Pablo Vila Lameiro, por su paciencia y por estar al otro lado del teléfono siempre que me hizo falta.

A Marcos Barrio que me explicó como funcionaba todo esto y que de vez en cuando, me ayudó a superar mis agobios en el mundo de la investigación.

A mis otros compañeros del laboratorio del laboratorio de Dasometría, Miguel, Felipe, Fernando, Marina, gracias por vuestro ánimo y apoyo.

A Teresa por su ayuda en la realización del inventario y por todas esas horas de charla en el coche, “arreglando el mundo”.

A Héctor ese incombustible compañero que “sempre ten unhas palabras cando as necesitas...e unha cunca de viño da Ribeira Sacra, Grazas”.

A María por su lucha continua con el Windendro.

Gracias a Agustín y a Floro, que cortaron y trocearon todos y cada uno de los árboles utilizados en la elaboración de los datos empleados en esta tesis.

Agradezco al profesor João P. Carvalho su desinteresada colaboración y que me haya acogido en esas tierras portuguesas.

A Roque Rodríguez, Juan Gabriel Álvarez, Guillermo Riesco, Alberto Rojo y Ana Daría por esa compañía tan grata a lo largo de estos años, viéndose culminada en el IV Congreso Forestal Nacional.

También a Ulises, por supuesto, por su inestimable ayuda con las curvas de calidad, no se que hubiese hecho sin ti. Y por esos consejos que me has dado sobre la vida...nunca olvidaré esa reunión de crisis en Zaragoza. Gracias por tu tiempo.

Por supuesto a mi compañera y gran amiga, Mónica, esa psicóloga reciclada que creo que nos ha ayudado un poco a todos los componentes del laboratorio de Dasometría con sus consejos, y a mí especialmente. Posiblemente sin ti esto se habría prolongado indefinidamente.

También a todos mis amigos que han aguantado mis charlas sobre “*papers*” y este mundo de la investigación. Sobre todo a esa futura Doctora en Farmacia, gracias por tu ánimo.

Y por supuesto a mis padres sin los cuales nada de lo que he hecho hasta ahora en la vida, sería posible.

José Fernández Parajes

Lugo, diciembre de 2005

RESUMEN

Los rebollares, bosques de *Quercus pyrenaica* Willd., son un patrimonio natural de gran valor que desempeñan importantes funciones de conservación del suelo y del agua, de la biodiversidad y del paisaje natural, contribuyendo a una satisfacción económica de las poblaciones a partir de actividades como la caza, el turismo, el aprovechamiento de la madera,..., razones por las que se justifica la realización de un estudio sobre estos rebollares. Teniendo en cuenta que los estudios globales realizados sobre esta especie en Galicia son inexistentes hasta la fecha, nos planteamos hacer un trabajo en el que se describan estas masas, intentando dar a conocer su importancia a través de su caracterización ecológica, delimitación de calidades de estación, estudio de la aptitud tecnológica de la madera y de las propiedades de ésta tanto físicas como mecánicas.

Se han inventariado diferentes masas de rebollo (*Quercus pyrenaica* Willd.) distribuidas por toda la geografía gallega, analizando y caracterizando, en el primer capítulo de este trabajo, los tipos de suelos sobre los que se asientan estas formaciones, así como sus principales propiedades, utilizando, para ello, un total de 30 parámetros edáficos.

En el segundo capítulo se analiza la especie desde el punto de vista ecológico y dendrométrico; para ello hemos realizado una caracterización paramétrica de los biotopos ocupados actualmente por dicha especie, lo cual ha permitido determinar los hábitats fisiográfico, climático y edáfico, central y marginal, de *Q. pyrenaica* en Galicia y valorar la situación de sus masas desde el punto de vista selvícola.

En el capítulo tercero se incluyen las curvas de calidad para la especie en Galicia, herramienta fundamental para estimar la producción y como base para construir instrumentos prácticos de gestión de masas forestales. Dichas curvas se desarrollaron a partir del análisis de troncos de 56 árboles tipo, mediante los cuales se han calculado cuatro ecuaciones en diferencias algebraicas generalizadas (GADA).

En el capítulo cuarto se presentan los resultados de la caracterización física de la madera a partir de la determinación de una serie de parámetros (físicos) tales como contracción volumétrica de la fibra de madera, peso específico, humedad de la madera verde, dureza,..., elaborados en comparación con los resultados obtenidos para diferentes especies del género *Quercus* presentes en el noroeste de España, en concreto, *Quercus petraea*, *Q. robur* y *Q. pyrenaica*, extrayéndose conclusiones relacionadas con el diferente comportamiento observado en las tres especies.

Para finalizar, en el capítulo quinto se analiza la dependencia existente entre determinadas propiedades físicas y mecánicas de la madera de rebollo con respecto a la distancia al centro del árbol y como influye en ellas la variable altitud referida al nivel del mar.

ABSTRACT

Pyrenean oak (*Quercus pyrenaica*) stands are a very valuable natural heritage and have important functions in the conservation of soil, water, biodiversity and the natural landscape. They are also of economic value to local populations through activities such as hunting, tourism, timber exploitation,... reasons that justify their study. As no detailed studies have been made of this species in Galicia, we proposed describing the stands, attempting to establish their importance by characterising their ecological parameters, defining site index and studying the technological aptitude of the wood as well physical and mechanical properties.

Several rebollo stands throughout Galicia were studied, and the first chapter of this thesis reports the analysis and characterisation of the types of soil under the stands, as well as the main soil properties, using a total of 30 edaphic parameters.

In the second chapter the species is characterised using ecological and dendrometric parameters; for this we carried out parametric modeling of the biotopes currently occupied by the species, allowing us to determine the physiographic, climatic and edaphic habitats, including central and marginal ones, and to evaluate the silvicultural status of the stands.

The third chapter includes the site index curves for the species in Galicia, a fundamental tool for interpreting production and for elaborating practical aids to forest management; the curves were developed by analysing 56 selected trees, deriving four equations using generalized algebraic differences (GADA).

In chapter four, the results of the physical characterization of *Quercus pyrenaica* Willd. wood are reported; this was carried out to determine a series of physical parameters such as volumetric shrinkage of wood fibre, specific weight, moisture of saturated wood, hardness..., for comparison with results for the different species of the genus *Quercus* present in northwest Spain, i.e. *Quercus petraea*, *Q. pyrenaica* and *Q. robur*, and conclusions were made in relation to the different patterns observed in the three species.

Finally, in the fifth chapter the relationships between certain physical and mechanical wood properties with the distance to the centre of the tree, as well as with altitude above sea level are described.

ESTRUCTURA DE LA TESIS

El presente trabajo titulado “Autoecología, calidad de estación y xilología de *Quercus pyrenaica* Willd. en Galicia”, se ha estructurado en una primera parte en la que se analiza y describe la especie y, en una serie de capítulos con formato de artículo en los que se tratan aspectos específicos de la misma:

- I. CHEMICAL PROPERTIES AND EDAPHIC NUTRIENTS CONTENT OF NATURAL STANDS OF *Quercus pyrenaica* Willd. IN GALICIA (SPAIN)
- II. AUTÉCOLOGIE DU CHÊNE TAUZIN (*Quercus pyrenaica* Willd.) EN GALICE (ESPAGNE)
- III. SITE QUALITY CURVES FOR *Quercus pyrenaica* Willd. IN GALICIA
- IV. STUDY OF SMALL SAMPLES FOR DETERMINING THE TECHNOLOGICAL SUITABILITY OF *Quercus* spp. TIMBER
- V. PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF *Quercus pyrenaica* Willd. WOOD IN GALICIA (SPAIN)

INDICE

OBJETIVOS.....	1
INTRODUCCIÓN.....	2
Área de distribución	3
Formaciones arbóreas de <i>Quercus pyrenaica</i> Willd. en Galicia (cerqueiráis o reboleiras)	4
Morfología de la especie	5
Repoblación y actuaciones sobre el hábitat.....	6
Selvicultura.....	7
Daños, plagas y enfermedades de <i>Quercus pyrenaica</i> Willd.	9
DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS DE CAMPO	11
Localización de las masas de <i>Quercus pyrenaica</i> Willd. en el área de estudio.....	11
Forma y dimensiones de las parcelas de muestreo	11
Replanteo de las parcelas de muestreo	12
Variables medidas	13
Selección y apeo de árboles tipo	13
Descripción de perfiles y toma de muestras de suelo.....	15
Referencias bibliográficas	16
CHEMICAL PROPERTIES AND EDAPHIC NUTRIENTS CONTENT OF NATURAL STANDS OF <i>Quercus pyrenaica</i> Willd. IN GALICIA (SPAIN).....	21
INTRODUCTION.....	21
MATERIAL AND METHODS.....	22
Site description and experimental design.....	22
Identification techniques and analyses carried out.....	23
Edaphic parameters.....	23
Statistical analysis.....	23
RESULTS AND DISCUSSION.....	24
Physiography of the stands.....	24
Parent rock, texture and type of soil.....	24
Chemical properties and nutrients.....	25
Edaphic habitat and type of soil	26
Study of the variability in the edaphic properties.....	27
CONCLUSIONS.....	28

ACKNOWLEDGEMENTS.....	29
REFERENCES.....	30
AUTÉCOLOGIE DU CHÊNE TAUZIN (<i>Quercus pyrenaica</i> Willd.) EN GALICE (ESPAGNE).....	44
INTRODUCTION.....	45
MATÉRIEL ET MÉTHODES D'ÉTUDE.....	47
Positionnement de l'étude et échantillonnage.....	47
Paramètres pris en compte.....	48
Analyse statistique.....	48
RÉSULTATS.....	49
DISCUSSION.....	50
Habitat topographique du <i>Quercus pyrenaica</i> en Galice.....	50
Habitat climatique du <i>Quercus pyrenaica</i> en Galice.....	51
Habitat édaphique du <i>Quercus pyrenaica</i> en Galice.....	52
Aspects dendrométriques et sylvicoles des forêts galiciennes de <i>Quercus pyrenaica</i>	52
Relation entre les paramètres dendrométriques/sylvicoles et le biotope.....	53
REMERCIEMENTS.....	54
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	55
SITE QUALITY CURVES FOR <i>Quercus pyrenaica</i> Willd. IN GALICIA.....	69
INTRODUCTION.....	69
DATA.....	70
METHODS.....	71
Methods for constructing a site model.....	71
Models.....	72
Data structure and model fitting.....	75
Model comparison.....	76
Selection of reference age for site quality evaluation.....	76
RESULTS AND DISCUSSION.....	77
REFERENCES.....	79
TABLES.....	82
FIGURES.....	83
STUDY OF SMALL SAMPLES FOR DETERMINING THE TECHNOLOGICAL SUITABILITY OF <i>Quercus spp.</i> TIMBER.....	87
INTRODUCTION.....	87
MATERIAL AND METHODS.....	88
Study area, origin and composition of the stands under study.....	88
Collection of samples and analytical techniques used.....	89

Statistical analysis.....	89
RESULTS.....	90
Description of the physical properties analysed.....	90
Study of the distribution function of the parameters analysed.....	90
Intra- and interspecific variation of the parameters analysed.....	91
Bivariate relationships between characteristic wood parameters.....	91
DISCUSSION.....	92
CONCLUSIONS.....	95
REFERENCES.....	96
PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF REBOLLO OAK (<i>Quercus pyrenaica</i> Willd.) WOOD IN GALICIA (SPAIN).....	103
INTRODUCTION.....	103
MATERIAL AND METHODS.....	105
Study area.....	105
Description of sampling and data recording.....	105
Statistical analysis.....	106
RESULTS.....	107
DISCUSSION.....	107
CONCLUSIONS.....	108
ACKNOWLEDGEMENTS.....	108
REFERENCES.....	109
APPENDICES.....	112
CONCLUSIONES GENERALES.....	118

OBJETIVOS

El principal objetivo de este trabajo es hacer una descripción pormenorizada de *Quercus pyrenaica* Willd. en Galicia, dada la escasez de estudios globales sobre la especie.

Para lograr este objetivo genérico es necesario la consecución de los siguientes objetivos específicos:

1. Caracterizar los tipos de suelos sobre los que se asienta la especie, así como sus principales propiedades.
2. Realizar una caracterización paramétrica de los biotopos ocupados actualmente por dicha especie, desde el punto de vista ecológico y selvícola.
3. Desarrollar las curvas de calidad de estación de *Quercus pyrenaica* Willd. en Galicia.
4. Caracterizar mediante parámetros físicos la madera de para diferentes especies del género *Quercus* presentes en el área de estudio, ya que son parámetros que permiten predecir cual va a ser la estabilidad dimensional de la madera puesta en servicio.
5. Relacionar entre algunas de las propiedades físicas y mecánicas de la madera con la distancia desde el centro del árbol hasta la corteza y analizar la influencia de la altitud en estas propiedades.

INTRODUCCIÓN

El roble melojo o rebollo (*Quercus pyrenaica* Willd.) es una especie con escasa importancia económica si se compara con otras especies que crecen en el noroeste de la Península Ibérica. No obstante, dentro del área de estudio tiene una importante potencialidad para su expansión, aunque hoy en día condicionantes estructurales como son el tipo y estructura de la propiedad y los largos turnos necesarios, imposibilitan que se le preste un mayor interés, a pesar de ser una especie capaz de producir madera de elevada calidad (Díaz-Maroto et al., 2006).

Los estudios globales realizados sobre la especie en el noroeste peninsular eran inexistentes hasta la fecha. Recientemente, se ha publicado un trabajo extenso sobre ella en Portugal (Carvalho et al., 2005), en el que se describe su ecología, se hace una descripción botánica y morfológica, se analiza el ecosistema (flora, fauna, ciclo hídrico...), su madera (características estructurales, propiedades químicas, físicas, mecánicas y tecnológicas, así como una serie de procesos y potenciales utilidades), la instalación de las masas (semillas, preparación del terreno...), gestión, crecimiento y producción de la especie en Portugal.

Quercus pyrenaica Willd. es la quinta especie en importancia de Galicia en cuanto a superficie se refiere, según los datos del Tercer Inventario Forestal Nacional, con 101.000 ha, por detrás de *Pinus pinaster* (390.000 ha), *Quercus robur* (195.000 ha), *Eucalyptus globulus* (178.000 ha) y las masas mixtas de *P. pinaster* y *E. globulus* (159.000 ha) (Xunta de Galicia, 2001). Aunque los rebollares se pueden encontrar en la mayor parte de Galicia, solo en la zona sur de la provincia de Lugo y en la provincia de Ourense es frecuente ver masas de *Quercus pyrenaica* de superficie apreciable (Silva-Pando y Rigueiro, 1992). A pesar de estos datos en cuanto a cabida, su importancia económica es muy baja debido al mal estado que presentan sus masas, motivado principalmente por la degradación genética que ha venido sufriendo la especie a lo largo de los siglos y por la generalización de prácticas antiselvícolas como los trasmochos o mondas y la entresaca por huroneo de los mejores ejemplares (Carvalho y Loureiro, 1996; Barrio et al., 2000; Díaz-Maroto et al., 2006). También se pueden citar el elevado número de incendios forestales que se registran en los rebollares, el cual, puede atribuirse a las características climáticas y socio-económicas de las áreas en que habita la especie, así como a la propia estructura de sus masas, en las que el matorral suele encontrarse bien representado (Díaz-Maroto et al., 2006).

Un aspecto importante a tener en cuenta es la situación actual de decaimiento de muchas especies arbóreas y, en particular, del género *Quercus*; el conocimiento de la autoecología de estas formaciones puede tener interés de cara a los estudios de diagnóstico y proceso de recuperación de los robledales,

para llegar a determinar su potencialidad y analizar las posibilidades de expansión, así como vital para decidir las medidas a tomar en su conservación (Díaz-Maroto et al., 2005; Díaz-Maroto et al., 2006).

La descripción dendrométrica de los robledales de *Quercus pyrenaica* ha sido uno de los ejes alrededor del cual ha girado este trabajo. Es preciso poder facilitar la información a los gestores selvícolas para actuar en función de sus objetivos en cuanto a productos deseados, inversiones disponibles y orientación asignada a la masa. En consecuencia, se busca la definición de unas curvas de calidad de estación para el conjunto de las masas en el área de estudio. Su cálculo permitirá contrastar la información de masas procedentes de enclaves distintos, así como discutir sobre el comportamiento de una masa de una determinada calidad, en función de los resultados obtenidos para otra masa distinta pero de la misma o semejante calidad (Bengoa, 1999).

También es necesario relacionar la gestión selvícola de las masas con la producción de madera en el caso de las masas productoras (Fernández Golfín y Díez, 1995; Fernández Golfín et al., 2001a; Fernández Golfín et al., 2001b). Más concretamente se describirán una serie de parámetros físicos de la madera y su influencia con respecto a la altitud, donde también tendremos en cuenta algunas propiedades mecánicas de ésta (Fernández-Parajes et al., 2005).

El presente trabajo es, pues, un punto de partida necesario para el conocimiento de alguno de estos aspectos y para aportar datos de interés a otros investigadores de los sistemas forestales así como también significará un pequeño aporte al conocimiento de una especie tan ligada al medio gallego pero tan desconocida y tan poco estudiada.

ÁREA DE DISTRIBUCIÓN

El rebollo es una especie de distribución mediterráneo-occidental que se extiende por gran parte del suroeste de Francia, alcanzando Bretaña, Península Ibérica y noroeste de Marruecos, habiéndose citado también al norte de Italia (Ceballos y Ruíz de la Torre, 1979; Mesón, 1982; Mesón, 1983; Amaral, 1990; Carvalho et al., 2005; Díaz-Maroto et al., 2006). En la Figura 1 se muestra la distribución mundial de la especie (Ceballos, 1966).



Fig. 1. Distribución de *Quercus pyrenaica* en el mundo (Ceballos, 1966).



Fig. 2. Distribución de *Quercus pyrenaica* en España.

En España ocupa una superficie de unas 660.000 ha, encontrándose distribuida en muchas provincias de norte a sur del país, sobre todo en el norte y centro occidental. Se distribuye esencialmente por las provincias de León, Cáceres, Salamanca, Zamora, Soria, Burgos, Palencia y Ourense (Fig.2) (Ruíz de la Torre, 1991; Carvalho et al, 2005).

En Galicia, *Quercus pyrenaica* se presenta en grandes masas en la provincia de Ourense y mitad sur de Lugo, aunque también se puede encontrar en el resto, mezclado con *Q. robur*, con el que entra en contacto a lo largo de una ancha banda de ecotonía (Díaz-Maroto et al., 2006). En esta zona intermedia que con variable amplitud sigue la línea del curso medio del Miño hasta Chantada, continuando por Sarria y Becerreá hasta más arriba de A Fonsagrada, ambas especies se mezclan, formando bosques mixtos, produciéndose insensiblemente la transición de los robledales colinos o montanos a los melojares orocantábricos o a los meso o supramediterráneos más meridionales (Grandas, 1997).

FORMACIONES ARBÓREAS DE *Quercus pyrenaica* Willd. EN GALICIA (CERQUEIRÁIS O REBOLEIRAS)

Quercus pyrenaica forma bosques fundamentalmente en las zonas montañosas gallegas (entre los 600 y los 1.300 m) de carácter más mediterráneo. El robledal de *Quercus pyrenaica* constituye la vegetación climácica de grandes zonas del sur de la provincia de Lugo y sectores interiores de las de Pontevedra y Ourense, dentro de la alianza *Quercion pyrenaicae*, propia de un clima continental más xérico (Bellot, 1966; Díaz-Maroto, 1997).

Se han descrito un total de once asociaciones fitosociológicas con presencia de *Quercus pyrenaica* (Rivas-Martínez, 1987; Valle et al., 1988), además habría que añadir una asociación francesa y otra marroquí (Mesón, 1982). Respecto a la superficie que ocupan dentro de la Península Ibérica solo seis tienen suficiente entidad: *Linario triornithophorae-Quercetum pyrenaicae* Rivas-Martínez et al. 1984, *Holco molli-Quercetum pyrenaicae* Br.-Bl., P. Silva y Rozeira 1956, *Genisto falcatae-Quercetum*

pyrenaicae Rivas-Martínez in Penas y Díaz 1985, las cuales están también representadas en Galicia (Silva-Pando y Rigueiro, 1992), *Luzulo forsteri-Quercetum pyrenaicae* Rivas-Martínez 1963, *Arbutus unedonis-Quercetum pyrenaicae* Rivas-Martínez 1987 y *Festuco heterophyllae-Quercetum pyrenaicae* Br.-Bl. 1967 (Rivas-Martínez, 1987). Todos estos bosques son hábitat de interés comunitario tal y como señala la Directiva 92/43/CEE, de ahí la necesidad de su conservación (Mesón, 1983; Grandas et al., 1997; Carvalho et al., 2005).

MORFOLOGÍA DE LA ESPECIE

Quercus pyrenaica es una angiosperma dicotiledónea de la familia de las fagáceas (*Fagaceae*). Pertenece al subgénero *Lepidobalanus*, Sección *Dascia*, como *Quercus pubescens*.

Nombre vulgar: Roble; Roble tocio (Santander); Roura (Cataluña); Melojo (centro y centro Este de la Península Ibérica); Rebollo (centro Oeste y Sur de la Península Ibérica); Ametza (Euskadi); Tartúa (mata de *Q. pyrenaica* en Euskadi); Marojo (centro Este de la Península Ibérica); Roble negro y Sapiego (Asturias); Tocorno (Ávila) (Ceballos y Ruíz de la Torre, 1979); carballo negro, cerqueiro, rebolo, cerquiño, carballo-moural (Galicia) (Silva-Pando y Rigueiro, 1992).

Nombre extranjero: Chêne tauzin, Chêne brosse (Francia); Iberische Eiche (Alemania) (Ceballos y Ruíz de la Torre, 1979); carvalho-negral, carvalho-pardo y carvalho-das-beiras (Portugal); Chêne tauzin (Marruecos) (Carvalho et al., 2005).

Sistema radical: Sistema radical potente con dos tipos de raíces, una raíz principal profunda y desarrollada, característica común del género, y numerosas raíces horizontales, superficiales, de las cuales nacen numerosos brotes (estolones), que en muchos casos, rodean al árbol como si estuviera en medio de una mata de monte bajo (Amaral, 1990).

Copa, tronco, ramas y yemas: Tronco más irregular y menos elevado que en los robles genuinos (*Quercus robur* y *Q. petraea*), indicando una acentuación del tránsito a las quercoideas xerófilas. Primeramente es liso, aunque forma pronto un ritidoma espeso, duro, no corchoso, resquebrajado por surcos longitudinales profundos y otros transversales más finos y someros (Ceballos y Ruíz de la Torre, 1979; Mesón, 1982).

La copa es ancha e irregular, abundantemente ramificada desde poca altura y con las ramas principales a bastante altura del suelo (Mesón, 1982). Ramillas péndulas, las jóvenes pardas, angulosas, luego grisáceas con vello o tomento de pelos estrellados, persistentes y muchas lenticelas pequeñas (Silva-Pando y Rigueiro, 1992).

Brotes blanco-plateados o sonrosados, aterciopelados, parduscos al secarse. Yemas amarillentas, aovadocónicas, agudas u obtusas, de 4-9 mm, con escamas tomentosas. Células sexuales con $2n = 24$ cromosomas (Ceballos y Ruíz de la Torre, 1979).

Carácteres foliares: Hojas simples, alternas, marcescentes o subpersistentes; en las estaciones frías se marchitan en otoño, mientras que en climas benignos pueden llegar verdes a Noviembre o Diciembre; sobre matas o árboles jóvenes permanecen marchitas casi todo el invierno. Pecíolo hasta de 22 mm. Limbo membranoso o subcoriáceo, más recio en las hojas adultas, de 7-16 por 4-10 cm, trasovado o anchamente oblongo, lobulado hasta profundamente pinnatífido, con 4-8 pares de lóbulos estrechos, agudos, muy divergentes, y bastantes lobulillos secundarios; los senos pueden llegar hasta el nervio central, siendo las hojas pinnatisectas. Hojas blanquecinas o sonrosadas en los bordes al desarrollarse, luego verde-cenicientas; haz con abundante tomento, estrellado, persistente, más denso y largo, aterciopelado en el envés y más o menos ásperas al tacto en las dos caras. Nervio medio muy prominente en la parte inferior; secundarios muy abiertos, más o menos sinuosos, bien destacados hasta el vértice de cada lóbulo y muchos nervios sinuales (Ceballos y Ruíz de la Torre, 1979). La foliación tiene lugar ya bien entrada la primavera. La marchitez de la hoja es, según se expuso, tardía, retardándose mucho su caída.

Carácteres florales: Amentos masculinos laxifloros, de 3-8 cm, apareciendo en grupos, como disciplinas. Flores masculinas con perigonio de 6-8 lóbulos dentados, vellosos y 6-12 estambres de filamentos pelosos. Flores femeninas aglomeradas o en grupos racemiformes, de 1 a 4, sentadas o cortamente pedunculadas, vellosas, con perigonio largo, estrecho y aplicado, de 5-8 lóbulos y 3 estilos, divergentes desde la base.

Carácteres del fruto: Frutos maduros sentados o sobre un pedúnculo corto o largo, hasta 3 cm, a veces más, recio, recto, tomentoso; cúpula vellosa, hasta 15 x 14 mm, con escamas cortas, las inferiores más anchas y apretadas, las superiores poco o nada salientes del borde; bellotas muy amargas, de endocarpo lampiño, parecidas a las de *Quercus petraea* (Silva-Pando y Rigueiro, 1992).

REPOBLACIÓN Y ACTUACIONES SOBRE EL HÁBITAT

Las repoblaciones realizadas con esta especie son muy escasas y fundamentalmente corresponden a plantaciones de carácter protector realizadas por los distintos Servicios Forestales Provinciales de la Consellería do Medio Rural. Estas repoblaciones, son en muchos casos, pequeños rodales en zonas de mejor suelo, en el marco de repoblaciones más amplias con coníferas.

Actualmente y al abrigo del proyecto LIFE, se han emprendido acciones para lograr la conservación y recuperación efectiva de los principales hábitats de interés comunitario (descritos en la Directiva Hábitat 92/43/CEE) como los bosques de *Quercus petraea* y *Q. pyrenaica* (hábitat 9230), siendo la especie prioritaria hacia la que se han orientado muchas de las acciones de este proyecto, el oso pardo.

La mayoría de las acciones de restauración del hábitat se han efectuado en la “Serra dos Ancares” y han consistido en desbroces y clareos realizados de forma manual, los cuales se han extendido a una superficie final de 346 ha (Xunta de Galicia, 2004). Su objetivo primordial ha sido potenciar la

recuperación del bosque en zonas con abundante regenerado natural de frondosas, habiéndose realizado repoblaciones con especies autóctonas de forma adicional a los desbroces. En este caso la Administración ha primado los desbroces manuales frente a las repoblaciones, justificándolo por los motivos siguientes (Xunta de Galicia, 2004):

- En Os Ancares existen importantes masas de regenerado que, con el tratamiento adecuado, pueden consolidarse como bosques en pocos años
- Los bosques procedentes de regeneración natural presentan mayor diversidad de especies y producen fruto mucho antes que las repoblaciones forestales
- Las masas de regenerado se desarrollan rápidamente en Os Ancares gracias a las condiciones climáticas de humedad y temperatura
- A igual superficie tratada, resulta mucho más económico favorecer la regeneración natural que afrontar una repoblación.

De los datos anteriores se puede adivinar que el panorama en cuanto a repoblaciones con *Quercus pyrenaica* es muy sombrío. Las malas condiciones selvícolas de las masas naturales y sobre todo los altos turnos de corta son las principales causas que provocan el prácticamente uso nulo de esta especie en repoblación forestal por parte de los propietarios particulares o de las comunidades de montes.

SELVICULTURA

Las variaciones estacionales de las áreas donde aparece la especie, así como las características socioeconómicas, reflejadas en los tratamientos sobre las masas y la estructura de la propiedad, hacen que las manifestaciones del rebollar sean muy diversas, desde monte alto de espesura completa y gruesos fustes a formaciones de porte subarbustivo, con numerosos y raquíticos brotes de raíz.

Los rebollares puros, frecuentes en áreas de montaña del sur de Lugo y de Ourense, tienen pocas posibilidades para la producción de madera de calidad. Otros aprovechamientos y usos, como el protector, paisajístico, cinegético o pastoral, pueden ser en este caso los principales.

Es precisamente de la actividad de pastoreo extensivo de la que derivan la mayoría de los incendios que periódicamente asolan los rebollares. Debe indicarse al respecto que existen otras técnicas para asegurar la transitabilidad y la producción de pasto, sin necesidad de acudir al fuego que degrada el monte por erosión y elimina el arbolado. En un rebollar tratado convenientemente siempre será posible un aprovechamiento silvopastoral (Álvarez et al., 2000).

En montes de rebrotes pueden mantenerse las cortas en monte bajo si interesa la producción de leñas. En caso de degradación importante o de interés principal silvopascícola pueden realizarse cortas selectivas de aclareo en los rebrotes para favorecer la existencia de pasto (aprovechamiento ganadero o cinegético) o efectuar plantaciones de enriquecimiento con especies de mayor interés comercial. En este último caso, se suelen utilizar coníferas (*Pinus pinaster* y *P. sylvestris*), aunque la sustitución

sistemática y en grandes masas no parece conveniente, pudiendo usar además frondosas en las mejores estaciones (Álvarez et al., 2000).

Muchas zonas de rebollar presentan cada vez mayor importancia cinegética de caza mayor, y es muy recomendable reducir las fuertes espesuras de las masas para favorecer la transitabilidad y la existencia de pasto.

Los tratamientos en monte bajo para leñas fijan un turno de 20 a 25 años, pudiéndose dejar una reserva de unos 200 pies/ha para apaarlos a los 40 años. La reserva escalonada de pies, cada vez que se efectúa una corta de monte bajo, da lugar a montes medios, que prácticamente no aparecen representados en el Noroeste de España (Rodríguez y Vega, 1998).

Ambos métodos, monte bajo y monte medio, pueden tener cierto interés en algunas zonas, pero están en desuso debido al bajo consumo de leñas, que parece reactivarse en los últimos años por la vuelta de las chimeneas tradicionales.

La evolución natural del rebollar (propagación por brotes de raíz) y la evolución posterior a los incendios nos conduce en la mayoría de los casos a masas de gran densidad con pies altos y delgados. En estas circunstancias la copa está poco desarrollada, es estrecha y limitada a la parte superior del árbol. En consecuencia, se produce un estancamiento de la masa y las guías se secan con frecuencia. En estas condiciones una acelerada puesta en luz aumenta el riesgo de descopes, al combar el árbol con la nieve en invierno o con el peso de la masa foliar derivada de la puesta en luz (Barrio et al., 2000).

Es frecuente que al iniciar las operaciones de clareos nos encontremos con densidades del orden de 20.000 a 30.000 pies/ha o más, que después de sucesivos clareos, con extracciones del 50%, quedarán en 2.000 a 2.500 pies/ha (Rodríguez y Vega, 1998).

Con estas intensidades de corta se debería controlar la aparición de brotes epicórmicos, a los que tiene gran tendencia el rebollo tras la puesta en luz.

Las claras afectarán a los pies deformes, torcidos y puntisecos, y a los árboles lobo; serán mixtas y se debe prevenir la aparición de un subpiso inferior de rebrotes, favoreciendo el pastoreo posterior a la corta y actuando preferiblemente en agosto-septiembre, para que el rebrote inducido se hiele en invierno (Álvarez et al., 2000).

Las plantaciones de esta especie tienen un objetivo protector o restaurador. Se pueden realizar con unas densidades de 2000 pies/ha (2 x 2,5 m), con planta de una o dos savias, preferentemente en envase, o bien mediante siembra de bellota en casillas. Se pueden plantear repoblaciones mixtas, pie a pie, con coníferas, como pino silvestre o laricio, en proporción de tres a uno, frondosa-conífera.

DAÑOS, PLAGAS Y ENFERMEDADES DE *Quercus pyrenaica* Willd.

Entre los principales agentes bióticos causantes de enfermedades, además de los ataques fúngicos comunes a otras especies, generalmente letales, como los desarrollados por *Armillaria mellea* y otros hongos similares, merece especial mención el *oidium* (*Microsphaera alphitoides*), hongo de las hojas, que puede llegar a causar daños graves en las masas de esta especie en climas húmedos.

Ataca principalmente a hojas, ramillas jóvenes y flores, cubriéndolas de un micelio blanquecino-grisáceo, que posee esporas asexuales (conidios) y le dan un aspecto harinoso polvoriento (Mansilla, 1997). *Quercus robur* es particularmente sensible a este hongo, más que cualquier otra especie del género *Quercus* (Mansilla, 1997; Halder, 2002).

Las esporas del *oidium*, muy numerosas sobre la cubierta blanquecina, son transportadas por el viento en su mayoría y también por los animales. Su desarrollo se ve favorecido por temperaturas suaves acompañadas de abundantes lluvias. Es prácticamente imposible el tratamiento sobre las masas adultas, siendo preciso acometer dichos tratamientos sobre plantas en vivero o bien en las regeneraciones naturales. El *oidium* es muy sensible a los productos azufrados, pudiéndose aplicar azufre coloidal o Bénomyl (funguicida sistémico) que es igualmente eficaz para el control de la enfermedad (Bary-Lenger y Nebout, 1993).

Otro hongo, pero en este caso, que afecta a las raíces es *Armillaria mellea*. Vive especialmente sobre viejos tocones donde aparece en otoño en forma de “sombreros” color miel, de ahí su nombre, salpicados de pequeñas escamas; parásito, porque se desarrolla sobre los pies de *Quercus pyrenaica* provocando la pudrición de las raíces y matando progresivamente las plantas que infecta. También ha sido citado, en relación con el deterioro de los robledales de *Quercus pyrenaica*, *Phytophthora* spp. (Carvalho et al., 2005).

En cuanto a las plagas, destaca *Altica quercetorum*, que es un activo defoliador de especies del género *Quercus*. Su presencia en Galicia fue detectada por primera vez en 1990, momento en que empezaron a observarse sus daños. A partir de entonces comenzó una rápida expansión constituyendo, en algunos momentos, un problema importante (Lombardero et al., 1993). En el norte español manifiesta una clara preferencia por *Quercus robur*, aunque también ataca a *Quercus petraea* y *Q. pyrenaica* (Lombardero et al., 1993).

Este insecto ha causado serios problemas en los robledales de *Quercus pyrenaica*, ya que tanto las larvas como los adultos se alimentan del parénquima de las hojas esqueletizándolas. Aunque el ataque del insecto no llega a causar la muerte del árbol directamente, la defoliación continuada produce su debilitamiento y el ataque de otros insectos oportunistas (Fernández de Ana et al., 1996).

La expansión de *Altica quercetorum* pareció deberse a las condiciones climáticas que se produjeron antes y durante su desarrollo. Estas condiciones propiciaron el debilitamiento de los robles y favorecieron la multiplicación del insecto que alcanzó niveles epidémicos en varios focos para posteriormente dispersarse en una gran área. El retorno en 1994 a valores medios de precipitación y

temperatura junto con los tratamientos realizados (Flufenoxuron, Metoxicloro, *Bacillus thurigiensis* var. *tenebrionis* y Deltametrín) contribuyeron a la desaparición de la plaga (Fernández de Ana et al., 1996).

Además de *Altica quercetorum*, también podemos citar : *Curculio elephas*, *Euproctis chysorrhoea*, *Malacosoma neustria* y *Periclista andrei*, como plagas importantes en los rebollares gallegos. A excepción de *Curculio elephas*, cuyas larvas se desarrollan en el interior de la bellota, las restantes especies se alimentan de las hojas de su hospedante (defoliadoras) (Carvalho et al., 2005).

DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS DE CAMPO

LOCALIZACIÓN DE LAS MASAS DE *Quercus pyrenaica* Willd. EN EL ÁREA DE ESTUDIO

La localización de las masas de *Quercus pyrenaica* se hizo partiendo de fuentes de información, diferentes según la zona en cuestión.

Una referencia de partida común a todos los casos fueron diferentes trabajos de carácter ecológico y fitosociológico para la especie (Rivas-Martínez, 1987; Ruíz de la Torre, 1991; Grandas et al., 1997).

Algunas de las masas ya habían sido localizadas en trabajos previos realizados por el equipo de investigación durante los últimos años (Grandas et al., 1997). Esa información se completó con datos provenientes de otros trabajos que hacen referencia a *Quercus pyrenaica* y con referencias cartográficas sobre distribución de vegetación en el noroeste peninsular (Ruíz de la Torre, 1991).

Por otro lado, se solicitó información a las administraciones forestales correspondientes con el fin de ratificar y profundizar en la información cartográfica analizada. Para ello, se contactó con los Guardas Forestales y Guardas Mayores de Zona y se concertaron visitas a todos los montes con potenciales masas de *Quercus pyrenaica* a medir. Posteriormente, y en función de lo observado en monte, se distribuyeron las parcelas de inventario y corta. Una vez seleccionadas las zonas se procedió a enviar la solicitud correspondiente al Servicio de Medio Ambiente Natural y al Servicio de Montes, respondiendo en ambos casos de forma afirmativa a la petición de realizar trabajos de medición y apeo de las parcelas, así como la corta de dos árboles tipo por parcela.

FORMA Y DIMENSIONES DE LAS PARCELAS DE MUESTREO

La definición de los parámetros de partida necesarios para el replanteo sobre el terreno de las parcelas, en especial tamaño y forma, así como la definición de la metodología de la toma de datos, se realizó siguiendo las recomendaciones que sobre parcelas experimentales contiene el Code of Sample Plot Procedure, de la Comisión Forestal Británica (Hummel, 1959).

Estas normas fueron adoptadas por la Unión Internacional de Institutos de Investigación Forestal (IUFRO) y, consecuentemente, por el antiguo Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias (IFIE), primero y, el Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias (INIA), posteriormente. Siguiendo

dicha normativa se elaboró el protocolo de la fase de inventario, tal y como, se describe a continuación (Hummel, 1959; Pardé, 1961; Vila-Lameiro, 2003).

Se replantearon parcelas rectangulares y con superficies comprendidas entre los 130 y los 2120 m², en función de la edad del arbolado y de la densidad de la masa, de manera que el número de pies de *Quercus pyrenaica* adultos o que superan la dimensión mínima inventariable, diámetro normal ≥ 5 cm, no esté por debajo de los 50 ejemplares (Pardé, 1961).

Además, dicha superficie está frecuentemente limitada por la homogeneidad de las masas, ya que, por un lado, se evitan las zonas en las que se forman grandes claros y, por otro, también se evitan las densidades excesivamente elevadas. Por último, para evitar el efecto borde se exige que cada parcela esté rodeada por una faja de arbolado de al menos 30 m sobre la horizontal (Madrigal, 1992; Díaz-Maroto, 1997; Vila-Lameiro, 2003).

La elección del punto de muestreo en la masa se realizó después de un reconocimiento de la misma en el que se pudiesen comprobar las distintas condiciones de desarrollo, altitud, orientación, pendiente, densidad, pluriespecificidad, existencia o no de tratamientos selvícolas, estado sanitario del arbolado, ..., tratando de localizar una zona que fuese lo más representativa de las condiciones predominantes en la masa (Pita, 1991; Ayuga et al., 1998; Balboa, 2001). Cuando esto no era posible con un solo punto, se replantearon dos o más parcelas dentro de la masa, hasta satisfacer toda la aparente variabilidad.

REPLANTEO DE LAS PARCELAS DE MUESTREO

Elegido el punto de muestreo, el replanteo de las parcelas se realizó sobre el terreno con la ayuda de una cinta métrica, escuadra óptica, cinco jalones y un Vertex III, el cual nos permite comprobar, gracias al uso de un medidor por ultrasonidos, en tiempo real, las distancias ya corregidas en función de la pendiente del terreno, lográndose que la superficie de la parcela en proyección horizontal coincida con la magnitud deseada (Forsonline, 2002; Netforet, 2002; Vila-Lameiro, 2003).

A la hora de replantar las parcelas, se dispuso su lado mayor siguiendo una curva de nivel. Esto es especialmente importante al trabajar con pendientes elevadas (lo que ocurrió en la mayoría de los casos) dado que es necesario corregir la pendiente y trabajar con dimensiones de parcela medidas sobre la horizontal (Pardé, 1961).

Para la posterior identificación de la parcela en el monte, se señalaron algunos elementos destacables en el recorrido desde el exterior al borde de la masa. Posteriormente, en el interior de la masa se puede completar su localización mediante reconocimiento visual de los árboles marcados y las coordenadas UTM tomadas en el centro de la parcela con un gps Garmin III plus.

Las parcelas replanteadas tienen carácter permanente, hecho por el cual fue necesario marcarlas adecuadamente en el monte, independientemente de su localización mediante las coordenadas descritas. Para facilitar el reconocimiento visual posterior, se realizó el marcaje de los árboles de la

parcela después de su replanteo. En primer lugar, se procedió a la numeración de todos los pies inventariables de *Quercus pyrenaica* que quedan dentro de la parcela, utilizando, para ello, una chapa de aluminio numerada, fijada sobre el árbol mediante un clavo de acero a la altura normal.

VARIABLES MEDIDAS

Una vez marcados los árboles se procedió en cada parcela a la medición de los diámetros normales, para ello, se utilizó una forcípula con apreciación milimétrica realizando una doble medición en cruz a la altura de 1,3 m. Esta operación se efectuó en la totalidad de los árboles inventariables de la parcela, independientemente de la especie a la que perteneciesen.

Posteriormente, en una muestra representativa de al menos 30 árboles por parcela, únicamente de rebollo, se realizó la medición de las alturas totales mediante el uso del VERTEX III. La elección de esos pies se realizó mediante un muestreo aleatorio dirigido, de forma que queden convenientemente repartidos entre las distintas clases diamétricas presentes en la parcela (Madrigal, 1992; Vila-Lameiro, 2003).

Una vez medida la altura de los pies se añade una muestra de árboles dominantes (Hummel, 1959; Pardé, 1961; Madrigal, 1992). La proporción de estos es variable en función de la superficie de la parcela, de forma que sea posible calcular la altura dominante según el criterio de Assmann (1970). Estos árboles pueden coincidir, en ocasiones, con alguno de los elegidos en la muestra de alturas, en cuyo caso, se eligen otros sustitutos.

Adicionalmente, se tomaron otros datos de campo que pudiesen resultar de interés, como altitud, pendiente, orientación, tipo de vegetación acompañante, conteo de pies menores de todas las especies presentes, existencia o no de preparación del terreno, desbroces, cuidados culturales, antropización de las masas,...(Pita, 1973; Vila-Lameiro, 2003). Por último, se obtuvieron las muestras de suelo. Un aspecto de referencia obligada fue reflejar si en la masa había presencia de híbridos, muy frecuentes entre pies de *Quercus pyrenaica* y de los otros dos robles mayoritarios en el área de estudio, *Quercus robur* y *Q. petraea* (Vila-Lameiro, 1998).

SELECCIÓN Y APEO DE ÁRBOLES TIPO

Con los datos del inventario se calcularon los valores medios de los diámetros y alturas correspondientes a los pies dominantes con el objetivo de seleccionar dos árboles tipo por parcela, los cuales, fueron apeados para extraer rodajas de madera que permitiesen realizar un análisis de troncos de la especie obteniendo datos de crecimiento, edad, así como, datos de resistencia y calidad de la madera e influencia que en esta tiene la calidad de estación (Riesco, 2001; Vila-Lameiro, 2003).

Estos árboles tipo se seleccionaron fuera de la parcela (para preservar su carácter de permanente) en una banda de unos 50 m alrededor de su perímetro. Su elección dentro de la parcela eliminaría ese carácter dado que serían dos pies eliminados artificialmente y que condicionarían la evolución normal de la masa. Para su localización se recorre el perímetro de la parcela, siempre en el sentido de las agujas del reloj y, se seleccionan los dos primeros árboles con diámetros y alturas totales que difieran menos de un 5 % (por exceso o por defecto) de los valores medios de la muestra de pies dominantes (Madrigal et al., 1999). Es obvio que, además de cumplir esas condiciones dimensionales, los árboles tipo seleccionados tenían que tener buen porte, sin bifurcaciones ni pérdidas de la guía terminal, no compartir cepa con otro árbol (limitando así las posibilidades de seleccionar pies procedentes de monte bajo), no presentar debilidad, daños por plagas, incendios, nieve, viento,...(Rojo y Montero, 1996).

Finalmente, cuando dos o más pies presentaban condiciones igualmente válidas para su selección, el factor determinante era la caída que cada uno de ellos iba a presentar a la hora del apeo, eligiendo aquel que menos probabilidades tuviese de quedar enganchado en los más próximos en su caída o de dañar al resto de la masa o a la vegetación acompañante.

Posteriormente, se señalaban con pintura reflectante para facilitar su reconocimiento desde el centro de la parcela en la posterior fase de corta.

Una vez seleccionados y marcados, se procedió al apeo de los mismos, procurando dejar el menor tocón posible y, posteriormente, a tomar tres mediciones iniciales: altura del tocón aguas arriba, diámetro normal y diámetro a cuatro metros de altura. Luego se limpiaba el tronco de ramas para facilitar el trabajo de la extracción de rodajas empezando por la basal, posteriormente la rodaja a 1,3 m y, a partir de ahí, se cortaron rodajas distanciadas un metro hasta llegar a un diámetro mínimo (sin dimensión fija) que no permitía la extracción de más rodajas. El proceso terminaba con la medición de la longitud total del rabeón (Vila-Lameiro y Díaz-Maroto, 2004).

La rodaja basal se extrajo en la mayoría de los casos (siempre que las condiciones lo permitían) con un grosor superior, al menos 4 cm, para posteriormente obtener probetas con las que analizar las características de la madera de *Quercus pyrenaica* (UNE-AENOR, 1972, 1977, 1978; Vila-Lameiro, 2003). Todas las rodajas eran empaquetadas consecutivamente, anotando, en cada caso, el número de la parcela en el momento de la corta, el nombre que para esa misma parcela aparece en los estadillos de inventario, el número de árbol tipo en esa parcela y el número de paquete (si el árbol se dividió en dos o más paquetes de rodajas).

La información recogida en esta etapa se completaba con la anotación de cualquier incidencia considerada de importancia a la hora del posterior análisis de las rodajas, como, defectos detectados, rodajas no extraídas por cualquier motivo, etc.

El trabajo, en ocasiones, finalizaba con la extracción de una rodaja de madera extra de 4 cm de grosor a la altura de 4 m, para la obtención de probetas que permitieran complementar la información de las rodajas basales sobre la variación de la la calidad de la madera a lo largo del fuste del árbol (Zobel y Bujtenen, 1989; Zhang et al., 1994; Díez y Fernández-Golfín, 1998).

DESCRIPCIÓN DE PERFILES Y TOMA DE MUESTRAS DE SUELO

En cada punto de muestreo, se anotaron una serie de datos (nº de perfil, fecha de observación, fisiográficos y de vegetación) y determinadas características del suelo (roca madre, tipo de suelo, humedad e influencia humana). Posteriormente, en una zona de la masa que estuviese bien definida se procedió a la apertura de una calicata, orientada según una curva de nivel con unas dimensiones aproximadas de 1,5/2 x 0,7/0,8 m (Gandullo et al., 1978) y, profundidad hasta la roca madre o, en caso de que ésta no apareciese, hasta 125 cm; diferenciando los horizontes en función del color y/o textura y recogiendo una muestra de unos 2 Kg de cada uno de ellos, previa descripción en campo, para su posterior análisis en laboratorio.

Además se realizó una breve descripción del perfil en la que se reflejan las características esenciales del suelo y se describieron cada uno de los horizontes anotando: profundidad, color, manchas de color, estructura, poros, fragmentos rocosos, nódulos minerales, presencia de raíces y límite con el horizonte subyacente.

Para la descripción del perfil se ha seguido el modelo propuesto por la FAO (1977) aunque en algunos puntos nos hemos visto obligados a introducir alguna pequeña adaptación a los perfiles de nuestra zona.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, P.; Barrio, M.; Díaz, R.A.; Higuera de Marco, J.; Riesco, G.; Rigueiro, A.; Rodríguez, R.J.; Villarino, J.J. (2000). Manual de selvicultura de frondosas caducifolias. Escola Politécnica Superior de Lugo. 116 pp.
- Amaral J. (1990). *Quercus*, En: Castroviejo, S. et al., (eds.), Flora Ibérica II, C.S.I.C., Madrid.
- Assmann, E. (1970). The principles of forest yields study. Pergamon Press, Oxford, New York. 506 pp.
- Ayuga, E.; González, C.; Martín, S.; Martínez, J.E. y Pardo, M. (1998). Técnicas de muestreo en ciencias forestales y ambientales. Ed. Bellisco. Madrid.
- Balboa, M. (2001). Estudio de crecimiento y producción de *Quercus robur* L. en los municipios de A Fonsagrada y Ribeira de Piquín (Lugo). Proyecto Fin de Carrera de la titulación de Ingeniero de Montes. Escuela Politécnica Superior de Lugo. Universidad de Santiago de Compostela. 116 pp. + anexos + planos.
- Barrio M., Díaz-Maroto I.J., Rojo A. (2000). Gestión de rebollares en montes de utilidad pública en el Parque Natural del Lago de Sanabria (Zamora), Revista Montes 62. Págs. 21-28.
- Bary-Lenger, A.; Nebout, J. P. (1993). Le chêne pédonculé et sessile en France et en Belgique. Gerfaut Club. Editions du Perron. Alleur-Liège. 604 pp.
- Bengoa, J. L. (1999). Curvas de calidad en altura para *Quercus pyrenaica* en La Rioja. Cd-Rom de Actas del Congreso de Ordenación y Gestión Sostenible de Montes. Lugo.
- Carvalho J.P.; Loureiro A. (1996). Stool and root resprouting according to different cutting seasons in a *Quercus pyrenaica* Willd. coppice, Annali Istituto Sperimentale Selvicoltura 27. Págs. 83-88.
- Carvalho, J.P.; Santos, J.A.; Reimão, D.; Gallardo, J.F.; Alves, E. (2005). O Carvalho Negral. João P. Carvalho, UTAD-CEGE. Vila Real, Portugal, 206 pp.
- Ceballos L.; Ruíz de la Torre J. (1979). Árboles y arbustos. *Quercus pyrenaica* Willd. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Madrid. Págs. 233-236.
- Díaz-Maroto, I.J. (1997). Estudio ecológico y dasométrico de las masas de carballo (*Quercus robur* L.) en Galicia. Tesis Doctoral. Inédita. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Universidad Politécnica de Madrid.
- Díaz-Maroto I.J., Vila-Lameiro P., Silva-Pando F.J. (2005). Autécologie des chênaies de *Quercus robur* L. en Galice (Espagne). Ann. Sci. For. 62 (7). Págs. 737-749.
- Díaz-Maroto I.J.; Fernández-Parajes J.; Vila-Lameiro P. (2006). Autécologie du chêne tauzin (*Quercus pyrenaica* Willd.) en Galice (Espagne). Ann. Sci. For. Vol. 63(2) (en prensa).

- Díez, M. R. y Fernández-Golfín, J.I. (1998). Influencia de diversos factores en la calidad de la madera de uso estructural de *Pinus sylvestris* L. Revista de Investigación Agraria. Serie Sistemas y Recursos Forestales. Vol 7 (1 y 2). Págs. 41-51.
- FAO. (1977). Guía para la descripción de perfiles de suelos. Servicio de Fomento y de Conservación de Suelos. Roma.
- Fernández De Ana, F.J.; Lombardero, M.J.; Martínez, A. (1996). Nuevas aportaciones sobre el defoliador *Altica quercetorum* Foudras, 1860 (col.: Chrysomelidae) en Galicia (N.O. de la Península Ibérica). Invest. Agra.: Sist. Recur. For. Vol. 5 (2). Págs. 275-305.
- Fernández-Golfín, J.I. y Díez, M.R. (1995). Influencia del anillo de crecimiento en la densidad y otras propiedades físico-mecánicas de la madera estructural de la madera de diversas especies. Revista de Investigación Agraria. Serie Sistemas y Recursos Forestales. Vol. 3 (2). Madrid. Págs. 211-219.
- Fernández-Golfín, J.I.; Díez, M.R. y Hermoso, E. (2001a). Análisis y estado del arte de la técnica de clasificación mecánica por máquina de la madera aserrada estructural (Revisión) . Revista de Investigación Agraria. Serie Sistemas y Recursos Forestales. Vol. 10 (1). Madrid. Págs. 5-19.
- Fernández-Golfín, J.I.; Díez, M.R.; Baonza, M.V.; Gutiérrez A.; Hermoso, E.; Conde, M. y Van Den Eynde, V. (2001b). Caracterización de la calidad y las propiedades de la madera del Pino Laricio (*Pinus nigra* Arn. *Salzmannii*). Revista de Investigación Agraria. Serie Sistemas y Recursos Forestales. Vol. 10 (2). Madrid. Págs. 311-331.
- Fernández-Parajes J.; Díaz-Maroto Hidalgo I.J.; Vila-Lameiro P. (2005). Physical and mechanical properties of rebollo oak (*Quercus pyrenaica* Willd.) wood in Galicia (Spain). Wood Research. Vol. 50 (4). Págs. 1-15.
- Forsonline (2002). <http://www.forsonline.org/haglof.html>: Página de información sobre material de la marca HAGLOF. Consultada en Marzo de 2002.
- Gandullo, J.M., Sánchez, O. y González, S. (1983). Estudio ecológico de las tierras altas de Asturias y Cantabria. Monografías. I.N.I.A. 49. Madrid. 203 pp + mapas.
- Grandas, J.A. (1997). Estudio Ecológico y recomendaciones selvícolas para el manejo de las masas gallegas de *Quercus pyrenaica* Willd. (Reboleiras). Proyecto Fin de Carrera. Escuela Politécnica Superior de Lugo. Universidad de Santiago de Compostela.
- Grandas J.A., Díaz-Maroto I.J., Silva-Pando, F.J. (1997). Indicadores selvícolas de la calidad de estación de los bosques gallegos de *Quercus pyrenaica* Willd, Actas II Congreso Forestal Español, Mesa Temática 4. Págs. 339-344.
- Halder, I.v. (Coord.) (2002). Guía de plagas y enfermedades forestales del sur de Europa. IEF. Bordeaux. France.
- Hoszchuch, C. (1985). An outbreak of the oak-flea beetle in Morchfeld Austria. Anzeiger fur Schadlins Kund Plan Zenschutz, Umweltschutz 51 (8). Págs. 1-11.
- Hummel, F.C. (1959). Code of sample of plot procedure. Forestry Commission Booklet. N° 34. Londres. Gran Bretaña.

- Lombardero M.J.; Rodríguez-Fernández, R.J.; Fernández de Ana, F.J. (1993). *Altica quercetorum* (Foudras, 1860) (Col.: Chrysomelidae), plaga de las “carballeiras” gallegas. Actas del I Congreso Forestal Español, III. Págs. 307-312.
- Madrigal, A. (1992). Selvicultura de hayedos. Revista Investigación Agraria. Serie Sistemas y Recursos Forestales. Fuera de Serie I (II). Madrid. Págs. 33-60.
- Madrigal, A.; Álvarez, J.G.; Rodríguez, R.J.; Rojo, A. (1999). Tablas de producción para los montes españoles. Fundación Conde del Valle de Salazar, Madrid. 253 pp.
- Mansilla, P. (1997). Problemas fitosanitarios en viveros forestales de Galicia. Prevención y tratamiento. Curso de Viveros Forestales. Proxecto Columella. Escuela Politécnica superior de Lugo, 26-29 de noviembre 1997. Pp. 43-63.
- Mesón M^a.L. (1982). Aspectos botánicos y fenológicos de *Quercus pyrenaica* Willd., Boletín de la Estación Central de Ecología 22. Págs. 15-22.
- Mesón M^a.L. (1983). Aspectos autoecológicos de *Quercus pyrenaica* Willd.: distribución y climatología, Boletín de la Estación Central de Ecología 23. Págs. 25-33.
- Netforet (2002). <http://netforet.com/>: Portal con información forestal francesa. Consultada frecuentemente. Visitada en Noviembre de 2002.
- Pardé, J. (1961). Dendrométrie. École Nationale des Eaux et Forêts. Nancy. Francia.
- Pita, P.A. (1973). El inventario en la Ordenación de Montes. Ministerio de Agricultura. Madrid.
- Pita, P.A. (1991). Potencialidad de las estaciones forestales. Curvas de calidad. Seminario sobre Inventario y Ordenación de Montes. Unidad Temática 1. Valsaín 20-28 de Mayo de 1991. Segovia. Págs. 18-39.
- Riesco, G. (2001). Estudio de las propiedades físico-mecánicas de la madera de roble (*Quercus robur* L.) de Galicia en relación con las variables del medio. Tesis Doctoral. Inédito. Universidad Politécnica de Madrid.
- Rivas-Martínez, S. (1987). Memoria y mapas de series de vegetación de España, ICONA, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid.
- Rodríguez, R.J.; Vega, P. (1998). Apuntes de selvicultura de zonas atlánticas. Unicopia. Lugo. 148 pp.
- Rojo, A.; Montero, G. (1996). El pino silvestre en la Sierra de Guadarrama. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid. 293 pp.
- Ruíz de la Torre J. (1991). Mapa Forestal de España, Dirección General de Conservación de la Naturaleza, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.
- Silva-Pando, F.J. y Rigueiro, A. (1992). Guía das árbores e bosques de Galicia. Ed. Galaxia. Vigo. 294 pp + anexos.
- UNE - AENOR. (1972). Norma 56502: Nomenclatura de las principales maderas de frondosas españolas o aclimatadas en España. Norma Española. IRANOR - AENOR. Madrid. UNE - AENOR. (1977). Norma 56529: Características físico-mecánicas de la madera. Determinación del

- contenido de humedad por desecación hasta estado anhidro. Norma Española. IRANOR - AENOR. Madrid.
- UNE - AENOR. (1977). Norma 56530: Características físico-mecánicas de la madera. Determinación del contenido de humedad mediante higrómetro de resistencia. Norma Española. IRANOR - AENOR. Madrid.
- UNE - AENOR. (1977). Norma 56531: Características físico-mecánicas de la madera. Determinación del peso específico. Norma Española. IRANOR - AENOR. Madrid.
- UNE - AENOR. (1977). Norma 56532: Características físico-mecánicas de la madera. Determinación de la higroscopicidad. Norma Española. IRANOR - AENOR. Madrid.
- UNE - AENOR. (1977). Norma 56533: Características físico-mecánicas de la madera. Determinación de las concentraciones lineal y volumétrica. Norma Española. IRANOR - AENOR. Madrid.
- UNE - AENOR. (1977). Norma 56534: Características físico-mecánicas de la madera. Determinación de la dureza. Norma Española. IRANOR - AENOR. Madrid.
- UNE - AENOR. (1978). Norma 56528: Características físico-mecánicas de la madera. Preparación de probetas. Norma Española. IRANOR - AENOR. Madrid. UNE - AENOR. (1978). Norma 56540: Características físico-mecánicas de la madera. Interpretación de resultados de los ensayos. Norma Española. IRANOR - AENOR. Madrid.
- Valle F., Gómez-Mercado F., Mota J. (1988). Los robledales de la Sierra de Segura, Anal. R. Jard. Bot. Madrid XLV(1). Págs. 247-257.
- Vila-Lameiro, P. (1998). Estudio sobre la distribución y caracterización ecológica y dasométrica de *Quercus petraea* en Galicia. Proyecto fin de carrera de la titulación de Ingeniero de Montes. Escuela Politécnica Superior de Lugo. Universidad de Santiago de Compostela.
- Vila-Lameiro, P. (2003). Estudio epidiométrico y xilológico de las masas de *Quercus petraea* (Mattuschka) Liebl. en el noroeste de la Península Ibérica. Tesis Doctoral. Inédita. Escuela Politécnica Superior de Lugo. Universidad de Santiago de Compostela.
- Vila-Lameiro, P.; Díaz-Maroto I.J. (2004). Elaboración de un procedimiento de obtención de imágenes digitales de muestras de madera para su análisis informático con WindendroTM. Actas VIII Congreso internacional de ingeniería de proyectos. Bilbao.
- Xunta de Galicia. (2001). O monte galego en cifras. Dirección Xeral de Montes e Medio Ambiente Natural. Santiago de Compostela.
- Xunta de Galicia. (2004). Boletín del proyecto LIFE 99 NAT/E/006371/INVIERNO 2003. Consellería de Medio Ambiente. Dirección Xeral de Conservación da Natureza. Santiago de Compostela. 34 pp.
- Zhang, S. Y.; Nepveu, G.; Mothe, F. (1994). Modeling intratree wood shrinkage in European oak by measuring wood density. Forest Products Journal, 44 (10). Págs. 42-46.
- Zobel, B. J.; Buijtenen, J. P. V. (1989). Wood variation. Its causes and control. Springer Verlag, Berlín. 363 pp.

CHEMICAL PROPERTIES AND EDAPHIC NUTRIENTS CONTENT OF NATURAL STANDS OF *Quercus pyrenaica* Willd. IN GALICIA (SPAIN)

Abstract

The soils where natural stands of “rebollo” oak (*Quercus pyrenaica* Willd.) occur in Galicia (NW Spain) were characterized in an inventory of 40 stands; the main properties of the soils were also determined by analyzing a total of 30 edaphic parameters. The substrates are principally siliceous, with schists and quartzes predominating; the dominant textural composition is sandy-loam, with a scarce presence of clayey-loam and sandy textures, and the soils are basically Umbric Regosol-type. The values of the parameters that reflect the chemical properties of the soil, i.e. pH, organic matter, nitrogen and the C/N ratio, are similar to those reported as optimal for *Quercus* spp. forests in the study area. However, the concentrations of macronutrients, except phosphorous, were higher than in soils under *Quercus robur*, with notably high concentrations of the micronutrient, iron.

Key words: Forest soils; Edaphic parameters; *Quercus pyrenaica*; Galicia

INTRODUCTION

The structure and chemical composition of soils are affected by the underlying geological material, climatic, physiological and biotic factors and - in older soils - the development degree, which determines soil fertility (Marschner, 1995; Mengel and Kirkby, 2001). Galician soils are typically acidic (Díaz-Fierros et al., 1982; Calvo de Anta, 1992), a fact that was first demonstrated by Muñoz and Guitián (1956). For most of the year, Galicia is subject to Atlantic storms, with the high rainfall and the intensity of precipitation during certain times of year being decisive factors differentiating the soils in the region from those in bordering areas (Calvo de Anta et al., 1978; Carballeira et al., 1983). All of this is further accentuated by the edaphic conditions, which favour infiltration, as well as the high run-off and the temperature regime, which favour weathering and therefore acidification processes (Calvo de Anta, 1979; Calvo de Anta and Díaz-Fierros, 1981; Bara, 1990). However, this does not imply poorer forest site quality, as slightly acid soils are more favourable than alkaline soils

for the development of diverse vegetation (Ortega and Montero, 1988). Nutrient richness is more important for site quality (De Visser, 1992; Thomas and Buttner, 1998), and the contents of the cations calcium, magnesium, potassium and sodium in Galician soils varies with the geological material, whereas phosphorous is irregularly distributed (Calvo de Anta, 1979).

Considering the soils under the tree species that occupy the largest surface areas in Galicia (DGCONA, 2001), those under oak, mainly *Quercus robur* and *Q. pyrenaica*, are of oligotrophic or mesotrophic character - similar to soils under pine and eucalyptus, but with a high C/N ratio, a low percentage of saturation and lower contents of exchangeable bases (K, Ca and Mg) than the latter, and with a high phosphorous content (Bara et al., 1985). They also show a higher rate of infiltration (Calvo de Anta, 1979).

There exist various studies of soils under oak, mainly *Quercus robur* (Calvo de Anta, 1979; Calvo de Anta et al., 1978, 1979; Díaz-Fierros et al., 1982; Bara et al., 1985; Van de Moortel et al., 1998; Rozados et al., 2000; Mansson and Falkengren-Grerup, 2003; Camps et al., 2004), among others. Castroviejo (1988), Díaz-Maroto (1997) and Díaz-Maroto et al. (2005) have collected a substantial amount of data on the edaphic and ecological characterization of oak (*Q. robur*) stands in Galicia. There are also studies that provide edaphic data on *Q. pyrenaica* forests in different parts of its range (Mesón 1983b; Moreno et al., 1994a, 1994b; Gallardo et al., 1995; Carvalho et al., 2005). However, hardly any edaphological studies have been carried out on these formations in Galicia, and thus it is hoped that the present study will provide valuable information about Galician soils under natural stands of *Quercus pyrenaica*, with the specific aim of the study being to characterize and analyze the main properties of these soils, with emphasis on the structure and chemical and nutritive aspects.

MATERIAL AND METHODS

Site description and experimental design

The area of study, situated in the northwest of the Iberian Peninsula, comprises the Autonomous Community of Galicia (Spain) (Fig. 1), which has a surface area of almost three million hectares and a rich lithological composition. The forests of *Quercus pyrenaica* (rebollo oak) occupy a surface area of approximately 101,000 ha, almost 8% of the total forest area of Galicia (DGCONA, 2001); the expansion of this species has been rapid, as in 1986 it occupied only 31,459 ha (Xunta de Galicia, 1988), which was slightly less than the area occupied in 1972, i.e. 35,181 ha (ICONA, 1975).

To delimit the study area, we used the information provided in the “Forest Map of Spain” (Ruiz de la Torre, 1991), selecting the sampling areas on the basis of data from nursery forests and our own data collected in previous studies. A total of 40 sampling sites were selected to describe at each: 1) physiography (Gerding and Thiers, 2002) (Table 1): altitude, slope and orientation; 2) edaphic characteristics (FAO, 1977): surface pedregosity, presence of salts and anthropogenic influence; 3) soil

profile (Table 2): parent rock, depth differentiation and description of horizons, texture (Gutián, 1964), physicochemical analysis and soil type (FAO, 1999).

Identification techniques and analyses carried out

To enable description of the soil profiles, a pit of approximately 2m length and 80 cm width was dug - where possible to the depth of the parent rock - at each site (Gutián, 1964; Gandullo, 1984). The horizons were differentiated on the basis of colour and/or texture on contact (FAO, 1977; Gandullo, 1984), and samples of approximately 2 kg of each were collected for posterior analysis in the laboratory. The following were determined for each horizon: colour (Munsell Soil Color scale); moisture content, by drying in an oven at 105 °C to constant weight; physical analysis (Piper, 1950) (separation into fine earth (particles < 2 mm) and gravel); texture (Gutián, 1964) and chemical analysis (pH with a glass electrode and micropH 2001 potentiometer in H₂O and in 0.1M KCl in a soil: medium suspension of 1:2.5); total carbon and nitrogen in a CNS-2000 autoanalyzer; organic matter (% carbon x 1.724); C/N ratio; macro and micronutrients extractable with Mehlich-3 reagent and determined by absorption and atomic emission spectrophotometry ICP-OES) (Bara, 1990; Klute, 1996).

Edaphic parameters

A total of 30 edaphic parameters were determined (Table 3); eight of these involved evaluation of the chemical properties of the soil, twenty were related to soil fertility and the remaining two to physical characteristics (Gandullo et al., 1991; Castroviejo, 1988; Rubio et al., 1997; Blanco et al., 2000). For the total value of the parameter, we obtained a standard weighted mean of the whole profile for the fine earth and total gravel parameters and for the rest, we obtained a weighted mean using the method of Russell and Moore (1968), and for the surface values we considered the data corresponding to the upper 20 cm, except when there was more than one horizon at this depth, in which case it was necessary to calculate a weighted mean.

Statistical analysis

A database was elaborated using the values of the edaphic characters determined in the Galician *Quercus pyrenaica* forest, and was analyzed using univariate statistics (Walpole et al., 1999). Also, the following values were determined (Gandullo et al., 1991; Rubio et al., 1997; Blanco et al., 2000; Díaz-Maroto et al., 2005): Lower limit (LL), Lower threshold (LT): 10th percentile; Mean (M); Upper threshold (UT): 90th percentile and Upper limit (UL), from which it was possible to define the edaphic habitat of *Quercus pyrenaica*, in this case focussing on the type of soil according to the following criteria (Gandullo et al., 1991; Gaines and Denny, 1993; Díaz-Maroto et al., 2005):

1. A habitat is considered as optimal, in terms of a particular parameter, when the interval defined by upper and lower threshold limits is formed by 80% of the sampling points. This theoretically defines the ideal edaphic conditions for a species in the study area.
2. A habitat is considered as marginal, in terms of a particular parameter, when the intervals between the lower limit and threshold and between the upper threshold and limit are formed by the remaining 20% of the sampling points. In this case the non optimal condition makes the suitability of the area less likely.

Finally, Principal Components Analysis (PCA) was used to analyze the variability in the properties of the different types of soil in combination with the edaphic parameters. The analysis allowed us to define a group of new variables or vectors (4 or 5 depending on the soil), resulting from the combination of the 30 initial parameters (Walpole et al., 1999; Sas Institute Inc., 2004).

RESULTS AND DISCUSSION

Physiography of the stands

The data corresponding to the altitude, slope and orientation of each of the stands sampled is shown in Table 1. Most Galician rebollo oaks occupy areas of moderate slope, although they also occur in valley bottoms, as a result of the anthropogenic pressure that they have suffered in the form of forest fires and overharvesting for firewood and charcoal (Grandas et al., 1997; Carvalho et al., 2005). They are located in areas of medium to high altitude of variable orientation, but with a preference for sunny areas, particularly in the north of the study area; in the south they show preference for shady areas due to the greater Mediterranean influence (Ceballos and Ruiz de la Torre, 1979; Silva-Pando and Rigueiro, 1992).

Some rebollo oak stands have also become established in areas far from their optimal habitat (Rivas-Martínez, 1987; Silva-Pando and Rigueiro, 1992), although in these cases they are usually crossed with other species of *Quercus*, such as *Quercus petraea* in Os Ancares (Doiras and Pedrafitá) and *Q. robur* in the inland areas of the province of Lugo (Table 1), in sites with a hyperhumid Oceanic climate, less suitable for the establishment of *Quercus pyrenaica* (Allué, 1991; Mesón, 1983a).

Parent rock, texture and type of soil

The geological material in Galicia is highly heterogeneous, with lithologies of a mainly siliceous nature (Silva-Pando and Rigueiro, 1992; Camps et al., 2004). Data corresponding to the parent rock, texture (Gutián, 1964; Brady, 1990), diagnostic horizons and type of soil (FAO, 1999) in each of the stands are shown in Table 2.

Siliceous substrates are present in all of the rebollo oak stands sampled, except in Fonsagrada I, where the substrate is of amended limestone and dolomites, with schists, quartzites, slates, gneiss and granites dominating (Grandas et al., 1997), giving rise to loamy textures, mainly sandy loam soils, which occur in half of the stands (Table 2). The O Incio stand was notable as the parent rock is of sand and clays, with the clayey/loam texture being attributable to its location in an area of fluvial sediments. Although many rebollo oaks are established in deep soils and watercourses, others have become established in shallow soils in sloping areas, where repeated fires have given rise to loss of soil. However, *Q. pyrenaica* adapts well to both situations because of the two types of root that it possess, a main pivotal root that penetrates to great depth, and a dense network of shallow horizontal roots (Ceballos and Ruiz de la Torre, 1979; Amaral, 1990; Carvalho et al., 2005).

Quercus pyrenaica studied are mainly established on Umbric Regosols (FAO, 1999) (54%), and to a lesser extent on Humic Umbrisols (25.64%), Dystric Cambisols (15.38%), Umbric Leptosols (5.12%) and Gleyic Cambisols (2.56%) (Table 4). The characteristics of the different types of soil found are shown in Table 5.

Chemical properties and nutrients

The descriptive statistics of the edaphic parameter, for both the total profile as for the upper 20 cm, are shown in Table 6. The values for pH, organic matter, nitrogen and C/N ratio, indicators of the most important chemical and biological properties of the soil (Brady, 1990; Hagen-Thorn et al., 2004), are similar to those reported as optimal for *Quercus* spp. forests in general (Mesón, 1983b; Van der Moortel et al., 1998; Mansson and Falkengren-Grämp, 2003; Díaz-Maroto and Vila, 2005).

Most of the soils are strongly acidic ($4.7 < \text{pH} < 5.5$) (Wilde, 1946), although the pH of some soils may be lower (e.g. the total pH of the soil in the A Gudiña stand was 4.3) or higher (reaching values higher than 6, i.e. moderately acidic, in the Ramilo stand). The high rainfall in a large part of Galicia (Carballeira et al., 1983) accentuates the acid character of the soils (Calvo de Anta, 1979; Calvo de Anta and Díaz-Fierros, 1981); however the acidity does not prevent them being adequately humified, as demonstrated by the values of the C/N ratio (Mansson and Falkengren-Grämp, 2003; Hagen-Thorn et al., 2004), giving rise to moder and occasionally, mull type humus (Carvalho et al., 2005). The rate of mineralization may be considered to occur at a normal rhythm, as analysis of the data corresponding to the upper 20 cm of soil shows that the mean content of organic matter is relatively low, the pH 5.18 and the C/N ratio higher than 18 (Caravaca et al., 1999; Hagen-Thorn et al., 2004) (Table 6).

The concentrations of macronutrients (Table 6), except for phosphorous, were higher than those in soils under *Quercus robur* (Díaz-Maroto and Vila, 2005; Díaz-Maroto et al., 2005), and similar to those reported by Santa Regina et al. (1991) and Gallardo et al. (1995), even though these soils are developed on substrates containing low levels of base cations (Nilsson et al., 1995). The concentrations of phosphorous may indicate that the areas presently occupied by rebollo oaks have not

undergone a change in land use, e.g. from crop growing (Aramburu et al., 1984; Grandas et al., 1997). As regards the micronutrients (Table 6), a high concentration of iron and, to a lesser extent, a low concentration of zinc were notable, with the concentrations of the other elements being similar to those obtained in other studies in both broadleaves and coniferous forests (Gómez-Rey and Calvo de Anta, 2002; Hagen-Thorn et al., 2004; Rudawska and Leski, 2005).

Respect to physical characteristics, the gravel content was approximately 40%, with maximum values of more than 70% (Table 6). The possible relation between some chemical parameters and the loam content (Mengel and Kirkby, 2001) is demonstrated by the higher concentration of nutrients in rebollo oak stands on soil of loamy texture, compared with *Quercus robur* stands, in which soils of sandy texture predominate (Díaz-Maroto et al., 2005).

Edaphic habitat and type of soil

These were only determined for the three predominant types of soil in the rebollo oak stands inventoried: Umbric Regosol (21), Humic Umbrisol (10) and Dystric Cambisol (6) (Table 4).

The edaphic habitat of the Umbric Regosols is shown in Fig. 2, in which it can be seen that certain edaphic characteristics are not suitable for fixing the upper value of the optimal habitat, given the wide range of upper marginal values (Gandullo et al., 1991; Blanco et al., 2000; Díaz-Maroto et al., 2005): organic matter, total and surface N, total and surface Mn and surface Ni as, to a lesser extent, total and surface P. The most notable characteristics were as follows:

- The pH values of the optimal habitat ranged between 4.89 and 5.38 and those of marginal habitats, between 4.30 and 6.13 (Fig. 2), corresponding to a range of soils varying between strongly to moderately acidic (Wilde, 1946). The surface pH showed a similar pattern. The organic matter content was low and for optimal habitats ranged between 1.39 and 6.06% for the total profile and between 1.89 and 7.72% for the upper 20 cm (Fig. 2). The optimal values of the C/N ratio varied widely and indicates adequate humification (Mansson and Falkengren-Grämp, 2003) and a normal rate of mineralization (Caravaca et al., 1999).

- The optimal habitat showed higher contents of exchangeable base cations than in the soils under *Quercus robur* within the study area (Díaz-Maroto et al., 2005), however the concentration of phosphorous was lower, probably because the stands correspondes to mature forests that had not undergone changes in land use (Grandas et al., 1997). The micronutrient iron was present at high concentrations, with a wide optimal range (Fig. 2). Wide optimal ranges of fine earth and gravel contents were also apparent.

In the case of Humic Umbrisols (Fig. 3) only the macronutrient calcium and surface magnesium showed very wide upper marginal ranges, making them unsuitable parameters for fixing the upper value of optimal habitats. The most noteworthy characteristics of the edaphic habitat of these types of soils were as follows:

- There was a wide range of optimal habitats for the total pH, with values ranging between 4.94 and 5.46, close to the marginal limits (Fig. 3), corresponding to strongly acidic soils on the Wilde acidity scale (1946).
- A similar pattern was also seen with the organic matter and nitrogen parameters, in both the total profiles and the surface layers, which may indicate ideal edaphic conditions for *Quercus pyrenaica* in Umbrisol-type soils (Gaines and Denny, 1993; Díaz-Maroto et al., 2005). However, the range of optimal values of the C/N ratio was narrower, although also indicated adequate humification and a normal rate of mineralization.
- The content of macronutrients, except for calcium, was lower than in regosol-type soils, and the concentrations of micronutrients were similar.

As regards the physical characteristics, the total gravel content was higher than in Regosols or Cambisols ones.

Dystric Cambisols were only represented in six rebollo oak stands, indicating that, within the study area, rebollo stands are generally established on less well developed soils than the Atlantic oaks, *Quercus robur* and *Q. petraea*. All are strongly acidic (Wilde, 1946) with a mean pH value of 5.20 for the total profile and 5.23 for the upper 20 cm. The organic matter content was even lower than in other soils, with a mean value of 2.09% in the total profile and 3.04% in the surface layer (Fig. 4). These data, along with the high values of the C/N ratio indicate that both the rate of humification and the rate of mineralization are more rapid in Cambisols than in Regosols and Umbrisols, giving rise to mull-type forest humus (Gallardo et al., 1995; Hagen-Thorn et al., 2004). Except for phosphorous, the concentrations of macro and micronutrients were lower, which may indicate that these rebollo oak stands are situated in areas where crops were once cultivated (Carvalho et al., 2005; Díaz-Maroto et al., 2005). The contents of gravel and fine earth were similar in the Regosols.

Study of the variability in the edaphic properties

The results of the Principal Components Analysis applied to the 30 edaphic parameters considered for the whole group of soils were difficult to interpret, therefore as for edaphic habitat, PCA was carried out for each of the three most representative soil types.

Considering the Umbric Regosols, 5 new variables accounted for 81% of the total variability. The significance of these parameters ranged from low (accounting for 9.1% of the variability) to high (accounting for more than 28% of the variability) (Table 7). The significance of these variables affected the following variables to a greater or lesser degree: total and surface concentrations of Ni, Cu and Mg, gravel, fine earth, and total and surface concentrations of Zn and P.

In the case of the Humic Umbrisols, more than 90% of the variability was accounted for by only 4 new variables (Table 7); the first, corresponding to the surface concentrations of various micronutrients (Ni, Mg and Mo) accounted for 43.3% of the variability. The second variable, basically

the total and surface C/N ratio accounted for 22.3% of the variability. The other two were total and surface P, which accounted for 18.6% and 6.3% of the variability respectively.

Almost 95% of the variability in the Dystric Cambisols was accounted for by only 4 variables (Table 7). The first, which included the total and surface concentration of the micronutrient Mo as well as surface Mg, accounted for 39.6% of the variability, the second depended on total K (23.8%), the third on the total C/N ratio (18.6%) and the fourth on surface pH (12.9%).

In the three types of soil the total and surface concentrations of a series of micronutrients that are essential for plant development account for the edaphic variability (Bara, 1990; Marschner, 1995; Mengel and Kirkby, 2001); more specifically these are Ni (which is involved in the mobilization of nitrogenous compounds), Cu (which facilitates the electronic transport systems of plants), Zn (which ensures the regulation of nutritive equilibrium) and Mb (which plays an important role in assimilation and metabolism of N). A study carried out with different European forest species (Hagen-Thorn et al., 2004) (*Quercus robur*, *Tilia cordata*, *Fraxinus excelsior*, *Betula pendula*, *Fagus sylvatica* and *Picea abies*), comparing their impact on the chemistry of mineral topsoil, showed that there were no significant differences among them in terms of the concentrations of Cu and Mg, with the concentration of Zn, being significantly lower in birch than in oak stands.

Within the macronutrients, only Mg, P and K appear as explicative variables. The behaviour of P is noteworthy, as it was present at particularly low concentrations, probably because the oak stands under study were mature and had not undergone any change in land use (Grandas et al., 1997).

The C/N ratio also explains the pattern of edaphic properties, in this case, in Humic Umbrisols and Dystric Regosols. Analysis of the relationship between pH and organic matter revealed a negative correlation, i.e. a low pH implies a high content of organic matter, in direct contrast to the positive correlation between the organic matter content and C/N ratio (Caravaca et al., 1999; Mansson and Falkengren-Grerup, 2003).

Finally, the results of the PCA applied to the Regosols revealed the granulometry to be significant i.e. the gravel and fine earth accounted for 14.5% of the variability. The surface pH was also significant for the Cambisols, and although it only accounted for 12.9% of the variability, it is particularly important in biological processes (Mengel and Kirkby, 2001).

CONCLUSIONS

Rebollo oak stands in Galicia have suffered from forest fires to the posterior grazing of emergent shoots by livestock, and also by overharvesting for firewood and charcoal; at present most stands are therefore located in areas of moderate slope, of medium to high altitude, with preference for sunny positions. Siliceous substrates are dominant, although some stands may become established on amended limestone, with sandy loam textures predominating. The depth of the soil is often more than

100 cm, although the soils may sometimes be shallow. As regards the type of soil, in the study area *Quercus pyrenaica* occurred on less well developed soils than other oaks (*Quercus robur* and *Q. petraea*). More than half of the sampled stands occur on Umbric Regosols with a deep A horizon, which may sometimes be subdivided.

In general, the soils are strongly acidic, although this did not prevent adequate humification, giving rise to mull or moder type humus. The rate of mineralization may be considered normal and the chemical parameters are optimal for this type of forest. With the exception of P, the remaining macronutrients are present at higher concentrations than those found in *Q. robur* stands. The concentrations of micronutrients, except for F and Zn, are similar to those obtained in both coniferous and broadleaf forest stands.

The analysis of the edaphic habitat for each type of soil did not reveal any important differences among them (the Cambisols differed most from the other soils), as the most well developed forest soils within the study area correspond to other tree species, to the detriment of *Quercus pyrenaica* forests, which sometimes tend to occupy areas far from their optimal habitat, and where they usually appear crossed with other species of *Quercus*.

The results of the PCA for each type of soil revealed that the micronutrients Ni, Cu, Zn and Mb are particularly important in describing the variability in *Quercus pyrenaica* edaphic properties. The macronutrients Mg, P, K and the C/N ratio are secondary in importance.

ACKNOWLEDGEMENTS

The present study was financed by the Xunta de Galicia (project no. PGIDT02RFO29101PR) and was carried out in the Agroforestry Engineering Department of the Santiago de Compostela University.

REFERENCES

- Allué, M., 1991. Posición fitoclimática general de *Quercus pyrenaica* Willd. *Studia Oecologica* VIII, 185-193.
- Amaral, J., 1990. *Quercus*. In: Castroviejo, S. et al., (Eds.). *Flora Iberica* II. CSIC, Madrid.
- Aramburu, M.P., Escribano, R., Martínez, E., Sáenz, D., 1984. Análisis de la distribución de *Quercus pyrenaica* Willd en el Sistema Central. E.T.S.I.M., Madrid.
- Bara, S., 1990. Fertilización forestal. Consellería de Agricultura, Gandería e Montes, Xunta de Galicia, Santiago de Compostela.
- Bara, S., Rigueiro, A., Gil, M.C., Mansilla, P., Alonso, M., 1985. Efectos ecológicos del *Eucalyptus globulus* en Galicia. Estudio comparativo con *Pinus pinaster* y *Quercus robur*. Monografías INIA 50, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid.
- Blanco, A., Rubio, A., Sánchez, O., Elena, R., Gómez, V., Graña, D., 2000. Autoecología de los castaños de Galicia (España). *Invest. Agr. Sist. Recur. For.* Vol. 9 (2), 337-361.
- Brady, N.C., 1990. *The nature and properties of soils*, 10^a ed. McMillan, New York.
- Calvo de Anta, R., 1979. Efectos de la vegetación (*Quercus robur* y *Pinus radiata*) sobre las propiedades del suelo: Ciclos de agua y elementos. PhD Thesis, Universidad de Santiago de Compostela.
- Calvo de Anta, R., 1992. El eucalipto en Galicia. Sus relaciones con el medio natural. Universidad de Santiago de Compostela.
- Calvo de Anta, R., Díaz-Fierros, F., 1981. Consideraciones acerca de la acidificación de los suelos de la zona húmeda española a través de la vegetación. *Anales de Edafología y Agrobiología* 40 (3-4), 411-425.
- Calvo de Anta, R., Paz, A., Díaz-Fierros, F., 1978. Nuevos datos sobre la influencia de la vegetación en la formación del suelo en Galicia (I): Intercepción de la precipitación. *Anales de Edafología* 38 (7-8), 1151-1163.
- Calvo de Anta, R., Paz, A., Díaz-Fierros, F., 1979. Nuevos datos sobre la influencia de la vegetación en la formación del suelo en Galicia (II): Aporte de elementos por lavado de cubierta y tronco. *Anales de Edafología* 38(9-10), 1675-1691.
- Camps, M., Mourenza, C., Álvarez, E., Macías, F., 2004. Influence of parent material and soil type on the root chemistry of forest species grown on acid soils. *For. Ecol. Manag.* 193, 307-320.
- Caravaca, F., Lax, A., Albadalejo, J., 1999. Organic matter, nutrient contents and cation exchange capacity in fine fractions from semiarid calcareous soils. *Geoderma* 93, 161-176.

- Carballeira, A., Devesa, C., Retuerto, R., Santillan, E., Uceda, F., 1983. Bioclimatología de Galicia. Xunta de Galicia-Fundación Barrie de la Maza, A Coruña.
- Carvalho, J. (coord.), 2005. O Carvalho Negral. U.T.A.D., Vila Real, Portugal.
- Castroviejo, M., 1988. Fitoecología de los montes de Buio y Sierra del Xistral (Lugo). Consellería de Agricultura, Gandería e Pesca, Xunta de Galicia.
- Ceballos, L., Ruíz de la Torre, J., 1979. Árboles y arbustos. E.T.S.I.M. de Madrid.
- De Visser, P.H.B., 1992. The relation between chemical composition of oak tree rings, leaf, bark, and soil solution in a partly mixed stand. *Can. J. For. Res.* 22, 1824-1831.
- Díaz-Maroto, I.J., 1997. Estudio ecológico y dasométrico de las masas de carballo (*Quercus robur* L.) en Galicia. PhD Thesis, Universidad Politécnica de Madrid.
- Díaz-Maroto, I.J., Vila, P., 2005. Seasonal evolution soil chemical properties and macronutrients in natural forests of *Quercus robur* L. in Galicia, Spain. *Agrochimica (International Journal of Plant Chemistry, Soil Science and Fertilization)* 49 (5-6), 201-211.
- Díaz-Maroto, I.J., Vila, P., Silva-Pando, F.J., 2005. Autoecology of oaks (*Quercus robur* L.) in Galicia, Spain. *Ann. For. Sci.* 62 (7), 737-749.
- Díaz-Fierros, F., Calvo de Anta, R., Paz, A., 1982. As especies forestáis e os solos de Galicia. *Cuad. Area Cienc. Agrarias, Sem. Est. Gall.* 3, 15-30.
- DGOCNA, 2001. Tercer Inventario Forestal Nacional 1997-2006: Galicia. Ministerio de Medio Ambiente, Dirección General de Conservación de la Naturaleza, Madrid.
- Duchaufour, Ph., 1984. Edafogenesis y clasificación. In: Duchaufour, Ph. and Souchier, B. (Eds.). *Edafología Vol. 1*. Masson, Barcelona.
- FAO, 1977. Guía para la descripción de perfiles de suelos. Roma.
- FAO, 1999. World Reference Base for Soil Resources. *World Soil Resources Reports*, 84.
- Gaines, S.D., Denny, M.W., 1993. The largest, smallest, highest, lowest, longest and shortest: extremes in ecology. *Ecology* 74, 1677-1692.
- Gallardo, J.F., Santa Regina, I.S., Harrison, A.F., Howard, D.M., 1995. Organic matter and nutrient dynamics in three ecosystems of the “Sierra de Bejar” mountains (Salamanca Province, Spain). *Acta Oecol.* 16 (4), 447-459.
- Gandullo, J.M., 1984. Clasificación básica de los suelos españoles. E.T.S.I.M. de Madrid.
- Gandullo, J.M., Bañares, A., Blanco, A., Castroviejo, M., Fernández, A., Muñoz, L., Sánchez, O., Serrada, R., 1991. Estudio ecológico de la laurisilva canaria. Colección Técnica ICONA, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid.
- Gerding, V., Thiers, O., 2002. Caracterización de suelos bajo bosques de *Nothofagus betuloides* (Mirb) Blume, en Tierra de Fuego, Chile. *Rev. Chil. Hist. Nat.* 75, 819-833.
- Gómez-Rey, M.X., Calvo de Anta, R., 2002. Datos para el desarrollo de una red integrada de seguimiento de la calidad de suelos en Galicia (NO de España): Balances geoquímicos en suelos

- forestales (*Pinus radiata*). 1. Aportes de elementos por deposición atmosférica y hojarasca. Edafología Vol. 9(2), 181-196.
- Grandas, J.A., Díaz-Maroto, I.J., Silva-Pando, F.J., 1997. Indicadores selvícolas de la calidad de estación de los bosques gallegos de *Quercus pyrenaica* Willd. Actas II Congreso Forestal Español, Mesa Temática 4: 339-344.
- Gutián, F., 1964. Técnicas de análisis de suelos. Monografías de Ciencia Moderna, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid.
- Hagen-Thorn, A., Callesen, I., Armolaitis, K., Nihigard, B., 2004. The impact of six European tree species on the chemistry of mineral topsoil in forest plantations on former agricultural land. For. Ecol. Manag. 195, 373-384.
- ICONA, 1975, I Inventario Forestal de España, Ministerio de Agricultura, Madrid.
- Klute, A., 1996. Methods of Soil Analyses, 2nd ed. American Society of Agronomy.
- Mansson, K.F., Falkengren-Grerup, U., 2003. The effect of nitrogen deposition on nitrification, carbon and nitrogen mineralization and litter C:N ratios in oak (*Quercus robur* L.) forests. For. Ecol. Manag. 179, 455-467.
- Marschner, H., 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants, 2nd ed., Academic Press.
- Mengel, K., Kirkby, E.A., 2001. Principles of Plant Nutrition, 5th ed. Kluwer Academic.
- Mesón, M^a.L., 1983a. Aspectos autoecológicos de *Quercus pyrenaica* Willd.: distribución y climatología. Bol. Estación Central de Ecología 23, 25-33.
- Mesón, M^a.L., 1983b. La influencia sobre el suelo de *Quercus pyrenaica* Willd. Boletín de la Estación Central de Ecología 24, 21-26.
- Moreno, G., Gallardo, J.F., Cuadrado, S., 1994a. Deposición atmosférica de bioelementos y su modificación por la cubierta vegetal en bosques de *Quercus pyrenaica* de la Sierra de Gata (Salamanca). En: Gallardo J.F. (ed.), Proc. XI Simposium Internacional de Biogeoquímica Ambiental: 201-215, Junta de Castilla y León.
- Moreno, G., Gallardo, J.F., Cuadrado, S., Hernández J., 1994b. Dinámica estacional de la humedad edáfica en bosques de *Quercus pyrenaica*, considerando un gradiente pluviométrico. En: Gallardo J.F. (ed.), Proc. XI Simposium Internacional de Biogeoquímica Ambiental: 163-168, Junta de Castilla y León.
- Muñoz, M., Gutián, F., 1956. Sur le pH des sols Galiciens. VI Congr. Int. Soil Sci.
- Nilsson, L.O., Hüttl, R.F., Johansson, U.T., Jochleim, H., 1995. Nutrient uptake and cycling in forest ecosystems - present status and future research directions. *Plant and Soil*, 168-169: 5-13. In: Proceedings of the CEC/SUFRO Symposium Nutrient Uptake and Cycling in Forest Ecosystems. Nilsson, L.O., Hüttl, R.F., Johansson, H., Eds.
- Ortega, A., Montero, G., 1988. Evaluación de la calidad de estaciones forestales. Revisión bibliográfica. Ecología 2, 155-184.
- Piper, C.S., 1950. Soil and Plant Analysis. The University of Adelaide.

- Rivas-Martínez, S., 1987. Memoria y mapas de series de vegetación de España. ICONA.
- Rozados, M.J., Silva-Pando, F.J., Alonso, M., Ignacio, M.F., 2000. Parámetros edáficos y foliares en una masa de *Quercus robur* L. en Galicia (España). Invest. Agr. Sist. Recur. For. Vol. 9 (1), 17-30.
- Rubio, A., Escudero, A., Gandullo, J.M., 1997. Sweet chestnut silviculture in a ecological extreme of its range in the west of Spain (Extremadura). Ann. For. Sci. 54, 667-680.
- Rudawska, M., Leski, T., 2005. Macro- and microelement contents in fruiting bodies of wild mushrooms from the Notecka forest in west-central Poland. Food Chemistry 92, 499-506.
- Ruiz de la Torre, J., 1991. Mapa Forestal de España. Varias hojas. DGCONA, Instituto Geográfico Nacional, Min. de Medio Ambiente, Madrid.
- Russell, J.S., Moore, A.W., 1968. Comparison of different depth weightings in the numerical analysis of anisotropic soil profile data. 9th. Int. Cong. Soil Sci. 4, 205-213.
- SAS Institute Inc., 2004. SAS/STAT[®] 9.1. User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Santa Regina, I.S., Gallardo, J.F., Rico, M., Martín, A., Gallego, H.A., Moreno, G., Cuadrado, S., 1991. Datos preliminares sobre biomasa aérea, producción y características edafoclimáticas de ecosistemas forestales de *Quercus pyrenaica* (Sierra de Gata, Salamanca), III Jornadas de la Asociación Española de Ecología Terrestre, León.
- Silva-Pando, F.J., Rigueiro, A., 1992. Guía das árbores e bosques de Galicia. Ed. Galaxia.
- Thomas, F.M., Buttner, G., 1998. Nutrient relations in healthy and damaged stands of mature oaks on clayey soils: two case studies in northwestern Germany. For. Ecol. Manag. 108 (3), 301-319.
- Van de Moortel, R., Rampelberg, S., Deckers, J., 1998. Condition of *Quercus robur* L. along a natural Luvisol microtoposequence on loess in Central Belgium. Soil Use Manage. 14(3), 184-186.
- Walpole, R.E., Myers, R.H., Myers, S.L., 1999. Probabilidad y estadística para ingenieros, 6^a ed. Prentice Hall, Londres.
- Wilde, S.A., 1946. Forest soils and forest growth. Chronica Botanica Comp. Waltham.
- Xunta de Galicia, 1988. Avance do Segundo Inventario Forestal Nacional 1986. Consellería de Agricultura, Gandería e Montes, Santiago de Compostela.

Table 1. Forest inventory plots, including number, name, code, province and physiography (altitude, slope and orientation).

Number	Name	Code	Province	Altitude (m)	Slope (%)	Orientation
1	A Golada	OR	Pontevedra	532	34	southwest
2	A Gudiña	AG	Ourense	983	7	northeast
3	A Veiga I	MD	Ourense	956	27	southwest
4	A Veiga II	SN	Ourense	1095	29	northeast
5	As Nogais	NO	Lugo	886	60	north
6	Castro Caldelas	CC	Ourense	550	39	south
7	Corgo	TO	Lugo	387	0	---
8	Covas	CO	Ourense	1054	14	southwest
9	Doiras	DO	Lugo	627	49	northwest
10	Entrimo	ET	Ourense	559	6	southeast
11	Escairón	CZ	Lugo	450	29	northwest
12	Fonsagrada I	FO	Lugo	602	55	south
13	Fonsagrada II	TR	Lugo	660	63	northwest
14	Guntín I	FE	Lugo	485	30	southwest
15	Guntín II	VM	Lugo	414	34	south
16	Láncara	NE	Lugo	454	14	northwest
17	Muiños	MU	Ourense	621	42	east
18	O Curro	CU	Lugo	1172	0	---
19	O Incio	OI	Lugo	576	17	southwest
20	Os Blancos I	CA	Ourense	1136	20	southwest
21	Os Blancos II	OB	Ourense	824	22	southeast
22	Os Blancos III	TB	Ourense	862	31	southwest
23	Pedradita	PE	Lugo	1273	7	northwest
24	Pexeiros	PX	Ourense	1005	26	southeast
25	Pías	PI	Ourense/Zamora	1205	16	northwest
26	Ramilo	RA	Ourense	1125	25	northwest
27	Ríos	RI	Ourense	856	20	south
28	Rodeiro	RO	Pontevedra	772	0	---
29	San Cibrao das Viñas	CV	Ourense	300	0	---
30	San Xoán do Rio I	SX	Ourense	813	45	west
31	San Xoán do Rio II	PR	Ourense	720	40	north
32	Sober I	AM	Lugo	474	0	---
33	Sober II	BL	Lugo	516	13	south
34	Santa Comba	SC	Lugo	429	11	west
35	Valdín	RC	Ourense	1311	0	---
36	Viana do Bolo I	VB	Ourense	990	41	northwest
37	Viana do Bolo II	BO	Ourense	715	46	west
38	Vilar de Barrio I	AR	Ourense	598	20	south
39	Vilar de Barrio II	VI	Ourense	927	33	southwest
40	Vilardevós	VV	Ourense	1032	20	northwest

Table 2. Parent rock, texture, diagnostic horizons and type of soil (FAO, 1999) in the *Quercus pyrenaica* stands under study.

Stand	Parent rock	Texture	Horizons/depth (cm)	Type of soil
A Golada	Schists	Sandy-loam	A(0-30);AB ₁ (30-50);AB ₂ (>50)	Umbric Regosol
A Gudiña	Phyllite	Loamy	A(0 >60)	Umbric Regosol
A Veiga I	Granodiorite	Sandy loam	A ₁ (0-10);A ₂ (10 >100)	Umbric Regosol
A Veiga II	Gneiss	Loamy sand	A(0-40);BC(40-80)	Humic Umbrisol
As Nogais	Slates, sandstones	Loamy	A(0-60);B(60-70);C(70 >100)	Humic Umbrisol
Castro Caldelas	Gneiss	Sandy loam	A(0-16);AB(16-40);B(>40)	Umbric Regosol
Corgo	Schists	Sandy loam	A(0-40)	Umbric Regosol
Covas	Schists, quartzites	Loamy sand	A(0-60);B(60 >100)	Dystric Cambisol
Doiras	Slates, quartzites	Loamy sand	A(0-20)	Umbric Leptosol
Entrimo	Granodiorites	Sandy	A(0-20);B(20 >100)	Dystric Cambisol
Escairón	Granite	Loamy sand	AB(0-20);C(20-30)	Umbric Regosol
Fonsagrada I	Dolomites	Sandy loam	A(0-20);AB(20-50);BC(50 >100)	Humic Umbrisol
Fonsagrada II	Slates	Loamy	A ₁ (0-60);A ₂ (60 >100)	Umbric Regosol
Guntín I	Schists, quartzites	Sandy loam	A(0-10);B(10-30);C(30 >70)	Umbric Regosol
Guntín II	Schists	Sandy loam	A ₁ (0-15);A ₂ (15 >100)	Umbric Regosol
Láncara	Schists	Sandy loam,	A(0-35)	Umbric Regosol
Muiños	Migmatites	Sandy loam	A(0-30);C(30 >150)	Umbric Regosol
O Curro	Quartzites, slates	Loamy	A(0-30);BC(30 >80)	Cambisol Gleyic
O Incio	Sand, clays	Clayey loam	A(0-30);AB(30-80);C(80 >150)	Humic Umbrisol
Os Blancos I	Schists, quartzites	Loamy sand	A(0-60);B(60 >100)	Humic Umbrisol
Os Blancos II	Schists, quartzites	Sandy	A(0-40);C(40 >150)	Umbric Regosol
Os Blancos III	Schists, quartzites	Sandy	A(0-30);C(30 >120)	Umbric Regosol
Pedrafita	Quartzites, slates	Loamy	A(0-30); BC(30 >80)	Humic Umbrisol
Pexeiros	Schists, quartzites	Sandy loam	A(0-40);AB(40-80);BC(80 >150)	Umbric Regosol
Pías	Migmatites	Sandy loam	A(0-40);B(40 >80)	Dystric Cambisol
Ramilo	Gneiss	Sandy loam	A(0 >80)	Umbric Regosol
Rios	Quartzites	Loamy	A(0-20);B(20-40);C(40 >120)	Humic Umbrisol
Rodeiro	Two mica granite	Sandy loam	A(0 >100)	Umbric Regosol
S. Cibrao das Viñas	Schists, quartzites	Sandy loam	A(0-15);B(15-45);C(45 >100)	Umbric Regosol
San Xoán do Rio I	Gneiss	Sandy loam	A(0-14);AB(14-35);B(>35)	Umbric Regosol
San Xoán do Rio II	Gneiss	Loamy	A ₁ (0-10);A ₂ (10-20)	Umbric Regosol
Sober I	Schists	Sandy loam	A(0-20);B(20-35);C(35 >180)	Humic Umbrisol
Sober II	Schists	Sandy loam	A(0-15);B(15-40);C(40 >150)	Humic Umbrisol
Santa Comba	Pelitic schists	Loamy	A ₁ (0-20);A ₂ (20 >100)	Umbric Regosol
Valdín	Gneiss	Loamy sand	A(0-30);BC(30-90)	Humic Umbrisol
Viana do Bolo I	Migmatites	Loamy sand	A(0-15);C(15 >30)	Umbric Leptosol
Viana do Bolo II	Two mica granite	Sandy loam	A(0-50);B(50 >100)	Dystric Cambisol
Vilar de Barrio I	Two mica granite	Sandy loam	A(0 >60)	Umbric Regosol
Vilar de Barrio II	Two mica granite	Loamy sand	A ₁ (0-40);A ₂ (40-70);B(70 >100)	Dystric Cambisol
Vilardevós	Phyllite and slates	Sandy loam	A(0-15);B(15-80)	Dystric Cambisol

Table 3. Edaphic parameters considered.

Número	Parameter	Parameter code
1	total pH in H ₂ O	PH
2	surface pH in H ₂ O	PHS
3	total organic matter (%)	MO
4	Surface organic matter (%)	MOS
5	Total nitrogen (%)	N
6	Surface nitrogen (%)	NS
7	Total carbon/nitrogen ratio	C/N
8	Surface carbon/nitrogen ratio	C/NS
9	Total available phosphorous (ppm)	P
10	Surface available phosphorous (ppm)	PS
11	Total exchangeable potassium (ppm)	K
12	Surface exchangeable potassium (ppm)	KS
13	Total exchangeable calcium (ppm)	Ca
14	Surface exchangeable calcium (ppm)	CaS
15	Total exchangeable magnesium (ppm)	Mg
16	Surface exchangeable magnesium (ppm)	MgS
17	Total exchangeable iron (ppm)	Fe
18	Surface exchangeable iron (ppm)	FeS
19	Total exchangeable manganese (ppm)	Mn
20	Surface exchangeable manganese (ppm)	MnS
21	Total exchangeable copper (ppm)	Cu
22	Surface exchangeable copper (ppm)	CuS
23	Total exchangeable zinc (ppm)	Zn
24	Surface exchangeable zinc (ppm)	ZnS
25	Total exchangeable molybdenum (ppm)	Mo
26	Surface exchangeable molybdenum (ppm)	MoS
27	Total exchangeable nickel (ppm)	Ni
28	Surface exchangeable nickel (ppm)	NiS
29	Total fine earth (particles < 2mm) (%)	TF
30	Total gravel (particles > 2mm) (%)	GRA

Table 4. Percentage distribution of the sampled stands on the basis of soil type (FAO, 1999).

Type of soil	Nº of stands	Percentage
Umbric Regosol	21	53.84
Humic Umbrisol	10	25.64
Dystric Cambisol	6	15.38
Umbric Leptosol	2	5.12
Gleyic Cambisol	1	2.56

Table 5. Characteristics of the different types of soil (FAO, 1999).

Type of soil	Characteristics
Umbric Regosol	Formed from unconsolidated material. Parent rock variable, depth > 100 cm in many cases. Type profile with diagnostic Umbric, deep A horizon, which may appear subdivided. Most rebollo oak stands are located on these soils, less developed than those under <i>Quercus robur</i> stands (Díaz-Maroto et al., 2005).
Humic Umbrisol	Appears in the As Nogais, Rios, Sober I and Sober II stands with profiles A; B; C. The O Incio and A Fonsagrada I stands show profiles A; AB; C and A; AB; BC, respectively, always at a depth of more than 1 m on variable substrate. The remaining stands with this type of soil show only two horizons, A, and either B or BC, with no clear differentiation between them.
Dystric Cambisol	Present on all types of lithology with profiles A; B. Well developed B horizon, ranging between 30 and 80 cm (Entrimo stand), constituting deep and well developed stands that lie directly over the parent rock (Castroviejo, 1988) and are maintained at this stage of development mainly because of the nature of the organic remains, which prevent greater differentiation of the profile (Duchaufour, 1984; Brady, 1990).
Umbric Leptosol	Poorly developed shallow soil with a diagnostic Umbric A horizon. Only appears in Doiras stand, profile A(0-20) and Viana do Bolo I stand, A(0-15); C(15>30) (Table 2).
Gleyic Cambisol	Only appears in the O Curro stand, with A; BC profile, depth > 80 cm. Loamy texture soil on parent rock of quartzites and slates.

Table 6. Descriptive statistics of edaphic parameters (n = 40).

Parameter	Mean	σ_{n-1}	CV (%)	Maximum	Minimum
pH	5.19	0.29	5.61	6.13	4.30
PHS	5.18	0.33	6.38	6.13	4.30
MO (%)	4.102	2.691	65.591	11.300	1.010
MOS (%)	5.510	3.784	68.665	16.792	1.434
N (%)	0.151	0.118	78.343	0.555	0.024
NS (%)	0.196	0.151	76.876	0.592	0.034
C/N	18.36	4.92	26.79	31.92	10.10
C/NS	18.35	5.16	28.09	31.61	10.45
P (ppm)	9.445	13.268	140.477	71.600	0.770
PS (ppm)	9.528	13.500	141,687	72.315	0.760
K (ppm)	104.414	61.971	59.351	280.590	21.920
KS (ppm)	116.428	63.269	54.342	267.260	30.935
Ca (ppm)	154.405	222.897	144.359	935.760	0.010
CaS (ppm)	174.981	290.350	165.932	1396.896	0.010
Mg (ppm)	61.229	62.212	101.604	236.950	4.158
MgS (ppm)	62.956	68.519	108.836	265.320	4.158
Fe (ppm)	140.115	95.074	67.854	477.310	42.610
FeS (ppm)	147.925	118.061	79.811	565.434	40.511
Mn (ppm)	29.254	38.338	131.053	174.671	2.650
MnS (ppm)	29.973	37.230	124.210	174.671	2.351
Cu (ppm)	0.532	0.604	113.533	2.305	0.050
CuS (ppm)	0.546	0.598	109.497	2.305	0.030
Zn (ppm)	0.647	0.628	97.109	2.776	0.000
ZnS (ppm)	0.739	0.691	93,611	2,776	0.002
Mb (ppm)	0.020	0.018	90.130	0.070	0.001
MbS (ppm)	0.023	0.021	91.515	0.096	0.000
Ni (ppm)	0.339	0.355	104.476	1.708	0.029
NiS (ppm)	0.391	0.399	102.056	1.708	0.029
TF (%)	59.44	15.88	26.71	88.30	27.90
GRA (%)	40.56	15.8	39.16	72.0	11.70

Table 7. Results of the PCA of the edaphic parameters for each type of soil.

Soil	Variable	Variability explained (%)	Accumulated Variability (%)	Explanatory parameters
Umbric Regosols	1	28.4	28.4	Ni and NiS
	2	17.2	45.6	Cu, CuS, Mg and MgS
	3	14.5	60.1	GRA and TF
	4	11.8	71.9	Zn and ZnS
	5	9.1	81.0	P and PS
Humic Umbrisols	1	43.3	43.3	NiS, MgS and MbS
	2	22.3	65.6	C/N and C/NS
	3	18.6	84.2	PS
	4	6.3	90.5	P
Dystric Cambisols	1	39.6	39.6	Mo, MbS and MgS
	2	23.8	63.4	K
	3	18.6	82.0	C/N
	4	12.9	94.9	pHS

Fig.1. Location of the rebollo oak stands within the area of study in the Iberian Peninsula.

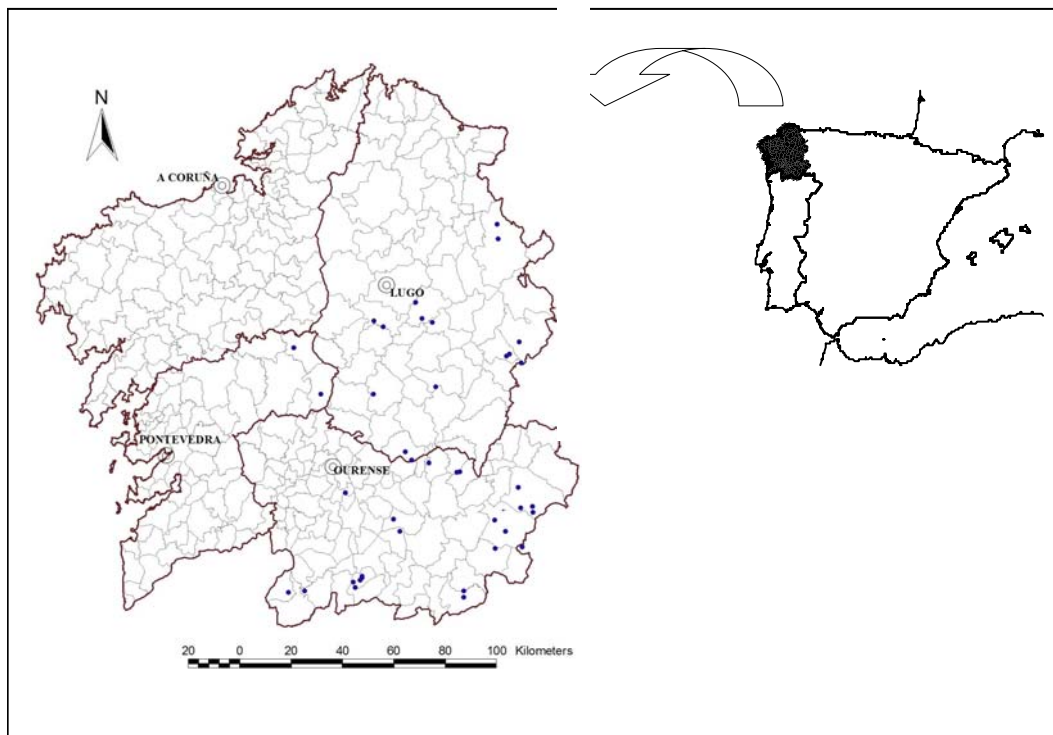
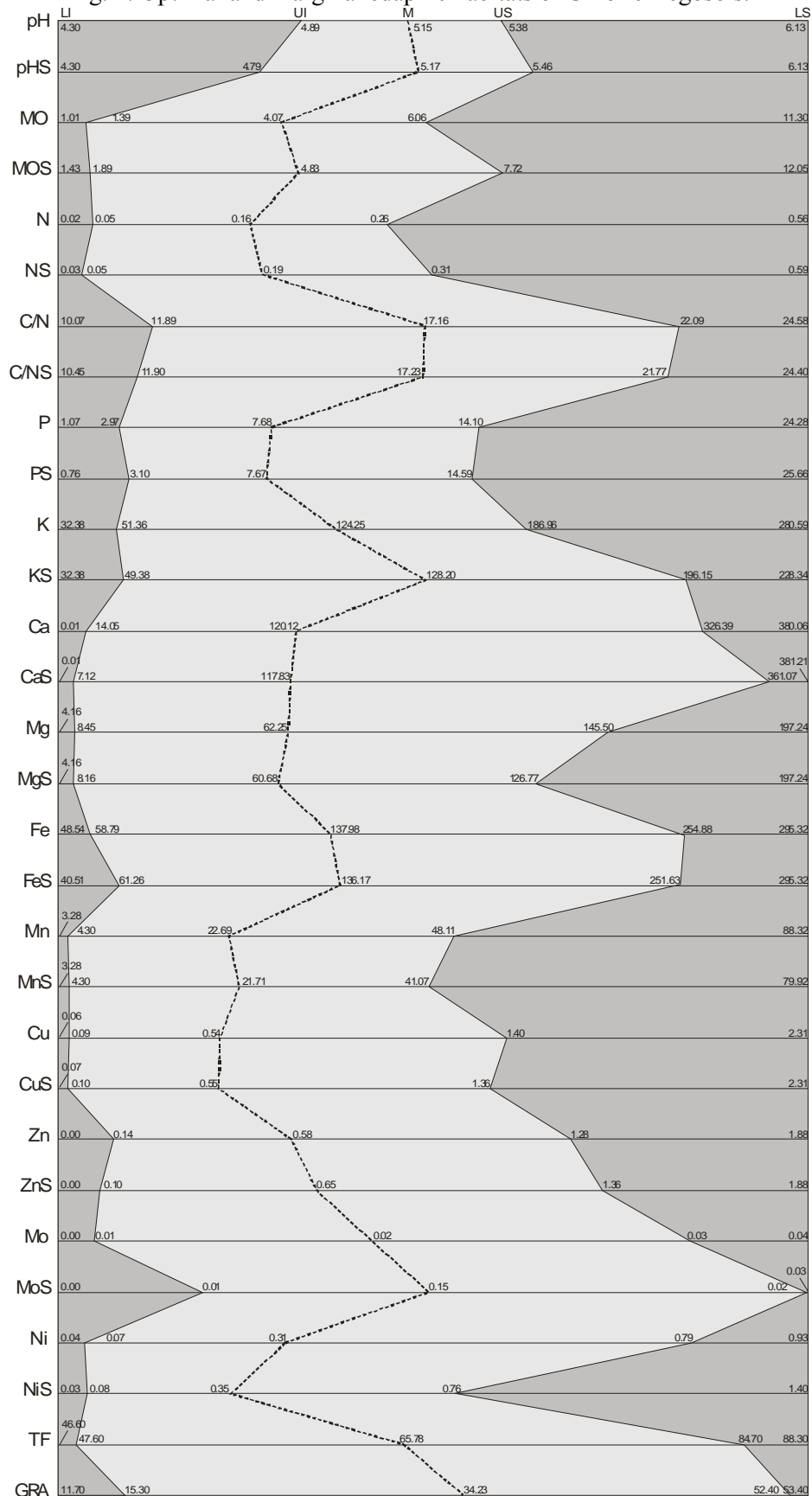
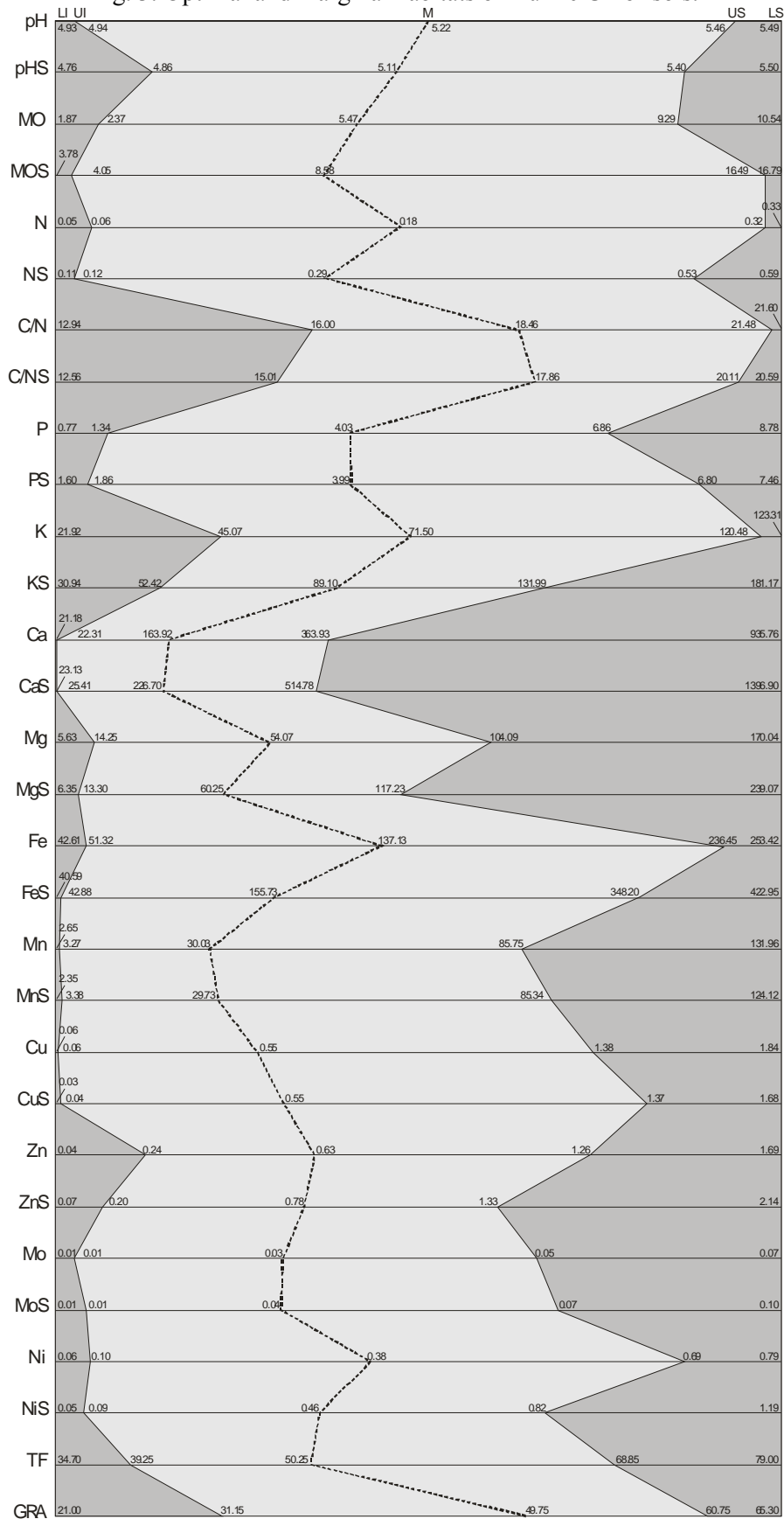


Fig. 2. Optimal and marginal edaphic habitats of Umbric Regosols.



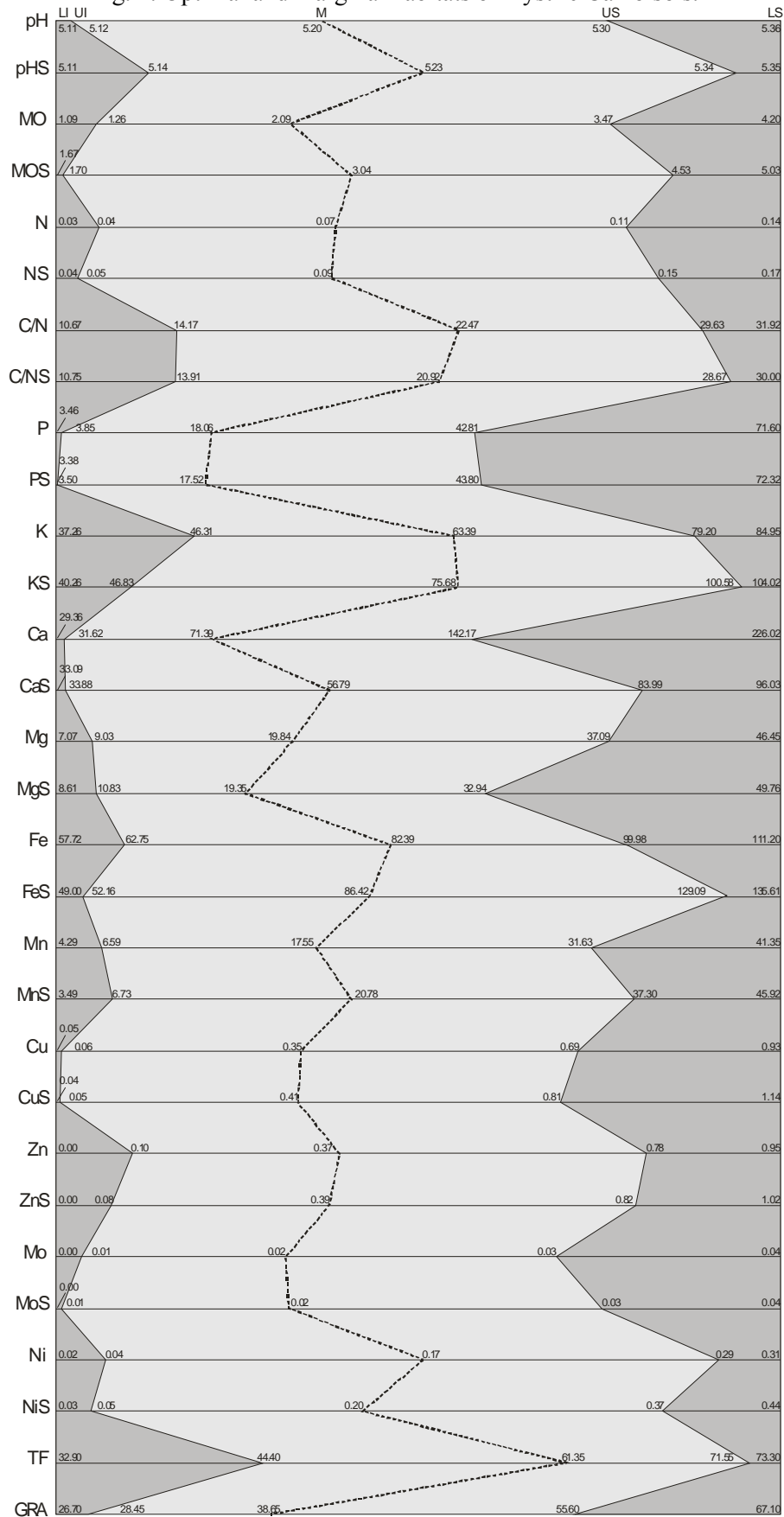
LL: Parameter lower limit; LT: Parameter lower threshold (10th percentile); M: Parameter mean; UT: Parameter upper threshold (90th percentile); UL: Parameter upper limit (UL)

Fig. 3. Optimal and marginal habitats of Humic Umbrisols.



LL: Parameter lower limit; LT: Parameter lower threshold (10th percentile); M: Parameter mean; UT: Parameter upper threshold (90th percentile); UL: Parameter upper limit (UL)

Fig. 4. Optimal and marginal habitats of Dystric Cambisols.



LL: Parameter lower limit; LT: Parameter lower threshold (10th percentile); M: Parameter mean; UT: Parameter upper threshold (90th percentile); UL: Parameter upper limit (UL)

AUTÉCOLOGIE DU CHÊNE TAUZIN (*Quercus pyrenaica* Willd.) EN GALICE (ESPAGNE)

Résumé

Le présent travail traite de l'étude des «rebollares» (bois de *Quercus pyrenaica* Willd.) en Galice, tant d'un point de vue écologique que dendrométrique. Pour cela nous avons réalisé une caractérisation paramétrique des biotopes que cette espèce occupe actuellement. Nous avons installé des parcelles en 40 points de l'échantillonnage et nous avons élaboré 33 paramètres écologiques caractéristiques du biotope, ainsi que 14 paramètres dendrométriques et sylvicoles. Ceci nous a permis de déterminer l'habitat topographique, climatique et édaphique, à la fois central et marginal, de *Quercus pyrenaica* en Galice, ainsi que d'évaluer la situation actuelle des peuplements qu'ils occupent d'un point de vue sylvicole. Il s'agit de forêts plutôt xérophiles, moins productives que les chênaies de *Quercus robur* et de *Q. petraea*, ce qui explique qu'elles soient plus exposées aux incendies. Ceci provoque la dégradation de la plupart d'entre elles, accentuée par l'abandon des traditionnelles exploitations de bois de chauffage et de charbon végétal. C'est pourquoi il est difficile de trouver de bons peuplements de bois de chênes tauzins, ainsi que des pieds de taille élevée. Ils s'installent à une altitude de variation supérieure à 1000 m, ce qui met en évidence une différence de température moyenne supérieure à 6°C. Les précipitations annuelles moyennes sont de 1067,5 mm, la moyenne estivale est de 112,7 mm, ce qui signale une sécheresse estivale à certains endroits.

Mots clés: *Quercus pyrenaica* / autécologie / biotope / limite écologique / Galice

Abstract

The present work was focused as an ecological and tree mensuration *Quercus pyrenaica* stands study in Galicia. With that objective, a parametric characterization of the species actual located biotypes was made measuring 40 plots and 33 ecological parameters and another 14 tree mensuration and sylvicultural ones. This data has allowed to determine physiographic, climatic and edaphic habitat, central and marginal, of *Quercus pyrenaica* in Galicia. The results shows that this forests are more dry and less productive than *Quercus robur* and *Q. petraea* stands, what means abandonment of the traditional uses like firewood and a great fire risk with its sequential degradation. This situation

involves a lot difficult to find good stands of *Quercus pyrenaica*. As summary it could be said that this forests present an altitudinal variation higher to 1000 m, what means an average temperature difference near to 6°C, and the annual precipitation average is 1067.5 mm, being the summer average 115.2 mm, with somewhere summer drought.

Key words: *Quercus pyrenaica* / autecology / site / ecologic limit / Galicia

INTRODUCTION

Le «rebollo» (*Quercus pyrenaica* Willd.) présente une distribution méditerranéenne-occidentale qui s'étend sur une grande partie du sud-ouest de la France, jusqu'en Bretagne, la péninsule ibérique et le nord-est du Maroc (Mesón, 1982; Mesón, 1983a; Amaral, 1990; Carvalho et al., 2005). La péninsule ibérique est le territoire qu'il occupe de manière prédominante entre les 9°20' ouest, en Extramadoure portugaise jusqu'à près des 3° est. En Galice, de grands peuplements sont présents dans la province d'Ourense et dans la moitié sud de Lugo (figure 1). On le trouve aussi sur le reste du territoire, le plus souvent mélangé au *Quercus robur*, avec lequel, il entre en contact le long d'une large bande de limite naturelle. Il forme de cette manière des forêts mixtes, et s'hybride facilement, donnant naissance au *Quercus x andegavensis* Hy (Rivas-Martínez, 1987; Díaz-Maroto, 1997).

Les chênaies de chêne tauzin présentent une gamme étendue de sous-types climatiques, avec une nette préférence pour les némoral-méditerranéens (Allué-Andrade, 1990; Allué, 1991). Les particularités biologiques de l'espèce en Galice nous permettent de lui attribuer un rôle de transition entre les chênes européens (*Quercus robur* et *Q. petraea*) et les espèces typiquement méditerranéennes du genre *Quercus* (Mesón, 1982). Dans le reste de la péninsule ibérique, c'est le chêne faginé (*Quercus faginea*) qui occupe ce caractère transitionnel, et le chêne pubescent (*Quercus pubescens*), dans le reste de l'Europe, en particulier en France (Ceballos et Ruíz de la Torre, 1979; Amaral, 1990; Carvalho et al., 2005). A l'intérieur de la péninsule ibérique, dans la plus grande partie de la moitié ouest péninsulaire, les chênaies de *Quercus pyrenaica* préfèrent des zones où les précipitations annuelles sont supérieures à 725 mm et les précipitations estivales supérieures à 125 mm. La température moyenne du mois de janvier est comprise entre -5 et 7°C, celle du mois d'août, entre 12 et 25°C (Ceballos et Ruíz de la Torre, 1979). Il présente une grande résistance au climat continental et au froid, grâce à une feuillaison tardive et à un cycle court (Allué, 1991; Grandas et al., 1997; Carvalho et al., 2005). Les bois de chênes tauzins galiciens subsistent des précipitations annuelles qui oscillent entre 750 et 1400 mm, les précipitations estivales étant comprises entre 60 et 170 mm. La température moyenne du mois le plus froid, atteint les -4°C, et celle du mois le plus chaud se rapproche des 26°C.

Les roche-mères sur lesquelles s'établissent ces forêts sont très variées. Dans leur majeure partie, elle sont siliceuses (granites, gneiss, schistes, quartz et ardoises), et dans certaines zones à

précipitations élevées, elles se développent sur les calcaires décalcifiés et des dolomites (Mesón, 1983b; Allué, 1995; Carvalho et al., 2005). La gamme des sols est également étendue, surtout les cambisols et les rankers (Santa Regina et al., 1991; Allué, 1995). En plusieurs points de la zone de distribution française, ces forêts s'établissent sur des néo-luvisols dystriques à humus de type moder, dysmoder et, y compris mor (Hubert, 1991). En Galice, elles présentent aussi une roche-mère siliceuse, s'agissant du type de sol le plus représentatif (FAO, 1998): régosols sombriques, brunisols humiques et cambisols dystriques.

Le chêne tauzin possède un tempérament robuste, pouvant se qualifier d'espèce de demi-ombre. Au cours de ses premières phases de développement, les semis nécessitent beaucoup de lumière et exigent plus d'abris au cours des saisons les plus extrêmes (Ceballos et Ruíz de la Torre, 1979; Grandas et al., 1997; Carvalho et al., 2005). Au sein de la zone d'étude, il présente une croissance relativement lente (Silva-Pando et Rigueiro, 1992) et il ne parvient pas à atteindre la taille du *Quercus robur* ou du *Q. petraea*, bien sur les bonnes stations forestières il puisse dépasser les 20 m de hauteur, et atteint presque les 30 m (Grandas et al., 1997). Son système racinaire est formé de deux types de racines: une racine principale pivotante qui lui permet un puissant ancrage au terrain et de nombreuses racines secondaires proches de la surface et parallèles à celle-ci, capables de donner naissance à des drageons en grande profusion formant un dense fourré dans les taillis (Ceballos et Ruíz de la Torre, 1979; Serrada et al., 1993; Allué, 1995; Barrio et al., 2000; Carvalho et al., 2005). La dégradation subie par ces forêts, provoquée par les incendies forestiers, les traitements sylvicoles comme la taille en têtard des arbres, ou l'abandon de l'exploitation traditionnelle du bois de chauffage et du charbon végétal, ou encore, l'évolution naturelle à la suite d'un incendie, nous mène, dans la plupart des cas, à de jeunes peuplements abandonnés, de densité élevée, et qui présentent une perte de vigueur due à la forte concurrence existante. Ceci se traduit le plus fréquemment par une sécheresse des extrémités des drageons (Allué, 1995; Grandas et al., 1997; Barrio et al., 2000).

En tout, onze associations phytosociologiques ont été décrites parmi lesquelles se trouve *Quercus pyrenaica* (Rivas-Martínez, 1987; Valle et al., 1988), ainsi qu'une association française et une autre marocaine (Mesón, 1982). Quant à la surface qu'elles occupent au sein de la péninsule ibérique, seules six d'entre elles se caractérisent comme une entité suffisante: *Linario triornithophorae-Quercetum pyrenaicae* Rivas-Martínez et al., 1984, *Holco molli-Quercetum pyrenaicae* Br.-Bl., P. Silva & Rozeira 1956, *Genisto falcatae-Quercetum pyrenaicae* Rivas-Martínez in Penas & Díaz 1985, lesquelles sont aussi présentes en Galice (Santa Regina et al., 1991), *Luzulo forsteri-Quercetum pyrenaicae* Rivas-Martínez 1963, *Arbuto unedis-Quercetum pyrenaicae* Rivas-Martínez 1987 et *Festuco heterophyllae-Quercetum pyrenaicae* Br.-Bl. 1967 (Rivas-Martínez, 1987).

Les peuplements de *Quercus pyrenaica* occupent en Galice 100504 ha, soit plus de 7 % de la surface boisée (DGCONA, 2001), on peut remarquer sa progression puisqu'en 1986 ils n'occupaient que 31459 ha (Xunta de Galicia, 1988). Cette surface est légèrement inférieure à celle qui existait en 1972, de 35181 ha (ICONA, 1975). En général, en Galice, cette augmentation est principalement due à

la réduction de la pression anthropique qui s'exerce sur les chênes, ainsi qu'à l'abandon des exploitations forestières et à une diminution de incendies (Ruíz de la Torre, 1991; DGCONA, 2001). D'ailleurs, ces bois sont des habitats d'intérêt communautaire (Directive 92/43/CEE), de là l'importance de leur conservation, pour laquelle, il est nécessaire de se situer au niveau régional et d'avancer dans la connaissance des exigences écologiques du *Quercus pyrenaica*. Les objectifs de ce travail sont: 1) la caractérisation des écosystèmes de l'espèce en Galice, à partir de divers paramètres écologiques; 2) la détermination de son habitat topographique, climatique et édaphique; 3) rapporter les paramètres écologiques avec les dendrométriques et sylvicoles, indicateurs de l'usage et de l'état de conservation de ces forêts.

MATÉRIEL ET MÉTHODES D'ÉTUDE

Positionnement de l'étude et échantillonnage

La zone d'étude est située dans le nord-ouest de la péninsule ibérique et comprend la Communauté Autonome de la Galice (Espagne) (figure 1).

Du fait de la dispersion et de la variété des chênaies à l'intérieur du domaine d'étude, nous n'avons pas réalisé de stratification initiale du territoire (Gandullo et al., 1991; Díaz-Maroto, 1997; Blanco et al., 2000; Díaz-Maroto et al., 2005), c'est pourquoi, la zone étudiée a été considéré dans sa totalité (Daget et Godron, 1982). En nous basant sur la Carte Forestière de l'Espagne (Ruíz de la Torre, 1991) nous avons sélectionné les points d'échantillonnage à l'aide de l'information que nous a facilité le personnel de l'administration forestière, ainsi que celle recueillie au cours de travaux précédents (Grandas et al., 1997; DGCONA, 2001). Au début, nous avons projeté de considérer une surface minimum comprise entre 0,5 et 1 ha, permettant d'installer des parcelles d'inventaire en évitant les problèmes liés à l'effet de bordure (Hummel F., 1959; Díaz-Maroto, 1997; Grandas et al., 1997).

Une fois les peuplements repérés, nous avons installé un dispositif de parcelles d'échantillonnage rectangulaires, de dimensions variables, en fonction du nombre de pieds. De cette façon, les arbres atteignant un diamètre supérieur au minimum requis pour l'inventaire (diamètre normal égal ou supérieur à 5 cm), ne se situent pas en-dessous de 50 (Hummel F., 1959; Rondeux, 1993), ce qui représente une surface de parcelle comprise entre 130 et 2120 m². Le nombre total de parcelles sélectionnées a été de 40 (tableau I). Une fois implantées, nous avons réalisé l'inventaire en relevant les données topographiques, dendrométriques et les caractéristiques du sol. Munis de ces informations, ainsi que les données climatologiques adaptées aux différents points de l'échantillonnage, suivant la méthodologie de Carballeira et al. (Carballeira et al., 1983), et des résultats des analyses édaphiques, nous avons élaboré une série de paramètres sur chaque parcelle répondant aux caractéristiques de l'habitat (topographique, climatique et édaphique) de *Quercus pyrenaica* en Galice, et de l'état sylvicole de ces bois (Grandas et al., 1997; Aussenac, 2000; Díaz-Maroto et al., 2005).

Paramètres pris en compte

Un total de 47 paramètres a été relevé (tableau II). 33 sont écologiques -topographiques (6), climatiques (10) et édaphiques (17)- (Castroviejo, 1988; Rubio et al., 1997; Lebourgeois et al., 2004), les 14 autres sont des paramètres qui caractérisent les bois de *Quercus pyrenaica* tant à niveau dendrométrique que sylvicole (Le Goff, 1984; Grandas et al., 1997; Aussenac, 2000; Díaz-Maroto et al., 2005).

Concernant les paramètres édaphiques, nous avons calculé leur valeur "superficielle" et totale selon le profil édaphique, excepté le pourcentage de gravier total. Lorsque nous avons relevé la valeur totale de chaque paramètre en suivant l'ensemble du profil édaphique, nous avons considéré la moyenne pondérée de tout le profil, en appliquant la méthode de Russell et Moore (Russell et Moore, 1968). Concernant les valeurs superficielles, nous avons relevé les données sur une profondeur de 20 cm à partir de la surface du sol, excepté pour les cas où, il existait plus d'un horizon édaphique sur cette épaisseur. Il a donc été nécessaire alors, de calculer une moyenne pondérée (Gandullo et al., 1991; Rubio et al., 1997; Díaz-Maroto et al., 2005).

Analyse statistique

Avec l'ensemble des paramètres calculés, nous avons élaboré une base de données nous informant sur le biotope et les particularités dendrométriques et sylvicoles des forêts de *Quercus pyrenaica* en Galice. Nous avons analysé celle-ci de forme univariable (Walpole et al., 1999), ce qui nous a permis de calculer une série de valeurs caractéristiques (Gandullo et al., 1991; Rubio et al., 1997; Díaz-Maroto et al., 2005): Limite Inférieure (LI), Seuil Inférieur (SI): percentile 10, Moyenne (M), Seuil Supérieur (SS): percentile 90 et Limite Supérieure (LS), grâce auxquels il est possible de délimiter le spectre écologique et de définir l'habitat du *Quercus pyrenaica*, en accord avec les critères suivants (Gandullo et al., 1991; Gaines et Denny, 1993; Díaz-Maroto et al., 2005):

1. Qualifier comme habitat central ou optimum, par rapport à un paramètre, l'intervalle défini par les Seuils Supérieur et Inférieur, formé par 80 % des parcelles étudiées.
2. Considérer comme habitat marginal, par rapport à un paramètre, les intervalles compris entre la Limite et le Seuil Inférieur et entre le Seuil et la Limite Supérieure, formé par 20 % restante des parcelles.

Ils sont tous deux considérés comme une première approche pour décrire la phytocoénose des forêts de chênes tauzins en Galice, étant donné que tous les paramètres, n'auront pas la même signification en tant que descripteurs de l'habitat de ces formations (Gandullo et al., 1991; Gaines et Denny, 1993; Blanco et al., 2000; Díaz-Maroto et al., 2005). Pour cela, il a été nécessaire de réaliser une analyse discriminante des parcelles afin d'identifier les paramètres possédant un plus grand poids descriptif (Hix et al., 1988; Martínez et al., 1992; ter Braak C.J.F., 1994; Kent et Coker, 1996). Nous avons utilisé la méthodologie proposée par Hill et al. (Hill et al., 1975), qui nous a permis d'obtenir une

classification dichotomique en fonction de certaines caractéristiques des parcelles d'échantillonnage prises au hasard: la présence d'espèces végétales (Hill et al., 1975; Gandullo et al., 1991), des valeurs de paramètres écologiques et sylvicoles (Aramburu et al., 1984.; Díaz-Maroto, 1997), en employant le programme Twinspan (Hill, 1979a; Hill, 1979b; Pisces Conservation L.T.D., 1999).

Par la suite, nous avons réalisé une analyse bivariable, (SAS Institute, 1999) entre l'information sylvicole et les paramètres, à la fois dendrométriques/sylvicoles et écologiques (Grandas et al., 1997; Claessens et al., 1999). Ceci afin de détecter dans un premier temps, la possible inter-relation entre les paramètres, et afin d'évaluer, dans un deuxième temps, l'influence du facteur écologique sur les paramètres sylvicoles, à travers de l'analyse de variance à sens unique selon le Multiple Range Test (SAS Institute, 1999).

RÉSULTATS

L'information concernant le biotope et les caractéristiques dendrométriques et sylvicoles des bois de *Quercus pyrenaica* apportée par les paramètres pris en compte, nous sert de base pour décrire l'habitat du chêne tauzin, à une échelle régionale, la Galice. Pour cela, les figures 2, 3 et 4 relèvent la description statistique à variable unique que nous fournissent les paramètres écologiques et les habitats topographique, climatique et édaphique, aussi bien centraux que marginaux. Afin d'évaluer, d'un point de vue sylvicole, la situation actuelle des chênes tautzins, le tableau III reflète les statistiques descriptives des paramètres dendrométriques et sylvicoles.

L'analyse discriminante des parcelles a donné lieu à onze groupes (tableau IV). Les paramètres discriminants obtenus, lors de la caractérisation de ces groupes, correspondent aux paramètres de nature topographique (ALT, PRO et DM), climatique (PE, TMA) et, y compris ceux de nature édaphique (P).

Au cours d'une première analyse bivariable, les résultats obtenus nous ont permis de sélectionner les paramètres dendrométriques/sylvicoles (tableau V), dont la relation était la plus significative, comme suit: DED, DEA, IHA, DOM, DEN, DMA, DMC et HDA. La seconde analyse bivariable (tableau VI), nous a permis de confronter les paramètres sylvicoles et les paramètres discriminants obtenus durant le suivi de la méthode Twinspan (ALT, PRO, DM, PE, TMA et P). Le résultat met en évidence une étroite relation avec le paramètre d'altitude et, à moindre mesure, avec les paramètres de distance à la mer et de précipitations estivales.

En dernier lieu, les deux paramètres discriminants présentant une plus grande corrélation (ALT et PE), ont été confrontés aux paramètres sylvicoles sélectionnés (DEN, DMA, DMC et DOM), à travers d'une analyse de variance. Les résultats les plus significatifs ont été (figure 5): 1) Une densité plus importante du nombre de pieds et, en conséquence, une diminution des valeurs diamétrales en

augmentant l'altitude; 2) Une réduction du diamètre des arbres pour des valeurs de précipitations estivales inférieures à 125 et supérieures à 150 mm.

DISCUSSION

Concernant les paramètres topographiques et climatiques, à coefficient de variation supérieurs à 50 %, la variabilité la plus nette apparaît auprès des paramètres PND, ORI, PRO et Tma (figure 2). Si nous analysons séparément ces données, en commençant par la pente, la valeur obtenue nous indique que les bois de chênes tauzins galiciens sont actuellement situés, pour beaucoup d'entre eux, dans des zones à versants prononcés, où ils ont demeuré grâce à une exploitation difficile liée à la topographie du terrain (Barrio et al., 2000; Díaz-Maroto et al., 2005). Quant à l'orientation, le tableau I nous permet d'observer la grande variabilité qui existe au sein des parcelles inventoriées, avec une certaine préférence pour les orientations sud, bien que peu marquée, dû au tempérament robuste de l'espèce (Mesón, 1983a; Amaral, 1990). Les sols où s'établissent les bois de chênes tauzins sont généralement profonds, bien que les parcelles ayant souffert des incendies répétés, présentent des profondeurs de moindre importance (Grandas et al., 1997; Barrio et al., 2000). Grâce à son système racinaire, ceci ne représente aucun problème pour le développement de l'espèce (Ceballos et Ruíz de la Torre, 1979; Carvalho et al., 2005). La température annuelle moyenne des minima absolus, est le seul paramètre climatique qui présente un coefficient de variation élevé, supérieur à 50 %. Ce comportement, conséquence d'une amplitude thermique élevée, accentuée par la variation d'altitude existante dans le domaine d'étude (Carballeira et al., 1983), a déjà été observé au cours d'un travail précédent, traitant de l'autécologie du *Quercus robur* en Galice (Díaz-Maroto et al., 2005). A l'extrémité opposée, les paramètres PT, TM, TMA et ETP présentent un coefficient de variation inférieur à 20 %, ce qui met en évidence l'homogénéité des paramètres climatiques, à l'exception de la TmA, qui généralement est la preuve de l'existence d'un climat océanique humide, possédant une influence méditerranéenne à certains endroits (Allué, 1991; Moreno et al., 1994b). La variabilité élevée de nombreux paramètres édaphiques (Moreno et al., 1994a; Bravo-Oviedo et Montero, 2005) (figure 4), est probablement due à l'éventail de roche-mères sur lesquelles s'établissent ces forêts, majoritairement siliceuses, donnant lieu à des sols acides dont le pH varie très peu (figure 4) (Mesón, 1983b; Carvalho et al., 2005).

Habitat topographique du *Quercus pyrenaica* en Galice

En ce qui concerne l'habitat topographique central, il faut savoir que beaucoup de bois de chênes tauzins galiciens occupent des zones de coteaux moyens et élevés. Mais ils apparaissent tout aussi bien au fond des vallées, résultat de la pression anthropique (incendies de forêts, exploitation de forêt de chauffage et de charbon végétal, ainsi que de l'alimentation du bétail (Grandas et al., 1997; Barrio et al., 2000). Ils s'installent en des lieux de moyenne et haute altitude à orientation variable, mais avec

une préférence pour les zones à orientation sud, surtout dans la zone nord de l'étude. Cependant, vers le sud ils préfèrent l'ombre, conséquence d'une plus grande influence méditerranéenne (Ceballos et Ruíz de la Torre, 1979; Silva-Pando et Rigueiro, 1992) (tableau I), ce qui correspond aux valeurs obtenues à travers le paramètre d'insolation (INS) (Gandullo, 1974) (figure 2). Bien que beaucoup de ces bois s'établissent sur des sols profonds (zones de talweg), d'autres s'établissent sur des sols de faible profondeur dans les zones de versant, où les incendies répétés ont occasionné une érosion du terrain. Quoiqu'il en soit, le *Quercus pyrenaica* s'adapte à l'une ou l'autre situation grâce aux deux types de racines qu'il possède (Ceballos et Ruíz de la Torre, 1979; Allué, 1995; Carvalho et al., 2005). Le paramètre de distance à la mer est compris entre 62 et 132 km, en ligne droite (figure 2), ce qui coïncide avec la distribution potentielle de végétation en Galice (Rivas-Martínez, 1987; Silva-Pando et Rigueiro, 1992) et met en évidence le caractère plutôt méditerranéen de l'espèce (Mesón, 1982; Allué, 1991).

En ce qui concerne l'habitat topographique marginal, il est important de signaler l'existence de peuplements dans des zones relativement éloignées de leur domaine potentiel (Rivas-Martínez, 1987; Silva-Pando et Rigueiro, 1992). Dans ces cas, il en découle, l'apparition des hybrides avec d'autres *Quercus*, comme le *Quercus petraea* dans les parcelles d'Os Ancares (Doiras et Pedrafita) et le *Quercus robur* au sein de plusieurs parcelles de la province de Lugo (tableau I) (figure 1) dont le climat océanique hyper-humide est moins propice au *Quercus pyrenaica* (Mesón, 1983a; Allué, 1991).

Habitat climatique du *Quercus pyrenaica* en Galice

L'habitat climatique central des forêts de chêne tauzin galicien (figure 3) se caractérise par des précipitations annuelles qui oscillent entre 820 et 1390 mm, avec des précipitations estivales entre 55 et 160 mm, approximativement, ce qui indique qu'elles requièrent une certaine humidité environnementale, mais à moindre mesure que pour les forêts de *Quercus robur* (Ceballos et Ruíz de la Torre, 1979; Amaral, 1990; Timbal et Aussenac, 1996). Les valeurs de l'indice hydrique (IH) indiquent l'existence d'un climat humide (Thornthwaite et Mather, 1955). Malgré ces données, dans les parcelles où l'influence méditerranéenne est plus importante, il existe une sécheresse estivale qui varie entre 1 et 3 mois (Mesón, 1983a) (figure 3). Quant au régime thermique, il existe une faible amplitude des valeurs des paramètres thermiques considérés, excepté la TmA (Retuerto et Carballeira, 1990; Carvalho et al., 2005). Ce qui permet de considérer le climat comme étant de type mésothermique (Thornthwaite et Mather, 1957) (figure 3), selon les valeurs de l'ETP.

Les intervalles de l'habitat climatique marginal mettent en évidence l'existence de parcelles dans des zones à précipitations estivales faibles et à TMA supérieure à 25°C, ce qui accentue davantage le caractère phyto-climatique plus méditerranéen du *Quercus pyrenaica* par rapport aux chênes atlantiques (Allué, 1991; Timbal et Aussenac, 1996).

Habitat édaphique du *Quercus pyrenaica* en Galice

Certaines variables édaphiques ne permettent pas de déterminer la limite supérieure de l'habitat central du chêne tauzin à cause de l'amplitude des intervalles marginaux supérieurs (Blanco et al., 2000; Bravo-Oviedo et Montero, 2005; Díaz-Maroto et al., 2005). C'est le cas des macro-nutriments tel que le phosphore et le calcium, que l'on considère leurs valeurs totales comme leurs valeurs superficielles. Concernant l'habitat édaphique central, les caractéristiques les plus notables sont les suivantes (figure 4):

- Les sols de nature siliceuse et d'acidité élevée sont prédominants, demeurant ancrés entre les classes acides très fortes et modérées (Wilde, 1946). Approximativement 50 % des sols sont du type régosol sombrique, 24 % du type brunisol humique, et 18 % du type cambisol dystrique (FAO, 1998). C'est-à-dire que la majorité des forêts de chênes tauzins inventoriés s'installent sur des sols moins évolués que ceux des bois de *Quercus robur* (Díaz-Maroto, 1997; Díaz-Maroto et al., 2005).
- Le pourcentage de matière organique présente une faible variation entre les valeurs totales et superficielles (figure 4). La composition granulométrique existante unie aux faibles valeurs de MO (de rares parcelles dépassent les 15 %, le long des 20 cm supérieurs) donnent lieu à des sols à faible capacité de solidification et très perméables (Mesón, 1983b; Gallardo et al., 1995).
- Le rapport C/N se comporte de façon similaire à la MO concernant la faible variation entre les valeurs totales et superficielles (figure 4), avec des valeurs moyennes de l'ordre de 18, dans les deux cas. Malgré ces données, les faibles valeurs du pH ne permettent pas de réunir les conditions optimales d'humidification, laissant apparaître un humus généralement de type moder (Carvalho et al., 2005).
- La concentration de phosphore présente des valeurs similaires (figure 4) aux données obtenues par d'autres auteurs en ce qui concerne ce type de formations (Santa Regina et al., 1991; Gallego et al., 1994). Ceci semble indiquer que les zones actuellement occupées par les forêts de chênes tauzins, n'ont pas été l'objet d'un changement quant à l'utilisation du sol, comme par exemple des cultures anciennes et de manière continue (Silva-Pando et Rigueiro, 1992; Barrio et al., 2000). Le reste des macro-nutriments présente des valeurs supérieures à celles observées auprès des bois de *Quercus robur* (Díaz-Maroto et al., 2005), excepté pour l'azote (figure 4), dont les données sont semblables à celles rapportés par (Santa Regina et al., 1991; Gallardo et al., 1995).

Aspects dendrométriques et sylvicoles des forêts galiciennes de *Q. pyrenaica*

Le taillis est la forme principale de peuplement dominant dans ces formations (Barrio et al., 2000; Cañellas et al., 2004; Carvalho et al., 2005), cette méthode sylvicole présente un degré artificiel élevé, dû au fait que sa persistance dépend d'une attention soigneuse et continue (Carvalho et Loureiro, 1996;

Johnson et al., 2002). D'autre part, l'abandon de l'exploitation traditionnelle de bois de chauffage et de charbon végétal, dû à la perte de valeur de ces produits et au dépeuplement rural, a provoqué l'arrêt des coupes à blanc de ces bois, occasionnant dans la plupart des cas, un dépassement de l'âge d'exploitation (Serrada et al., 1993; Cañellas et al., 2004).

L'analyse des statistiques des paramètres sylvicoles (tableau III) démontre une haute variabilité des paramètres DEN et IHA à coefficients de variation supérieurs respectivement, à 67 et 85 %. La forte densité existante, de valeur moyenne supérieure à 1700 pieds/ha, dénote la présence de jeunes peuplements abandonnés, provenant d'anciennes coupes à blanc, où aucune sélection de tiges n'a été réalisée (Grandas et al., 1997; Barrio et al., 2000). Les valeurs de l'indice de Hart sont en accord avec les données de densité (Hart, 1928; Pardé et Bouchon, 1988; Rondeux, 1993). Le reste des paramètres présente une variabilité moindre, spécialement ceux qui sont liés à la variable de hauteur (Díaz-Maroto et al., 2005).

La situation actuelle de ces forêts pose le problème de leur reconversion, sous le double aspect sylvicole et économique. Du point de vue sylvicole, la situation se caractérise par (Serrada et al., 1993; Allué, 1995): 1) Un arrêt de la croissance diamétrale et longitudinale; 2) Une épaisseur entravée, avec une présence de buissons héliophiles (*Cytisus multiflorus*, *Erica australis*, *Genistela tridentata*,...) et d'arbres de petit diamètre, dont certains étant morts (Amaral, 1990; Carvalho et al., 2005) entraînent une situation de haut risque d'incendie; 3) Une rare fructification et des conditions défavorables au développement des semis; 4) Un risque de dépérissement végétatif par vieillissement des souches. Quant au point de vue économique, on essaiera de trouver des alternatives de production plus rentable que les traditionnelles: 1) Une maintenance des taillis pour les forêts homogènes et de qualité, où perdure, l'exploitation de bois de chauffage; 2) Une conversion en futaie régulière; 3) Une amélioration sylvicole et pastorale, dans les zones où il existe une importante activité d'élevage; 4) Une restauration des forêts les plus dégradés en les repeuplant d'autres feuillus ou conifères.

Relation entre les paramètres dendrométriques/sylvicoles et le biotope

A partir des paramètres dendrométriques/sylvicoles significatifs obtenus au cours des analyses bivariées (tableau V), il nous a fallu éliminer le paramètre HDA et par conséquent, l'indice de Hart qui en découle (Hart, 1928; Rondeux, 1993). Cette situation est la conséquence de traitements sylvicoles inappropriés, subis par beaucoup de ces forêts, tout comme la taille en têtard des arbres, réalisée dans le but d'alimenter le bétail ou d'obtenir du bois de chauffage (Allué, 1995; Barrio et al., 2000). La DED et la DEA sont des paramètres inadéquats pour nous fournir une explication concernant la situation sylvicole actuelle des forêts de *Quercus pyrenaica* en Galice (Rubio et al., 1997; Díaz-Maroto et al., 2005). C'est pourquoi, nous ne sélectionnerons que les paramètres sylvicoles suivants: DEN, DMA, DMC et DOM, qui dans leur totalité, sont liés au paramètre altitude ($s > 99\%$),

ainsi qu'aux précipitations estivales ($s > 95\%$) (tableau VI), ce qui se confirme au cours des analyses de variances (figure 5).

Dans le cas de l'altitude, lorsque nous dépassons les 500 m, le nombre de pieds est significativement plus élevé, présentant des différences supérieures à 1000 pieds/ha. De la même manière, les diamètres sont moindres, avec des différences que se situent entre 5 et plus de 10 cm, se rapportant aux DMA, DMC ou au DOM (figure 5). Ce comportement s'explique par le fait qu'actuellement, beaucoup de ces forêts sont de jeunes peuplements provenant de régénération naturelle par drageonnement, à la suite d'un incendie (Serrada et al., 1993; Grandas et al., 1997), alors qu'aucune sélection des tiges n'a été réalisée. En conséquence, la concurrence qui s'effectue entre les pieds provoque une stagnation et une perte de vigueur végétative (Allué, 1995; Barrio et al., 2000). La corrélation entre les précipitations estivales et les paramètres DMA et DMC (figure 5) est tout aussi significative, nous révélant que la station forestière idéale pour le *Quercus pyrenaica* est celle qui présente des valeurs de PE entre 125 et 150 mm (Ceballos et Ruíz de la Torre, 1979; Allué, 1991). Les chiffres situés hors de cet intervalle supposent une diminution notable de la croissance en diamètre, qui peut être supérieure à 8 cm; quant au DMA et au DMC, leurs valeurs peuvent s'interpréter comme le besoin modérée d'humidité estivale, étant donné le caractère plus méditerranéen de l'espèce par rapport à celui des chênes atlantiques comme le *Quercus robur* et le *Q. petraea* (Mesón, 1983a; Allué, 1991).

En guise de conclusion, et en accord avec les résultats obtenus par d'autres auteurs, pour le *Quercus pyrenaica* et pour d'autres espèces (Aramburu et al., 1984; Bravo-Oviedo et Montero, 2005; Díaz-Maroto et al., 2005), nous avons signalé que la distribution du chêne tauzin en Galice dépend principalement des caractéristiques topo-climatiques du terrain, alors que les caractéristiques édaphiques n'entrent pratiquement pas en jeu, étant donné surtout, le fait que le substrat sur lequel il s'établit est très semblable.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été financé par la Xunta de Galicia dans le cadre des projets de recherche PGIDT99MA29101 et PGIDIT02RFO29101PR développés par le Département d'Enxeñería Agroforestal de l'Université de Santiago.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Allué-Andrade J.L. (1990). Atlas Fitoclimático de España. Taxonomías. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, INIA, Madrid.
- Allué M. (1991). Posición fitoclimática general de *Quercus pyrenaica* Willd., *Studia Oecologica* VIII. 185-193.
- Allué M. (1995). Ordenación de masas de *Quercus pyrenaica* Willd. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales 1. 107-135.
- Amaral J. (1990). *Quercus*, En: Castroviejo, S. et al., (eds.), Flora Ibérica II, CSIC, Madrid.
- Aramburu M., Escribano R., Martínez E., Sáenz D. (1984). Análisis de la distribución de *Quercus pyrenaica* Willd en el Sistema Central, ETSIM, Madrid.
- Assmann E. (1970). The principles of forest yield study, Pergamon Press, Oxford, New York.
- Aussenac, G. (2000). Interactions between forest stands and microclimate: Ecophysiological aspects and consequences for silviculture, *Ann. Sci. For.* 57. 287-301.
- Barrio M., Díaz-Maroto I.J., Rojo A. (2000). Gestión de rebollares en montes de U.P. en el P.N. del Lago de Sanabria (Zamora), *Revista Montes* 62. 21-28.
- Blanco A., Rubio A., Sánchez O., Elena R., Gómez V., Graña D. (2000). Autoecología de los castaños de Galicia (España), *Invest. Agr. Sist. Recur. For.*, Vol. 9 (2). 337-361.
- Bravo-Oviedo A., Montero G. (2005). Site index in relation to edaphic variables in stone pine (*Pinus pinea* L.) stands in Southwest Spain, *Ann. Sci. For.* 62. 61-72.
- Cañellas I., Del Río M., Roig S., Montero G. (2004). Growth response to thinning in *Quercus pyrenaica* Willd. coppice stands in Spanish central mountain, *Ann. Sci. For.* 61. 243-250.
- Carballeira, A., Devesa, C., Retuerto, R., Santillan, E., Uceda, F. (1983). Bioclimatología de Galicia, Xunta de Galicia-Fundación Barrie de la Maza.
- Carvalho J., Loureiro A. (1996). Stool and root resprouting according to different cutting seasons in a *Quercus pyrenaica* Willd. coppice, *Annali Istituto Sperimentale Selvicoltura* 27. 83-88.
- Carvalho J. (coord.). (2005). O Carvalho Negral, Universidade Tras-Os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal.
- Castroviejo M. (1988). Fitoecología de los montes de Buio y Sierra del Xistral (Lugo), Consellería de Agricultura, Gandería e Pesca, Xunta de Galicia.
- Ceballos L., Ruiz de la Torre J. (1979). Árboles y arbustos, ETSIM, Madrid.
- Claessens H., Pauwels D., Thibaut A., Rondeux J. (1999). Site index curves and autoecology os ash, sycamore and cherry in Wallonia (Southern Belgium), *Forestry* 72 (3). 171-182.

- Daget Ph., Godron M. (1982). Analyse fréquentielle de l'écologie des espèces dans les communautés, Masson.
- DGCONA. (2001). Tercer Inventario Forestal Nacional, Galicia (A Coruña, Lugo, Ourense y Pontevedra), Ministerio de Medio Ambiente.
- Díaz-Maroto I.J. (1997). Estudio ecológico y dasométrico de las masas de carballo (*Quercus robur* L.) en Galicia, Tesis doctoral, Univ. Politécnica de Madrid.
- Díaz-Maroto I.J., Vila P., Silva-Pando F.J. (2005). Autécologie des chênaies de *Quercus robur* L. en Galice (Espagne), Ann. Sci. For. 62 (7). 737-749.
- FAO. (1998). World Reference Base for Soil Resources, World Soil Resources Reports, 84.
- Gaines S.D., Denny M.W. (1993). The largest, smallest, highest, lowest, longest and shortest: extremes in ecology, Ecology 74. 1677-1692.
- Gallardo J.F., Santa Regina I.S., Harrison, A.F., Howard, D.M. (1995). Organic matter and nutrient dynamics in three ecosystems of the "Sierra de Bejar" mountains (Salamanca Province, Spain), Acta Oecol. 16 (4). 447-459.
- Gallego H.A., Santa Regina I.S., Rico M., Rapp M. (1994). Variación estacional de la concentración de nutrientes en hojas y ramas en bosques naturales de *Quercus pyrenaica* Willd. (Sierra de Gata, España), En: Gallardo J.F. (ed.), Proc. XI Simposium Internacional de Biogeoquímica Ambiental. 111-120.
- Gandullo J.M. (1974). Ensayo de evaluación cuantitativa de la insolación en función de la orientación y de la pendiente del terreno, An. INIA, Ser. Recursos Naturales 1. 95-107.
- Gandullo J.M., Bañares A., Blanco A., Castroviejo M., Fernández A., Muñoz L., Sánchez O., Serrada R. (1991). Estudio ecológico de la laurisilva canaria, ICONA.
- Gausson H. (1955). Détermination des climats par la méthode des courbes ombrothermiques, Compt. Rend. Hebd. Séances Acad. Sci. 240. 642-644.
- Grandas J.A., Díaz-Maroto I.J., Silva-Pando, F.J. (1997). Indicadores selvícolas de la calidad de estación de los bosques gallegos de *Quercus pyrenaica* Willd, Actas II Congreso Forestal Español, Mesa Temática 4. 339-344.
- Hart H.M.F. (1928). Stamtal en dunning; een orienteerend onderzoek naar de beste plantwijdte en duningswijze loor den djati, Veenman & Zonen.
- Hill M.O. (1979a). Decorana: A fortran program for detrended correspondence analysis and reciprocal averaging, Cornell Univ., New York.
- Hill M.O. (1979b). Twinspan: A fortran program for arranging multivariate data in an ordered two-way table by classification of the individuals and attributes, Cornell Univ., New York.
- Hill M.O., Bunce R.G.H., Shaw M.W. (1975). Indicator species analysis: a divisive polythetic method of classification, and its application to a survey of native pinewoods in Scotland, J. Ecol. 63. 597-613.

- Hix D.M. (1988). Multifactor classification and analysis of upland hardwood forest ecosystems of the Kichapoo River watershed, southwestern Wisconsin, Can. J. For. Res. 18. 1405-1415.
- Hubert A. (1991). Les types de stations forestières du Lannemezan, Ger et Moyen-Adour, Cemagref, Études Forêt 8, Bordeaux.
- Hummel F. (1959). Code of Sample Plot Procedure, Forestry Commission 34.
- ICONA. (1975). Primer Inventario Forestal de España, Ministerio de Agricultura, Madrid.
- Johnson P.S., Shifley S.R., Rogers R. (2002). The ecology and silviculture of oaks, CABI Publishing.
- Kent M., Coker P. (1996). Vegetation description and analysis. A practical approach. John Wiley & Sons, New York.
- Lebourgeois F., Cousseau G., Ducos Y. (2004). Climate-tree-growth relationships of *Quercus petraea* Mill. stand in the forest of Bercé ("Futaie des Clos", Sarthe, France), Ann. Sci. For. 31. 361-372.
- Le Goff N. (1984). Indice de productivité des taillis-sous-futaie de chêne dans la région Centre, Ann. Sci. For. 41(1). 1-34.
- Martínez J.E., Ayuga E., González C. (1992). Estudio comparativo de distintas funciones núcleo para la obtención del mejor ajuste según el tipo de datos, Qüestió 16. 3-26.
- Mesón M^a.L. (1982). Aspectos botánicos y fenológicos de *Quercus pyrenaica* Willd., Bol. Est. Central de Ecología 22. 15-22.
- Mesón M^a.L. (1983a). Aspectos autoecológicos de *Quercus pyrenaica* Willd.: distribución y climatología, Bol. Est. Central de Ecología 23. 25-33.
- Mesón M^a.L. (1983b). La influencia sobre el suelo de *Quercus pyrenaica* Willd., Bol. Est. Central de Ecología 24. 21-26.
- Moreno G., Gallardo J.F., Cuadrado S. (1994a). Deposition atmosférica de bioelementos y su modificación por la cubierta vegetal en bosques de *Quercus pyrenaica* de la Sierra de Gata (Salamanca), En: Gallardo J.F. (ed.), Proc. XI Simposium Internacional de Biogeoquímica Ambiental. 201-215.
- Moreno G., Gallardo J.F., Cuadrado S., Hernández J. (1994b). Dinámica estacional de la humedad edáfica en bosques de *Quercus pyrenaica*, considerando un gradiente pluviométrico, En: Gallardo J.F. (ed.), Proc. XI Simposium Internacional de Biogeoquímica Ambiental. 163-168.
- Pardé J., Bouchon J. (1988). Dendrométrie, E.N.G.R.E.F., 2^a ed., Nancy.
- Pisces Conservation L.T.D. (1999). Community Analysis Package versión 1.42. A program to search for structure in ecological community data, England.
- Retuerto R., Carballeira A. (1990). Phytoecological importance, mutual redundancy and phytological threshold values of certain climatic factors, Vegetatio 90. 47-62.
- Rivas-Martínez S. (1987). Memoria y mapas de series de vegetación de España, ICONA, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid.
- Rondeux J. (1993). La mesure des arbres et des peuplements forestiers, Les Presses Agronomiques de Gembloux.

- Rubio A., Escudero A., Gandullo J.M. (1997). Sweet chestnut silviculture in a ecological extreme of its range in the west of Spain (Extremadura), *Ann. Sci. For.* 54. 667-680.
- Ruiz de la Torre J. (1991). Mapa Forestal de España, Dirección General de Conservación de la Naturaleza, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.
- Russell J.S., Moore A.W. (1968). Comparison of different depth weightings in the numerical analysis of anisotropic soil profile data, *Proc. 9th. Int. Cong. Soil Sci.*, 4. 205-213.
- Ryan T.P. (1997). *Modern regression methods*, John Wiley & Sons.
- SAS Institute. (1999). *SAS/STAT User's Guide, Version 8*, SAS Institute Inc. Cary, North Carolina.
- Serrada R., González Doncel I., López Peña C., Marchal B., San Miguel A., Tolosana E. (1993). Tipificación dasométrica de los rebollares (*Quercus pyrenaica* Willd.) de la Comunidad de Madrid. Alternativas silvopastorales. Diseño de un plan experimental, *Actas I Congreso Forestal Español*, Tomo II. 623-629.
- Santa Regina I.S., Gallardo J.F., Rico M., Martín A., Gallego H.A., Moreno G., Cuadrado S. (1991). Datos preliminares sobre biomasa aérea, producción y características edafoclimáticas de ecosistemas forestales de *Quercus pyrenaica* (Sierra de Gata, Salamanca), III Jornadas de la AEET, León.
- Silva-Pando F.J., Rigueiro A. (1992). *Guía das árbores e bosques de Galicia*, Galaxia.
- ter Braak C.J.F. (1994). Canonical community ordination. Part I: Basic theory and linear methods, *Ecoscience* 1. 127-140.
- Timbal J., Aussenac G. (1996). An overview of ecology and silviculture of indigenous oaks in France, *Ann. Sci. For.* 53 (2-3). 649-661.
- Thornthwaite C., Mather J. (1955). The water balance, *Climatology* 8. 1-104.
- Thornthwaite C., Mather J. (1957). *Instructions and Tables for Computing Potential Evapotranspiration and the Water Balances*, New Jersey.
- Valle F., Gómez-Mercado F., Mota J. (1988). Los robledales de la Sierra de Segura, *Anal. R. Jard. Bot. Madrid XLV(1)*. 247-257.
- Walpole R.E., Myers R.H., Myers S.L. (1999). *Probabilidad y estadística para ingenieros*, 6ª ed., Prentice Hall, Londres.
- Wilde S.A. (1946). Forest soils and forest growth, *Chronica Botanica Comp.*
- Xunta de Galicia. (1988). *Avance do Segundo Inventario Forestal Nacional*.

ANNEXE: Liste des paramètres élaborés

Altitude moyenne (ALT), (2) pente moyenne (PND), (3) orientation (ORI), (4) insolation (INS), (5) profondeur du sol (PRO), (6) distance de la mer (DM), (7) précipitation totale annuelle (PT), (8) précipitation estivale (PE), (9) température moyenne annuelle (TM), (10) température moyenne annuelle des maxima absolus (TMA), (11) température moyenne annuelle des minima absolus (TmA), (12) évapotranspiration anual (ETP), (13) suma de superávits (SUP), (14) suma de déficits (DEF), (15) índice hídrico (IH), (16) duración de la sequía (DSQ), (17) pH total H₂O (PH), (18) pH superficial H₂O (PHS), (19) matière organique totale (MO), (20) matière organique superficielle (MOS), (21) azote total (N), (22) azote superficial (NS), (23) rapport carbone azote total (C/N), (24) rapport carbone azote superficial (C/NS), (25) phosphore assimilable total (P), (26) phosphore assimilable superficial (PS), (27) potassium échangeable total (K), (28) potassium échangeable superficial (KS), (29) calcium échangeable total (Ca), (30) calcium échangeable superficial (CaS), (31) magnésium échangeable total (Mg), (32) magnésium échangeable superficial (MgS), (33) porcentaje de gravas total (Gravas), (34) nombre de pieds par hectare (DEN), (35) surface terrière par hectare (ABA), (36) diamètre moyen arithmétique (DMA), (37) diamètre moyen quadratique (DMC), (38) déviation standard de la distribution diamétrale (DED), (39) coefficient de variation de la distribution diamétrale (CVD), (40) diamètre dominant (DOM), (41) hauteur moyenne arithmétique (HMA), (42) hauteur moyenne quadratique (HMC), (43) déviation standard de la distribution de hauteurs (DEA), (44) coefficient de variation de la distribution de hauteurs (CVA), (45) hauteur dominante de Assmann (HDA), (46) índice de Hart (IHA) e (47) índice de Czarnowski (ICZ).

Tableau I. Caracteristiques topographiques des 40 parcelles échantillonnées.

Nombre Parcelle	Nom Parcelle	Code parcelle	Province	Altitude (m)	Pente (%)	Orientation
1	A Golada	OR	Pontevedra	532	34	Sud-ouest
2	A Gudiña	AG	Ourense	983	7	Nord-est
3	A Veiga I	MD	Ourense	956	27	Sud-ouest
4	A Veiga II	SN	Ourense	1095	29	Nord-est
5	As Nogais	NO	Lugo	886	60	Nord
6	Castro Caldelas	CC	Ourense	550	39	Sud
7	Corgo	TO	Lugo	387	0	---
8	Covas	CO	Ourense	1054	14	Sud-ouest
9	Doiras	DO	Lugo	627	49	Nord-ouest
10	Entrimo	ET	Ourense	559	6	Sud-est
11	Escairón	CZ	Lugo	450	29	Nord-ouest
12	A Fonsagrada I	FO	Lugo	602	55	Sud
13	A Fonsagrada II	TR	Lugo	660	63	Nord-ouest
14	Guntín I	FE	Lugo	485	30	Sud-ouest
15	Guntín II	VM	Lugo	414	34	Sud
16	Láncara	NE	Lugo	454	14	Nord-ouest
17	Muiños	MU	Ourense	621	42	Est
18	O Curro	CU	Lugo	1172	0	---
19	O Incio	OI	Lugo	576	17	Sud-ouest
20	Os Blancos I	CA	Ourense	1136	20	Sud-ouest
21	Os Blancos II	OB	Ourense	824	22	Sud-est
22	Os Blancos III	TB	Ourense	862	31	Sud-ouest
23	Pedradita	PE	Lugo	1273	7	Nord-ouest
24	Pexeiros	PX	Ourense	1005	26	Sud-est
25	Pías	PI	Ourense/Zamora	1205	16	Nord-ouest
26	Ramilo	RA	Ourense	1125	25	Nord-ouest
27	Rios	RI	Ourense	856	20	Sud
28	Rodeiro	RO	Pontevedra	772	0	---
29	San Cibrao das Viñas	CV	Ourense	300	0	---
30	San Xoan do Rio I	SX	Ourense	813	45	Ouest
31	San Xoan do Rio II	PR	Ourense	720	40	Nord
32	Sober I	AM	Lugo	474	0	---
33	Sober II	BL	Lugo	516	13	Sud
34	Santa Comba	SC	Lugo	429	11	Ouest
35	Valdín	RC	Ourense	1311	0	---
36	Viana do Bolo I	VB	Ourense	990	41	Nord-ouest
37	Viana do Bolo II	BO	Ourense	715	46	Ouest
38	Vilar de Barrio I	AR	Ourense	598	20	Sud
39	Vilar de Barrio II	VI	Ourense	927	33	Sud-ouest
40	Vilardevós	VV	Ourense	1032	20	Nord-ouest

Tableau II. Paramètres pris en compte.

Nombre	Paramètre (unités)	Code paramètre
1	altitude moyenne (m)	ALT
2	pente moyenne (%)	PND
3	orientation (°)	ORI
4	^a insolation	INS
5	profondeur du sol jusqu'à la roche mère (cm)	PRO
6	distance à la mer en suivant une ligne droite (Km)	DM
7	précipitations annuelles totales (mm)	PT
8	précipitations estivales (mm)	PE
9	température annuelle moyenne (°C)	TM
10	température annuelle moyenne des maxima absolus (°C)	TMA
11	température annuelle moyenne des minima absolus (°C)	TmA
12	évapotranspiration annuelle selon ^b Thornthwaite (mm)	ETP
13	^c somme des excédents (mm)	SUP
14	^c somme des déficits (mm)	DEF
15	^d indice hydrique	IH
16	^e durée de la sécheresse (nombre de mois)	DSQ
17	pH total H ₂ O	PH
18	pH superficiel H ₂ O	PHS
19	matière organique totale (%)	MO
20	matière organique superficielle (%)	MOS
21	azote total (%)	N
22	azote superficiel (%)	NS
23	rapport carbone-azote total	C/N
24	rapport carbone-azote superficiel	C/NS
25	phosphore assimilable total (ppm)	P
26	phosphore assimilable superficiel (ppm)	PS
27	potassium changeable total (ppm)	K
28	potassium changeable superficiel (ppm)	KS
29	calcium changeable total (ppm)	Ca
30	calcium changeable superficiel (ppm)	CaS
31	magnésium changeable total (ppm)	Mg
32	magnésium changeable superficiel (ppm)	MgS
33	gravier total (éléments > 2 mm) (%)	GRA
34	nombre de pieds par hectare (No ha ⁻¹)	DEN
35	surface terrière par hectare (m ² ha ⁻¹)	ABA
36	diamètre moyen arithmétique (cm)	DMA
37	diamètre moyen quadratique (cm)	DMC
38	déviatoin standard de la distribution diamétrale (cm)	DED
39	coefficient de variation de la distribution diamétrale (%)	CVD
40	diamètre dominant (cm)	DOM
41	hauteur moyenne arithmétique (m)	HMA
42	hauteur moyenne quadratique (m)	HMC
43	déviatoin standard de la distribution des hauteurs (m)	DEA
44	coefficient de variation de la distribution des hauteurs (%)	CVA
45	^f hauteur dominante (m)	HDA
46	indice de Hart (%)	IHA
47	^g indice de Czarnowski	ICZ

^a insolation (Gandullo, 1974); ^b Thornthwaite (Thornthwaite et Mather, 1957); ^c bilan hydrique (somme des excédents et des déficits, différences positives et négatives, entre les précipitations et l'ETP mensuel); ^d indice hydrique selon Thornthwaite et Mather (1955); ^e Gaussen (1955); ^f selon la définition d'Assmann (Assmann, 1970, Rondeux, 1993); ^g nombre de pieds que contient une parcelle carrée dont le côté correspond à la HMA

Tableau III. Statistiques descriptives des paramètres dendrométriques/sylvicoles (n=40) (DE: déviation standard, CV: coefficient de variation).

Paramètre	Moyenne	DE	CV(%)	Maximale	Minimale
DEN (No ha ⁻¹)	1711,5	1155,0	67,5	4230,8	259,4
ABA (m ² ha ⁻¹)	27,6	7,5	27,3	42,3	11,9
DMA (cm)	16,4	6,7	41,0	29,9	8,2
DMC (cm)	17,5	7,1	40,6	31,4	8,5
DED (cm)	6,0	2,8	46,3	12,9	1,7
CVD (%)	0,4	0,1	25,7	0,6	0,2
DOM (cm)	26,8	9,0	33,6	42,1	12,3
HMA (m)	11,8	3,6	30,3	20,6	6,1
HMC (m)	12,4	3,7	30,0	21,5	6,3
DEA (m)	3,6	1,3	35,7	6,1	0,7
CVA (%)	0,3	0,1	24,4	0,4	0,1
HDA (m)	15,7	3,8	24,4	24,5	7,6
IHA (%)	7,2	6,5	89,5	41,5	2,6
ICZ	18,4	7,8	42,1	33,4	5,8

Voir liste des paramètres dans tableau II

Tableau IV. Groupes finaux résultants de l'application du programme Twinspan.

Groupe	Paramètres discriminants	Parcelles
A	TMA > M+DE	1, 11, 32, 33
B	M-DE < TMA < M+DE	10, 17, 38, 39
C	DM > M+DE	26, 36
D	M-DE < DM < M+DE	14, 15, 30
E	PE > M+DE	5, 9, 12, 13, 18, 23
F	M-DE < PE < M+DE	27, 40
G	PE < M-DE	8, 20, 21, 22, 24, 29
H	P > M+DE M-DE < P < M+DE M-DE < ALT < M+DE	3, 37
I	ALT > M+DE M-DE < P < M+DE M-DE < ALT < M+DE	2, 4, 25, 31, 35
J	PRO < M-DE	6, 19, 28, 34
K	PRO > M+DE M-DE < PRO < M+DE	7, 16

Tableau V. Coefficients de corrélation linéaire de Pearson entre les paramètres dendrométriques/sylvicoles.

	DEN	ABA	DMA	DMC	DED	CVD	DOM	HMA	HMC	DEA	CVA	HDA	IHA	ICZ
DEN	1,000	n.s.	-,854**	-,866**	-,782**	n.s.	-,831**	-,775**	-,784**	-,663**	n.s.	-,745**	,480**	,628**
ABA		1,000	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	,364*	n.s.	,322*	-,372*	,617**
DMA			1,000	,996**	,797**	n.s.	,907**	,920**	,923**	,734**	n.s.	,843**	-,526**	-,432**
DMC				1,000	,846**	n.s.	,935**	,911**	,919**	,769**	n.s.	,853**	-,549**	-,450**
DED					1,000	,561**	,936**	,692**	,726**	,861**	,428**	,766**	-,607**	-,477**
CVD						1,000	,361**	n.s.	n.s.	,447**	,736**	n.s.	-,421**	n.s.
DOM							1,000	,839**	,860**	,840**	n.s.	,861**	-,632**	-,387*
HMA								1,000	,998**	,736**	n.s.	,939**	-,562**	n.s.
HMC									1,000	,779**	n.s.	,953**	-,590**	n.s.
DEA										1,000	,614**	,858**	-,742**	n.s.
CVA											1,000	n.s.	-,590**	n.s.
HAD												1,000	-,691**	n.s.
IHA													1,000	n.s.
ICZ														1,000

Niveaux de signification (s): *, s > 95%; **, s > 99%; n.s., non significatif

Tableau VI. Coefficients de corrélation linéaire de Pearson entre les paramètres dendrométriques/sylvicoles et les paramètres discriminants significatifs obtenus avec le programme twinspan. (les paramètres pro, tma et p ne sont pas significatifs).

	ALT	DM	PE
DEN	,438**	n.s.	n.s.
ABA	n.s.	n.s.	n.s.
DMA	-,532**	n.s.	,331*
DMC	-,519**	n.s.	,335*
DED	-,359*	n.s.	n.s.
CVD	n.s.	,437**	n.s.
DOM	-,417**	n.s.	n.s.
HMA	-,592**	n.s.	n.s.
HMC	-,591**	n.s.	n.s.
DEA	-,443**	n.s.	n.s.
CVA	n.s.	n.s.	n.s.
HDA	-,601**	n.s.	n.s.
IHA	,380*	n.s.	n.s.
ICZ	n.s.	n.s.	n.s.

Niveaux de signification (s): *, s > 95%; **, s > 99%; n.s., non significatif

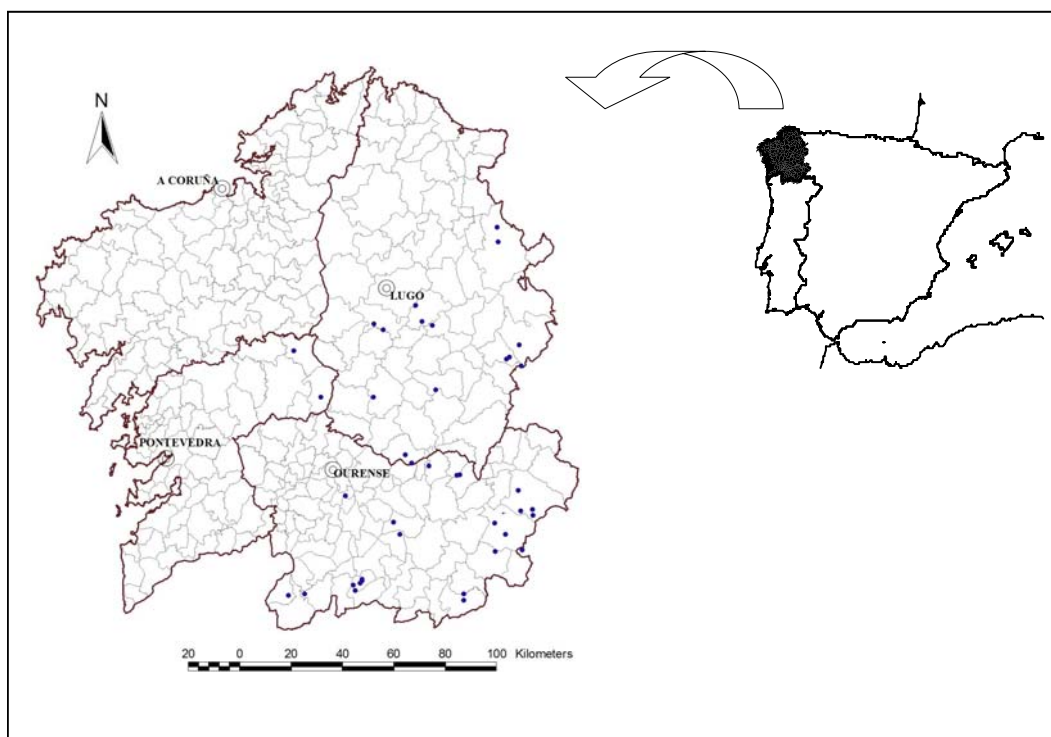


Figure 1. Situation du domaine d'étude (Communauté Autonome de Galicie) et des parcelles d'échantillonnage dans le contexte de la péninsule ibérique.

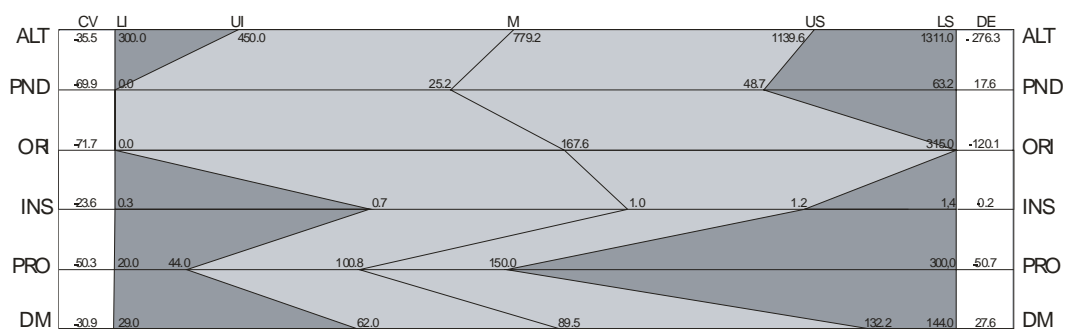


Figure 2. Statistiques descriptives et habitat topographique central et marginal du *Quercus pyrenaica* en Galice.

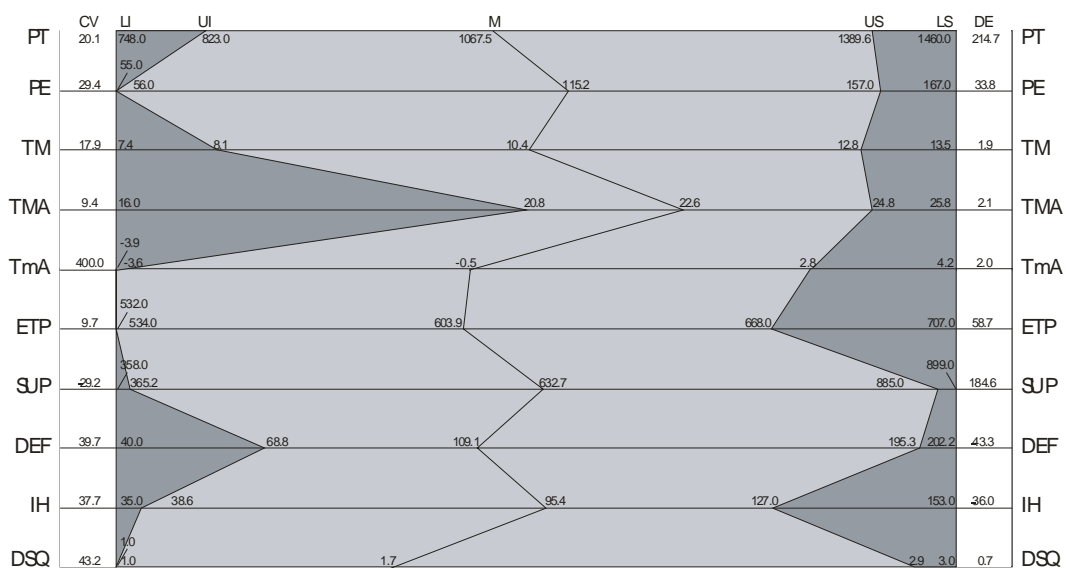


Figure 3. Statistiques descriptives et habitat climatique central et marginal du *Quercus pyrenaica* en Galice.

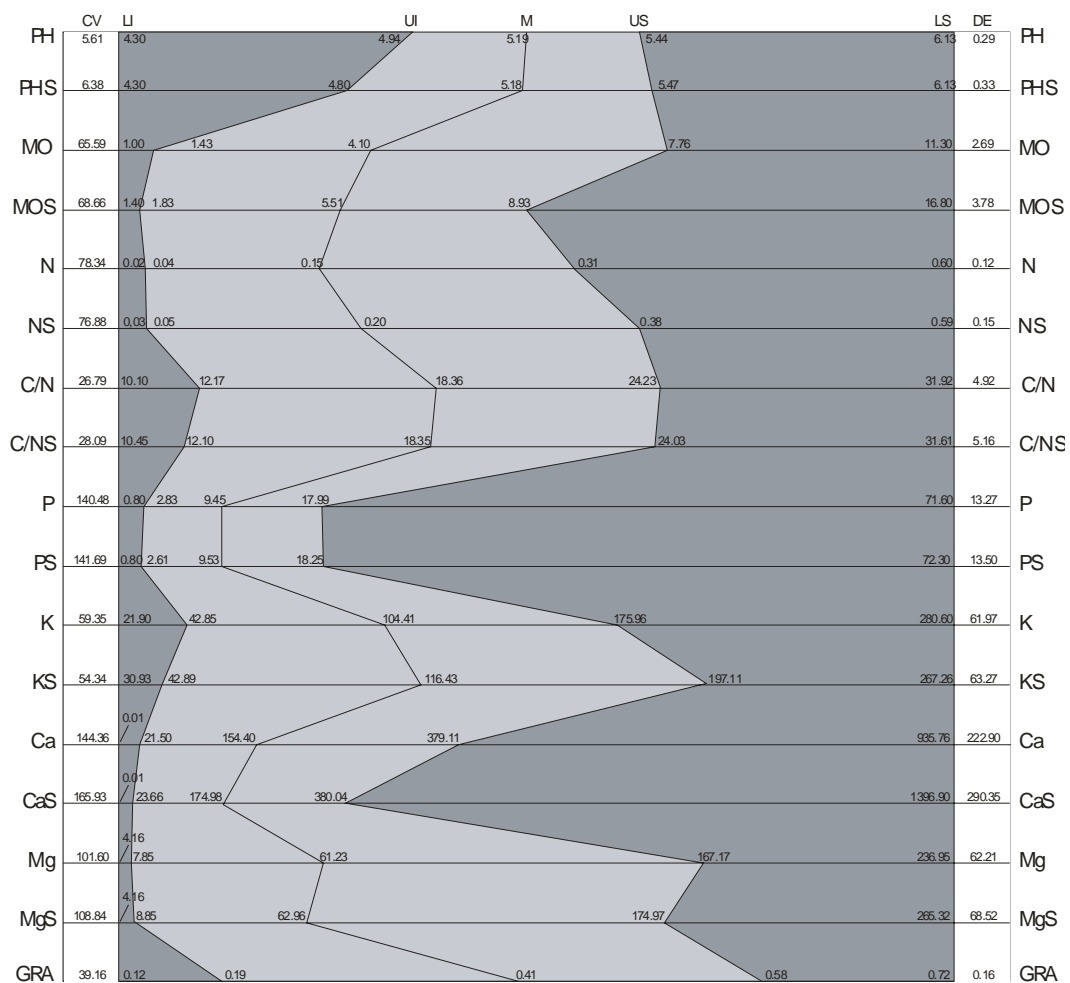


Figure 4. Statistiques descriptives et habitat édaphique central et marginal du *Quercus pyrenaica* en Galice.

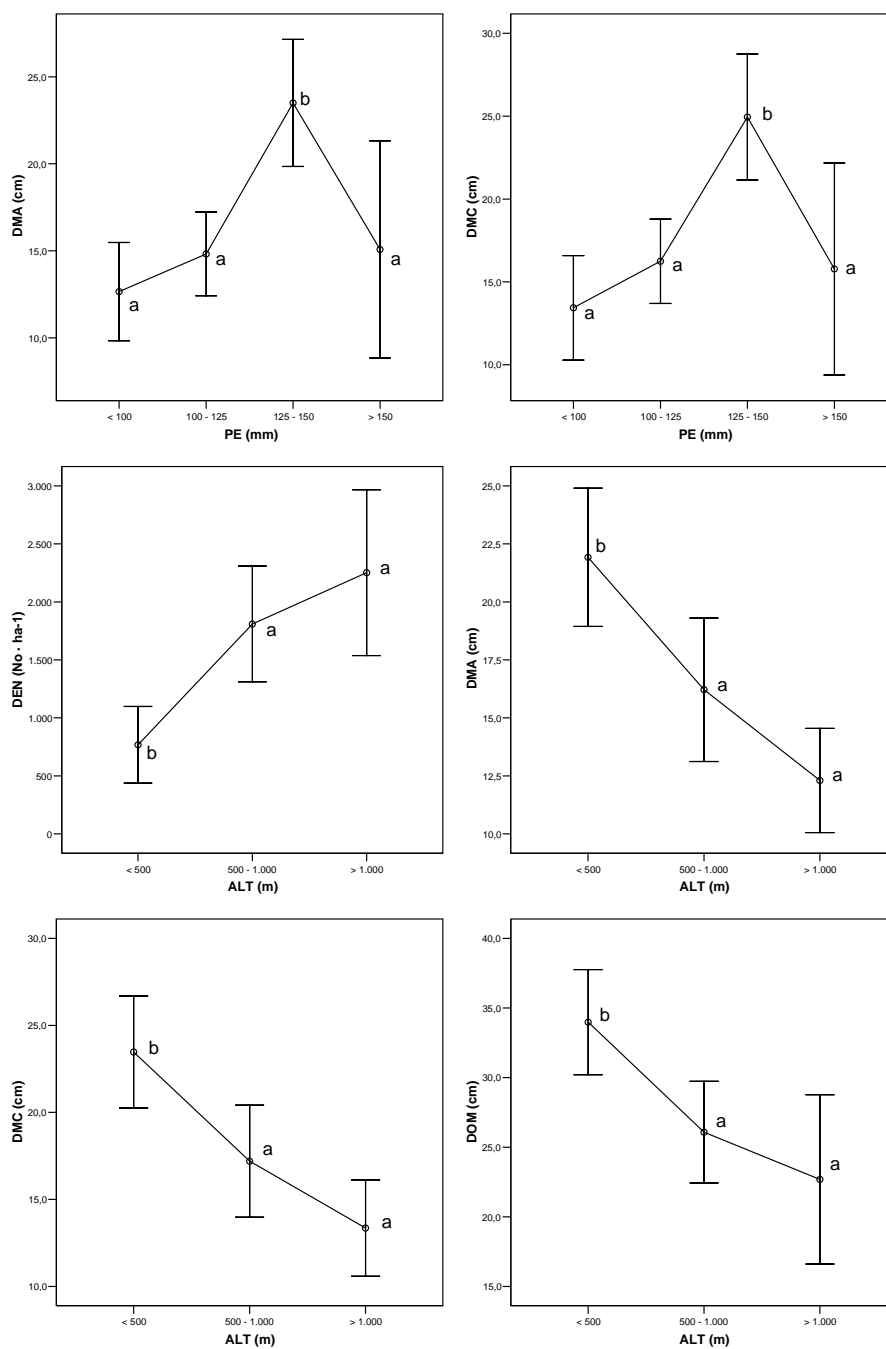


Figure 5. Analyse de variance entre l'altitude et les précipitations estivales avec les paramètres sylvicoles sélectionnés (Les valeurs avec différent caractère sont statistiquement significatifs).

SITE QUALITY CURVES FOR *Quercus pyrenaica* Willd. IN GALICIA

Abstract

Data from stem analysis of 56 dominant trees of *Quercus pyrenaica* Willd. natural stands in Galicia (northwestern Spain) were used to evaluate four dynamic site equations derived with the generalized algebraic difference approach (GADA). All the equations are base-age invariant and directly estimate height and site index from any height and age. The fittings were done using a data structure involving all possible growth intervals. The GADA formulation derived on the basis of the Bertalanffy-Richards model by considering the asymptote and the initial pattern parameters as related to site productivity resulted in the best described the data. It is therefore recommended for height growth prediction and site classification of Pyrenean oak stands in Galicia.

Key words: Pyrenean oak / Site index model / height growth / generalized algebraic difference approach.

INTRODUCTION

Pyrenean oak (*Quercus pyrenaica* Willd.) is distributed throughout the Iberian Peninsula, it is probably found all over Spanish territory, although it is sometimes only present in small stands or represented by few individuals (Meson, 1983; Amaral, 1990; Carvalho et al., 2005). In Galicia, the climax vegetation in large areas of the south of the province of Lugo and inland areas of Pontevedra and Ourense is comprised of Pyrenean oak forests (Bellot, 1966), and in other areas it is rather more disperse and often mixed with *Quercus robur* L. Pyrenean oak is also the dominant tree species in native forest in areas of Galicia (northwest Spain) with an Atlantic climate with Mediterranean influence (Díaz-Maroto et al., 2006), where at present it covers 100,504 ha in pure stands. Up to now, no studies have been carried out to determine the site quality of Pyrenean oak stands in the area. Nevertheless, during recent decades, there has been increasing interest in the management of broadleaved tree species, due to the current emphasis on preserving biodiversity (Barrio and Diéguez-

Aranda, 2005). In this sense, site quality is of primary concern in making forest management decisions.

An index which expresses site productivity is a required variable for the modelling of present and future growth and yield, and can also be used for forest land stratification for purposes of forest inventory, and for forest exploitation on a sustainable yield basis (García, 1983). Ideally, site quality should be measured directly in terms of volume yield, as in agriculture (e.g. annual crops) (Clutter et al., 1983). Nevertheless, the life history of a stand affects the volume of timber in an area at any time, and we almost never know the stand history. Stand density at establishment, character of past cutting, disease, insects, and weather can all affect the standing volume (Davis et al., 2001), as can the length of forest stand rotation. Therefore, site quality estimations are frequently made in terms of stand height, because, for many species, areas having good site quality are also areas where height growth rates are high (Clutter et al., 1983). Taking into account that the average height of the stand may be affected by thinning (depending on the type of thinning), but that within a wide range of stand densities the height growth does not seem to be affected—especially when the comparison is restricted to dominant and codominant trees (Clutter et al., 1983)—the most common approach in determining site productivity involves the use of a site index. This may be defined as the dominant height of the stand at a specific base age.

The objective of this study was to develop a site quality system (both for height growth prediction and site index estimation) for even-aged, single-species Pyrenean oak natural stands in Galicia (northwest Spain).

DATA

In the winter of 2003–2004 a network of 40 plots was established in even-aged, single-species Pyrenean oak natural stands. The plots were located throughout the area of distribution of this species in Galicia, and were subjectively selected to represent the existing range of ages, stand densities and sites. The plot size ranged from 130 m² to 2120 m², depending on stand density, in order to achieve a minimum of 50 trees per plot. Two dominant trees were destructively sampled at 28 locations. These trees were selected as the first two dominant trees found outside the plots but in the same stands within $\pm 5\%$ of the mean diameter at 1.3 m above ground level and mean height of the dominant trees (considered as the 100 largest-diameter trees per hectare). The trees were felled leaving stumps of average height 0.12 m; total bole length was measured to the nearest 0.01 m. The logs were cut at 1 m intervals except the first log, which was of 1.3 m length. Number of rings was counted at each cross sectioned point and then converted to stump age. As cross-section lengths did not coincide with periodic height growth, we adjusted the height/age data from stem analysis to account for this bias using Carmean's method (Carmean, 1972), and the modification proposed by Newberry (1991) for the

topmost section of the tree, based on earlier studies (Dyer and Bailey, 1987; Fabbio et al., 1994). After further examination of the data for evidence of trees with past height growth abnormalities, stem analyses of 56 trees were selected for modelling mean dominant height throughout the life of the stand.

Summary statistics including number of observations, mean, minimum, maximum, and standard deviation values of the selected data were calculated for total tree height grouped by age classes (Table 1).

METHODS

Methods for constructing a site model

According to Clutter et al. (1983), most techniques for site index curves construction can be viewed as special cases of three general methods: (1) the guide curve method, (2) the parameter prediction method, and (3) the difference equation method. Although the three methods are not mutually exclusive, the difference equation method has been the preferred form for developing site index curves (Bailey and Clutter, 1974; Cieszewski, 2003; Álvarez González et al., 2005; Diéguez-Aranda et al., 2005a, 2005b; Carvalho and Parresol, 2005).

The difference equation method makes use of dynamic site equations for modelling the dominant height-age relationship. Dynamic site equations have general form (omitting again the vector of model parameters): $Y = f(t, t_0, Y_0)$, where Y is the function's value at age t , and Y_0 is the reference variable defined as the function's value at age t_0 . Advantages of dynamic site equations have been pointed out in several studies (e.g., Cieszewski and Bailey, 2000; Cieszewski, 2001, 2003): they are base-age-invariant, and define both height-growth and site index models as special cases of the same equation, two desirable properties in most applications. The invariant or unchanging property of dynamic equations refers to predicted heights: any number of points (t_0, Y_0) on a specific site curve can be used to make predictions for a given age t and the predicted height Y will always be the same. This includes forward and backward predictions, and the path invariance property that ensures the result of projecting first from t_0 to t_1 , and then from t_1 to t_2 , being the same as that of the one-step projection from t_0 to t_2 . Bailey and Cieszewski (2000) noted that some models have been called 'base-age invariant' or 'reference-age invariant' that do not have these comprehensive invariance properties.

Bailey and Clutter (1974) formalized the base-age invariance property and presented a technique for dynamic equation derivation that is known in forestry as the Algebraic Difference Approach (ADA), and that essentially consists of replacing a base-model's site-specific parameter with its initial-condition solution.

Cieszewski and Bailey (2000) introduced a generalization of the ADA, the Generalized Algebraic Difference Approach (GADA), which can be used to derive the same models derived by the ADA. The main advantage of the GADA is that one can expand the base equations according to various theories about growth characteristics (e.g., asymptote, growth rate), allowing more than one parameter to be site-specific, and letting the derivation of more flexible dynamic equations (see Cieszewski and Bailey, 2000; Cieszewski, 2001, 2002, 2003). It includes the ability to simulate concurrent polymorphism and multiple asymptotes, an important property of site equations (Cieszewski, 2002).

Models

A number of researchers have pointed to desirable attributes for site equations (Bailey and Clutter 1974, Cieszewski and Bailey 2000, Cieszewski 2002, 2003). The most frequently listed criteria are: polymorphism, sigmoid growth pattern with an inflexion point, horizontal asymptote at old ages, logical behaviour (height should be zero at age zero and equal to site index at the reference age; the curve should never decrease), theoretical basis, base-age invariance, and path invariance. The fulfilment of these attributes depends on both the model construction method and the statistical procedures used for model fitting, and it cannot always be achieved.

Multiple asymptotes is also a desirable attribute (Cieszewski, 2002), although some of the functions generally used have a single asymptote. This may not be an important problem if the behaviour of the curves is suitable for the range of ages that would be used in practice, and if the single asymptote is achieved at very old ages. Regardless, limits for usage should always be appended to the curves.

With these criteria in mind, we examined different base models and tested several variants for each one which were developed using the GADA. Both one and two parameters were considered to be site-specific. We finally focused our efforts on four dynamic equations.

As general notational convention, $a_1, a_2 \dots a_n$ were used to denote parameters in base models, while $b_1, b_2 \dots b_m$ were used for global parameters in subsequent GADA formulations. All the GADA based models have the general implicit form of $Y = f(t, t_0, Y_0, b_1, b_2 \dots b_m)$.

Two models were tested on the basis of the function proposed by Bertalanffy (1949, 1957) and studied by Richards (1959), whose integral form can be, for simplicity, represented as

$$Y = a_1(1 - \exp(-a_2 t))^{a_3} \quad [1.1]$$

where a_1 is an asymptote or limiting value, a_2 is often called a ‘rate parameter’, and a_3 is often referred to as ‘an initial pattern parameter’. This model is very flexible and has been frequently used for site-index curve development, including with the GADA approach (e.g., Burkhart and Tennent, 1977; Powers and Oliver, 1978; García, 1983; Biging, 1985; Carvalho and Parresol, 2005; Diéguez-Aranda et al., 2005b).

The first model derived by applying the GADA to Equation (1) considers only the shape parameter a_2 to be site-specific (in this case the GADA is equivalent to the ADA). Its GADA formulation results

$$Y = b_1(1 - \exp(-Xt))^{b_3} \quad [1.2]$$

The solution for X in Equation (2) with initial condition values t_0 and Y_0 ($X_0 = f(t_0, Y_0)$) for t and Y , respectively, is

$$X_0 = -\ln\left(1 - \left(\frac{Y_0}{b_1}\right)^{1/b_3}\right) / t_0$$

Substituting X it into Equation (2) results in the following dynamic equation that provides polymorphic curves with a single asymptote:

$$Y = b_1 \left(1 - \left(1 - \left(\frac{Y_0}{b_1} \right)^{1/b_3} \right)^{t/t_0} \right)^{b_3} \quad [1.3]$$

To derive models with both polymorphism and variable asymptotes from Equation (1), more than one parameter has to be a function of site productivity. When the parameter a_2 varies with site productivity none of the other two parameters a_1 or a_3 can be used (together with a_2) to model the site productivity responses because when a_1 or a_3 is a function of X and the parameter a_2 is also a function of X the model cannot be solved for X in a closed-form solution (Cieszewski, 2004). Thus, in the second model derived from Equation (1) using the GADA both the asymptote a_1 and the shape parameter a_3 are assumed to be dependent on X . To facilitate such derivation the base equation is re-parameterized into a form more suitable for manipulation of these two parameters (using $\exp(a_1')$ instead of a_1 and taking the log of the function) as follows:

$$Y = \exp(a_1')(1 - \exp(-a_2t))^{a_3}$$

$$\ln Y = a_1' + a_3 \ln(1 - \exp(-a_2t))$$

where \ln is the natural logarithm.

The site parameters can be conditioned to be consistently proportional to each other's inverse over the site productivity dimension by the following definitions:

$$a_1' = X \text{ and } a_3 = b_2 + b_3/X, \text{ while } a_2 = b_1$$

which defines the following GADA formulation:

$$\ln Y = X + (b_2 + b_3/X) \ln(1 - \exp(-b_1 t)) \quad [1.4]$$

For this base equation, the solution for X involves finding roots of a quadratic equation and selection of the most appropriate root to substitute into the dynamic equation. The selection of the most appropriate expression for X may depend on the equation parameters that in turn depend on the data and the domain of the applicable ages (Cieszewski and Bailey, 2000). The solution for X in Equation (4) with initial condition values t_0 and Y_0 is

$$X_0 = \frac{1}{2} \left((\ln Y_0 - b_2 L_0) \pm \sqrt{(\ln Y_0 - b_2 L_0)^2 - 4b_3 L_0} \right)$$

where

$$L_0 = \ln(1 - \exp(-b_1 t_0))$$

Selecting the root more likely to be real and positive (i.e., the one involving addition rather than subtraction of the square root), and substituting it into Equation (4) results in the following dynamic equation that provides polymorphic curves with variable asymptotes:

$$Y = Y_0 \left(\frac{1 - \exp(-b_1 t)}{1 - \exp(-b_1 t_0)} \right)^{(b_2 + b_3/X_0)} \quad [1.5]$$

The subsequent models may be viewed as special cases of the log-logistic class of models, which are equivalent to Hossfeld models (Cieszewski, 2000) and have a long history in describing a wide variety of population dynamics. Monserud (1984) applied a log-logistic model to describe the height growth of inland Douglas-fir in the northern Rocky Mountains (United States of America) based on data from stem analysis of dominant trees. Cieszewski (2000, 2001, 2002, 2003) examined several GADA formulations utilizing the log-logistic model as a base equation, which can be expressed generally as

$$Y = \frac{a_1}{1 + a_2 \exp(-u)} \quad [1.6]$$

where a_1 is the asymptote parameter, a_2 is the half-saturation parameter that defines the value of $\exp(-u)$ at which $Y(u) = a_1/2$, and u is usually a linear combination of log-transformations of the independent variable(s) (Monserud, 1984; Cieszewski, 2000, 2001, 2002).

Within the different forms investigated, the GADA based formulation by Cieszewski (2002) was found to perform particularly well. It considers the above-mentioned u as a logarithmically transformed function of age, such that $u = a_3 \ln t$. Therefore, Equation (6) can be simplified as the Hossfeld (1882) model

$$Y = \frac{a_1}{1 + a_2 t^{-a_3}} \quad [1.7]$$

Cieszewski (2002) replaced a_1 with a constant plus the unobserved site variable X , and a_2 by b_2/X , becoming the GADA formulation

$$Y = \frac{b_1 + X}{1 + b_2/X t^{-b_3}} \quad [1.8]$$

The solution for X involves again finding roots of a quadratic equation. With initial condition values t_0 and Y_0 it is

$$X_0 = \frac{1}{2} \left(Y_0 - b_1 \pm \sqrt{(Y_0 - b_1)^2 + 4b_2 Y_0 t_0^{-b_3}} \right)$$

Selecting the root more likely to be real and positive (i.e., the one involving addition rather than subtraction of the square root), and substituting it into Equation (8) results in the following dynamic equation that provides polymorphic curves with variable asymptotes:

$$Y = \frac{b_1 + X_0}{1 + b_2/X_0 t^{-b_3}} \quad [1.9]$$

The fourth model is the dynamic equation proposed by McDill and Amateis (1992). It is based on considering parameter a_2 in Equation (7) as site-specific. After applying the GADA, solving for X and substituting for initial condition values t_0 and Y_0 results in the following dynamic equation that provides polymorphic curves with a single asymptote:

$$Y = \frac{b_1}{1 - \left(1 - \frac{b_1}{Y_0}\right) \left(\frac{t_0}{t}\right)^{b_3}} \quad [1.10]$$

Data structure and model fitting

The data structure used for fitting the four models was arranged with all the possible combinations among height/age pairs for each tree, including descending growth intervals. All possible growth intervals typically produce fitted models with a better predictive performance as compared to, for example, forward moving first differences (Goelz and Burk, 1992; Huang, 1999). However, this data structure may lead to the rejection of the error assumptions because it automatically introduces a lack of independence among observations (Goelz and Burk, 1992). Although statistical literature on the proper analysis of longitudinal data is available, the more complicated error structure of this type of

data has often been ignored in forestry (Gregoire et al., 1995), in part because least squares parameter estimates and resulting predictions are still unbiased in the presence of this autocorrelation. However, least squares parameter estimates are no longer minimum variance estimators (Neter et al., 1990); that is, the model mean square error may underestimate the variance of the error terms, invalidating tests of significance (Neter et al., 1990). Autocorrelation can therefore have an adverse impact where the goal is to identify statistically significant predictor variables. Because the goal of this study was to obtain the best site model for predicting height and site index, we did not take into account the autocorrelation.

Fitting was carried out using the SAS/STAT[®] NLIN procedure (SAS Institute Inc., 2004).

Model comparison

The comparison of the estimates for the different models was based on numerical and graphical analyses of the residuals. Two statistical criteria were examined: root mean square error (*RMSE*) and coefficient of determination for nonlinear models (R^2) (see Ryan 1997, pp. 419 and 424). Although several shortcomings have been stated against the use of the R^2 in nonlinear regression, the general usefulness of some global measure of model adequacy would seem to override some of those limitations (Ryan 1997, p. 424). These expressions may be summarized as follows:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n - p}} \quad [1.11]$$

$$R^2 = r_{Y\hat{Y}}^2 \quad [1.12]$$

where $r_{Y\hat{Y}}$ is the correlation coefficient between the measured (Y_i) and estimated (\hat{Y}_i) values of the dependent variable, \bar{Y} is the average value of the dependent variable, n is the total number of observations used to fit the model, and p is the number of model parameters.

The last step in evaluating the different fitted models consisted of examining visually the residuals against the estimated values, and the fitted curves for different site indices overlaid on trajectories of the observed heights over time. Visual inspection is an essential point in selecting the most accurate model because curve profiles may differ considerably, even though goodness-of-fit statistics are similar.

Selection of reference age for site quality evaluation

Practical use of the model to estimate site quality from any given pair of height and age requires the selection of a base age to which site index will be referenced. Inversely, site index and its associated

base age could be used to estimate dominant height at any desired age. Therefore, the selection of a base age becomes an important issue. The base age should be selected so that it is a reliable predictor of height at other ages, taking into account the erratic height growth at young ages but considering that a young base age will help in earlier decision making of the silvicultural treatments to be applied to the stand.

In order to address the first consideration, different base ages and their corresponding observed heights were used to estimate heights at other ages (both forward and backward) for each tree. The results were compared with the observed values in each tree and the relative error in predictions ($RE\%$) was then calculated as follows:

$$RE\% = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 / (n - p)}}{\bar{Y}} 100 \quad [1.13]$$

where Y_i , \hat{Y}_i and \bar{Y} are the observed, predicted and average values of the tree height, respectively; n is the total number of observations used to fit the model; and p is the number of model parameters.

RESULTS AND DISCUSSION

The parameter estimates for each model and their corresponding goodness-of-fit statistics are shown in Tables 2 and 3, respectively. The two dynamic equations developed considering only one parameter to be site-specific in the base model described the data slightly worse than the two-site-specific parameter models (Table 3), and explained just about 90.3% of the total variance. Within the group with two site-specific parameters, Equation (5) provided the best results, as indicated by the graphs that represent the fitted curves for different site indices (Figure 2) and the goodness-of-fit statistics (Table 3). This model explained 91.4% of the total variance, and provided a random pattern of residuals around zero with homogeneous variance and no detectable significant trends, both for predicted heights and site indices at a reference age of 25 years (Figure 3).

These results suggest that the one site-specific parameter models could be adequate. Nevertheless, the two-site-specific parameter equations fitted allow simulating concurrent polymorphism and multiple asymptotes, two desirable characteristics of site equations (Cieszewski, 2002). Although this may be of secondary importance, equations that possess these characteristics are more flexible, and better describe a wide variety of height-age trends. Thus, among the four dynamic equations finally evaluated for height growth prediction and site classification of even-aged, single species Pyrenean oak natural stands in Galicia, Equation (5) –the GADA formulation derived from the Bertalanffy-Richards model by considering parameters a_1 and a_3 as related to site productivity– was selected:

$$Y = Y_0 \left(\frac{1 - \exp(-0.01794t)}{1 - \exp(-0.01794t_0)} \right)^{(-1.132 + 7.746/X_0)} \quad [1.14]$$

where Y_0 and t_0 represent the predictor height (meters) and age (years), Y is the predicted height at age t ,

$$X_0 = \frac{1}{2} \left((\ln Y_0 + 1.132L_0) + \sqrt{(\ln Y_0 + 1.132L_0)^2 - 4 \times 7.746L_0} \right), \quad \text{and}$$

$$L_0 = \ln(1 - \exp(-0.01794 t_0)).$$

To estimate the dominant height (Y) of a stand for some desired age (t), given site index (S) and its associated base age (t_s), substitute S for Y_0 and t_s for t_0 in Equation (14). Similarly, to estimate site index at some chosen base age, given stand height and age, substitute S for Y and t_s for t in Equation (14).

Equation (14) fulfils all the desirable properties that a site equation should possess, that is: it constitutes a parsimonious, three parameter, dynamic site equation; it shows no trends in residuals; it predicts height zero at age zero and equal to site index at base age; it is polymorphic with sigmoidal curve shapes and varying asymptotes; and, it has the base-age and path invariance properties providing consistent predictions.

In selecting the base age, it was found that an age around 25 years was superior for predicting height at other ages with a minimum degree of reliability (Figure 4). Even though at older ages the relative error in predicting height was also acceptable, the scarcity of data would lead to an incorrect decision as the data were not representative enough (less than 40 data by 2-year age classes). Therefore, 25 years is proposed provisionally as the base age to which site index will be referenced in order to classify the stands according to its productivity.

REFERENCES

- Álvarez, J.G., Ruiz, A.D., Rodríguez, R.J., Barrio, M. 2005. Ecoregional site index models for *Pinus pinaster* in Galicia (northwestern Spain). *Ann. For. Sci.* 62: 115-127.
- Amaral J. 1990. *Quercus*, En: Castroviejo, S. et al., (eds.), Flora Ibérica II, C.S.I.C., Madrid.
- Bailey, R.L., and Cieszewski, C.J. 2000. Development of a well-behaved site-index equation: jack pine in north-central Ontario: comment. *Can. J. For. Res.* 30:1667-1668.
- Bailey, R.L., and Clutter, J.L. 1974. Base-age invariant polymorphic site curves. *For. Sci.* 20:155-159.
- Barrio, M., and Diéguez-Aranda, U. 2005. Site qualite of pedululate oak (*Quercus robur* L.) stands in Galicia (northwest of Spain). *Eur. J. For. Res.* 124:19-28.
- Bellot, F. 1966. La vegetación de Galicia. *Anales del Instituto Botánico A. J. Cavanilles. T. XXIV.* Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid: 3-306.
- Bertalanffy, L.v. 1949. Problems of organic growth. *Nature* 163:156-158.
- Bertalanffy, L.v. 1957. Quantitative laws in metabolism and growth. *Quarterly Review of Biology* 32:217-231.
- Biging, G.S. 1985. Improved estimates of site index curves using a varying-parameter model. *For. Sci.* 31:248-259.
- Burkhart, H.E., and Tennent, R.B. 1977. Site index equations for radiata pine in New Zealand. *New Zealand Journal of Forestry Science* 7:408-416.
- Carmean, W.H. 1972. Site index curves for upland oaks in the Central States. *For. Sci.* 18: 109-120.
- Carvalho, J.P., Santos, J.A., Reimão, D., Gallardo, J.F., Alves, E. 2005. O Carvalho Negral. João P. Carvalho, UTAD-CEGE. Vila Real, Portugal, 206 pp.
- Carvalho, J.P., and Parresol, B.R. 2005. A site model for Pyrenean oak (*Quercus pyrenaica*) stands using a dynamic algebraic difference equation. *Can J. For. Res.* 35: 93-99.
- Cieszewski, C.J. 2000. Analytical solution to the generalized log-logistic equation. *For. Sci.* 46:291-296.
- Cieszewski, C.J. 2001. Three methods of deriving advanced dynamic site equations demonstrated on inland Douglas-fir site curves. *Can. J. For. Res.* 31:165-173.
- Cieszewski, C.J. 2002. Comparing fixed- and variable-base-age site equations having single versus multiple asymptotes. *For. Sci.* 48:7-23.
- Cieszewski, C.J. 2003. Developing a well-behaved dynamic site equation using a modified Hossfeld IV function $Y^3 = (ax^m)/(c + x^{m-1})$, a simplified mixed-model and scant subalpine fir data. *For. Sci.* 49:539-554.

- Cieszewski, C.J. 2004. GADA derivation of dynamic site equations with polymorphism and variable asymptotes from Richards, Weibull, and other exponential functions. University of Georgia PMRC-TR 2004-5.
- Cieszewski, C.J., and Bailey, R.L. 2000. Generalized Algebraic Difference Approach: Theory based derivation of dynamic site equations with polymorphism and variable asymptotes. *For. Sci.* 46:116-126.
- Clutter, J.L., Fortson, J.C., Pienaar, L.V., Brister, H.G., Bailey, R.L. 1983. *Timber management: a quantitative approach*. Wiley, New York
- Davis, L.S., Johnson, K.N., Bettinger, P.S., Howard, T.E. 2001. *Forest management: to sustain ecological, economic, and social values*. McGraw-Hill, New York
- Díaz-Maroto I.J., Fernández-Parajes J., Vila-Lameiro P. 2006. Autoécologie de chêne tauzin (*Quercus pyrenaica* Willd.) en Galice (Espagne). *Ann. For. Sci.* 63 (2): (in press).
- Diéguez-Aranda, U., Álvarez, J.G.; Barrio, M., Rojo, A. 2005a. Site quality equations for *Pinus sylvestris* L. plantations in Galicia (northwestern Spain). *Ann. For. Sci.* 62: 143-152.
- Diéguez-Aranda, U., Burkhardt, H.E., Rodríguez, R. 2005b. Modeling dominant height growth of radiata pine (*Pinus radiata* D. Don) plantations in north-western Spain. *For. Ecol. Manag.* 215: 271-284.
- Dyer, M.E. and Bailey, R.L. 1987. A test of six methods for estimating true heights from stem analysis data. *For. Sci.* 33: 3-13.
- Fabbio, G., Frattegiani, M. and Manetti, M.C. 1994. Height estimation in stem analysis using second differences. *For. Sci.* 40: 329-340.
- García, O. 1983. A stochastic differential equation model for the height growth of forest stands. *Biometrics* 39:1059-1072.
- Goelz, J.C.G., and Burk, T.E., 1992. Development of a well-behaved site index equation: jack pine in north central Ontario, *Can. J. For. Res.* 22: 776-784.
- Gregoire, T.G., Schabenberger, O., and Barrett, J.P. 1995. Linear modelling of irregularly spaced, unbalanced, longitudinal data from permanent-plot measurements. *Can. J. For. Res.* 25:137-156.
- Hossfeld, J.W. 1882. *Mathematik für Forstmänner, Ökonomen und Cameralisten* (Gotha, 4. Bd., S. 310).
- Huang, S., 1999. Development of compatible height and site index models for young and mature stands within an ecosystem-based management framework, in: Amaro A., Tomé T. (Eds.), *Empirical and Process Based Models for Forest Tree and Stand Growth Simulation*, Edições Salamandra, pp. 61–98.
- McDill, M.E., and Amateis, R.L. 1992. Measuring forest site quality using the parameters of a dimensionally compatible height growth function. *For. Sci.* 38:409-429.
- Meson, M., 1983. Aspectos autoecológicos de *Quercus pyrenaica* Willd.: distribución y climatología. *Boletín Estación Central Ecol. INIC-MAPA*, 12: 24-33.

- Monserud, R.A. 1984. Height growth and site index curves for inland Douglas-fir based on stem analysis data and forest habitat type. *For. Sci.* 30:943-965.
- Neter, J., Wasserman, W., Kutner, M.H. 1990. *Applied linear statistical models: regression, analysis of variance and experimental designs*. 3th edition. Irwin, Boston.
- Newberry, J.D. 1991. A note on Carmean's estimate of height from stem analysis data. *For. Sci.* 37: 368-369.
- Powers, R.F., and Oliver, W.W. 1978. Site classification of ponderosa pine stands under stocking control in California. *USDA For. Serv. Res. Pap.* PSW-128.
- Richards, F.J. 1959. A flexible growth function for empirical use. *Journal of Experimental Botany* 10:290-300.
- Ryan, T.P. 1997. *Modern regression methods*. John Wiley & Sons, New York.
- SAS Institute Inc. 2004. *SAS/STAT® 9.1 User's Guide*. Cary, NC: SAS Institute Inc.

TABLES

Table 1. Total tree height statistics given in meters (age class 5 = 1-9 years, etc.).

Age class	No. of obs.	Mean	Min. value	Max. value	Std. dev.
5	75	2.1	0.9	4.8	1.0
15	118	4.9	1.2	10.0	1.7
25	73	7.9	2.2	15.1	2.1
35	29	9.7	5.2	18.2	3.3
45	15	10.8	5.0	21.3	4.4
55	9	11.4	9.1	14.3	1.6
65	1	11.2	11.2	11.2	0.0
75	2	12.8	12.3	13.3	0.5

Table 2. Parameter estimates for the different models evaluated.

Model	Parameter	Estimate	Approx. Std. err.	<i>t</i> value	Approx. pr. > $ t $
Equation (3)	b_1	33.87	1.50	22.52	0.001
	b_3	1.102	0.011	103.6	0.001
Equation (5)	b_1	0.01794	0.00099	18.09	0.001
	b_2	-1.132	0.201	-5.64	0.001
	b_3	7.746	0.674	11.49	0.001
Equation (9)	b_1	58.20	2.74	21.23	0.001
	b_2	-946.8	87.2	-10.86	0.001
	b_3	1.100	0.009	122.6	0.001
Equation (10)	b_1	51.02	2.876	17.74	0.001
	b_3	1.108	0.0105	105.4	0.001

Table 3. Goodness-of-fit statistics for the different models evaluated.

Model	<i>RMSE</i>	R^2
Equation (3)	1.203	0.9028
Equation (5)	1.129	0.9143
Equation (9)	1.192	0.9046
Equation (10)	1.202	0.9029

FIGURES

Figure 1. Location of *Quercus pyrenaica* plots in Galicia.

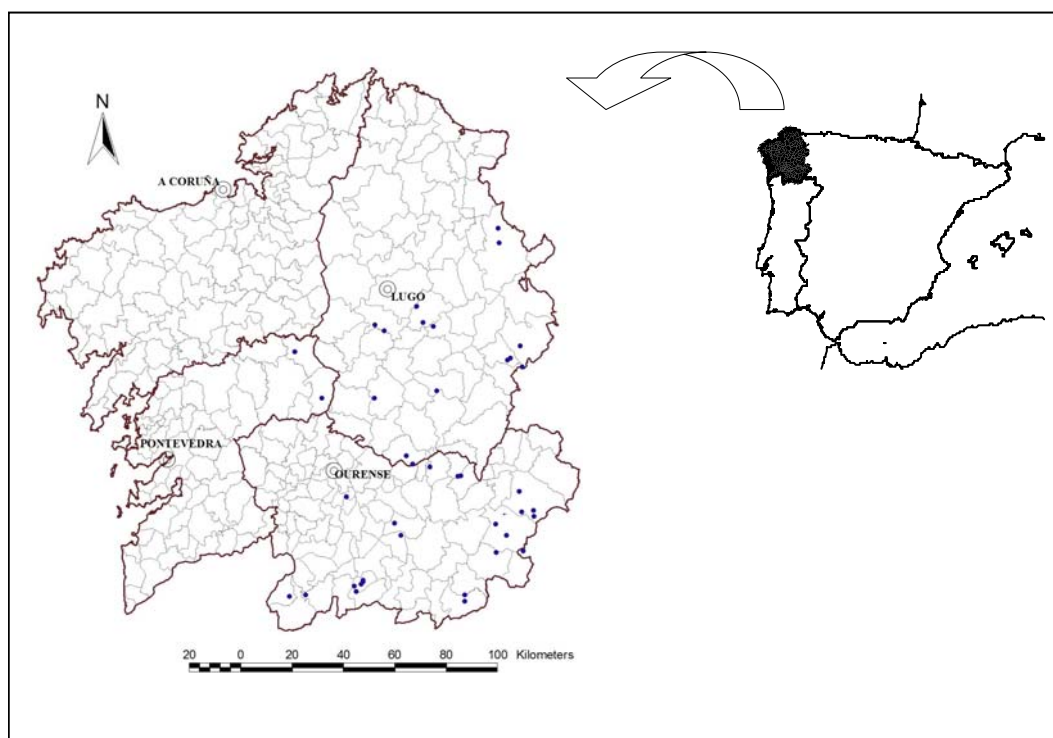


Figure 2. Curves for site indices of 5, 8, 11, 14 and 17 m at a reference age of 30 years overlaid on the trajectories of the observed heights over time for: top-left, Equation (3); top-right, Equation (5); bottom-left, Equation (9); bottom-right, Equation (10).

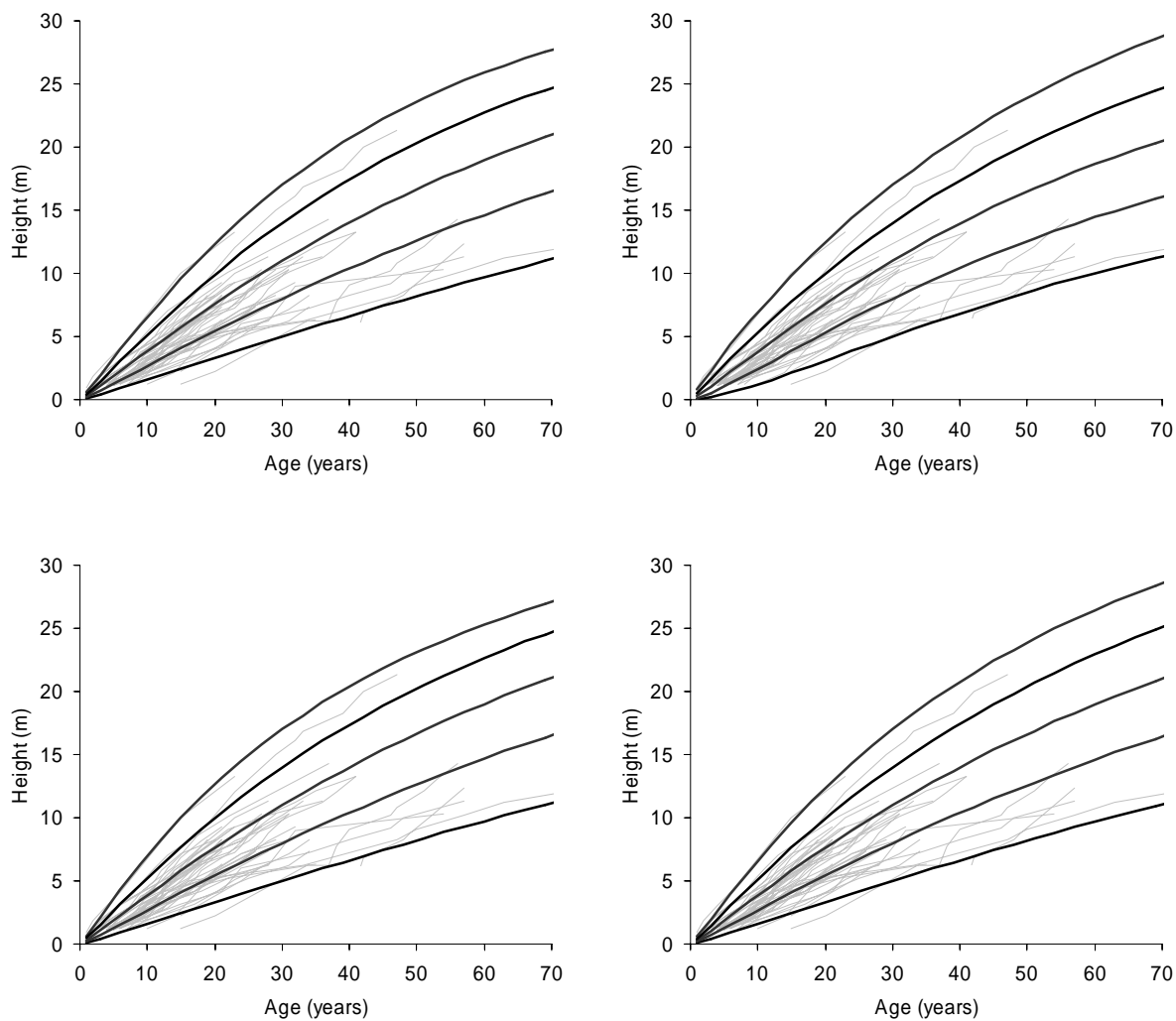


Figure 3. Residuals versus: predicted heights as an illustration of potential heteroscedasticity (left), and site indices at a reference age of 25 years (right) for Equation (5).

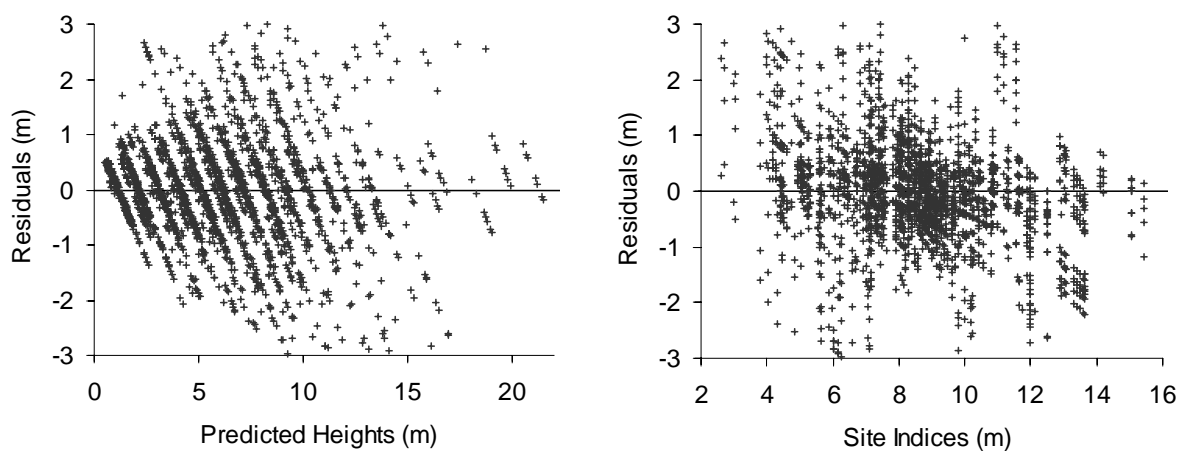
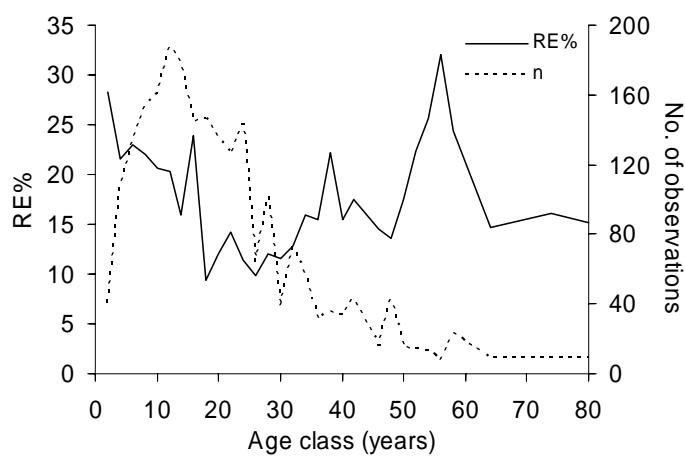


Figure 4. Relative error in height prediction related to choice of reference age for Equation (5) by 2-year age classes.



STUDY OF SMALL SAMPLES FOR DETERMINING THE TECHNOLOGICAL SUITABILITY OF *Quercus* spp. TIMBER

Abstract

The results are reported of the physical characterization of oak timber, carried out by examining a series of physical parameters such as the shrinkage of the wood fibre, specific weight, hardness and moisture content of the green wood, in different species of the genus *Quercus* growing in northwest Spain, i.e. *Quercus petraea*, *Q. robur* and *Q. pyrenaica*. Small defect-free samples were used, applying the methodology established by UNE-AENOR (1978) for testing wood samples. Conclusions were reached about the different behaviour of the three species after comparison of each of the parameters studied in relation to the position on the stem.

Key words: Xilology; Technological suitability; UNE regulations; *Quercus* spp.; Northwest Spain

INTRODUCTION

The abundance of information about physical parameters of wood, obtained in studies carried out at both a local (NW Iberian Peninsula) and at an international level (Kandeel and Benseid, 1969; Bengtsson et al., 1999; Gustafsson, 1999; Kärki, 2001; Yang and Fortín, 2001; Coro et al., 2002; Díaz-Maroto et al., 2003) contrasts with the scarcity of xilological studies of species of the genus *Quercus* in the study area. The studies of Coro et al. (2002), Díaz-Maroto et al. (2003), Riesco (2001), Vila-Lameiro (2003), amongst others, provide background information and demonstrate the effect of silvicultural treatments on both physical and mechanical properties and the technological suitability of the wood of the above-mentioned genus for its use as e.g. a structural or decorative element. Data corresponding to these properties are combined in order to define the quality of timber produced in a forest (Arriaga et al., 1994).

Andersson (1996) established a mathematical model for estimating the quality of the wood of standing trees using different variables such as normal diameter, bark thickness, height (relative or crown), the number and height of branches, which are very important for classifying both timber and panels, especially with regard to the resistance and structural behaviour of the wood (Johansson,

1992). After studying the intensity of thinning in a *Pinus sylvestris* stand, Gómez et al. (1996) reached the conclusion that this factor had a significant effect on ring width, but not on the density or shrinkage of the wood fibres. Fernández-Golfín and Díez (1996) analysed diverse species (*Populus* spp., *Pinus* spp. and *Eucalyptus globulus*) and stated that it was possible to vary the thickness of the rings through the use of different silvicultural methods, without any loss of timber quality. Furthermore, Lindström (1996) concluded that timber from thinned plots of *Picea abies* was less dense than timber from unthinned plots; likewise Bamber and Burley (1983) showed that the density of radiata pine timber decreased slightly due to the effects of thinning. Bergsted et al. (1997) - reported in Klang (2000) - also examined the relationship between wood density and stand density, quantified as the number of trees per hectare, and found a reduction in the wood density of 7% in cleared areas, although in another study (Pape, 1999) the reduction in density was calculated as only 3.5% following thinning, with a positive correlation between the intensity of thinning and the diameter of the branches also being detected.

In the investigation of the uses of timber, study of the relationships between the moisture content and technological suitability is probably the most important, as these affect most transformation processes and the behaviour of the wood, and are particularly important during processes such as sawing, unrolling, brushing, varnishing, etc. (Wagenführ and Scheiber, 1974; Arriaga et al., 1995).

If by “wood quality” we mean the calibre of each log, piece of wood or wood fibre in relation to specific uses (Savidge, 2003), it is important from the point of view of industrial transformation to underline the importance of the homogeneity of the material. The more heterogeneous the properties of the wood obtained from one stem, the more difficult its industrial transformation will be and therefore the lower its value. Analysis of aspects such as the density of the wood, the content of cellulose, lignin or different components (Savidge, 2003) is fundamental in establishing wood quality.

The suitability of wood for different uses is therefore determined by the analysis of its physical and mechanical properties, using samples of either large or small dimensions (Fernández-Golfín et al., 2001). This suitability is known as the “technological suitability of the wood” or in other words its capacity for a particular function or use under certain defined conditions (AENOR, 1990).

MATERIAL AND METHODS

Study area, origin and composition of the stands under study

The samples were extracted from trees in inventoried stands in Galicia, Asturias and León (NW Spain). *Quercus petraea*, *Q. robur* and *Q. pyrenaica* are not commonly used for repopulating privately-owned forests in the study region because of silvicultural and management considerations and fragmentation of property. In fact in recent years, only the Forest Services have used these species in forest repopulations for protective and conservation purposes. The stands under study therefore originate

from natural regeneration, either by seeding, or shoots arising from stumps or roots, usually with a monospecific cover of oak, with some specimens of chestnut, birch, maple, hazelnut or holly (Díaz-Maroto, 1997; Vila-Lameiro, 2003). The oaks under study are mainly located in forests in eastern Galicia and on the border between Asturias and Leon (*Quercus petraea*), in the south of the province of Lugo and in Ourense (*Q. pyrenaica*) or are located throughout Galicia (*Q. robur*).

Collection of samples and analytical techniques used

Two factors were taken into account in locating the sampling sites within the forest stands; on one hand areas next to forest perimeters were excluded in order to avoid creating an edge effect, which would distort the results (Madrigal et al., 1999) and on the other hand, relatively homogeneous stands, representative of the forests under study, and in good conditions of health and where possible without any pollard trees, were chosen (Díaz-Maroto et al., 2003). Initially minimum extensions of between 0.5 and 1 ha were considered as this size of stand allows mitigation of possible problems of ecotone associated with smaller areas (Johnson et al., 2002) and also allows consideration of sample plots with a minimum of 50 trees (Hummel, 1969). Furthermore, largely monospecific oaks stands were chosen, in which the presence of other inventoriable species, i.e. of normal diameter equal to or greater than 5 cm, was less than 20% of the total (Díaz-Maroto et al., 2003).

A single inventory of permanent plots was carried out, attempting to cover all possible combinations of age classes, site qualities and densities existing for each of the species under study; rectangular plots of surface areas between 130 and 2120 m² were finally considered, in which the normal diameter in cross section and the total height of all inventoriable trees were measured (Table 1). In addition, in each plot, two dominant-type trees were selected, felled and cut into sections (Vila-Lameiro, 2003), extracting discs of wood at different heights on the stem of each tree (stump height, normal height and each metre on the stem). Samples were obtained from each disc in accordance with the criteria established under UNE regulation 56-526-78 for carrying out tests with samples of small dimensions and free of defects (AENOR, 1978).

Statistical analysis

In addition to the initial descriptive analysis of each of the properties studied, bivariate correlation analysis was applied to elucidate the interdependence or the covariance of the variables, and analysis of variation (ANOVA) was used to compare the correlated variables, identifying the intervals of variation (Ferran, 1997). ANOVA was used to determine whether there were significant differences among groups and if so whether they were statistically significant. Finally, in those cases in which there was a particularly defined relationship between certain parameters, the data was fitted to a linear regression line (Sas Institute Inc., 2004).

RESULTS

Description of the physical properties analysed

Information regarding the plots inventoried, trees felled and samples analysed corresponding to each species is summarised in Table 1. Some preliminary, basic physical parameters were obtained using this material: moisture content of green wood $-M_{SAT}$ -; normal specific weight (with an internal moisture content of 12%) $-rH_{12}$ -; total shrinkage $-C_V$ -; coefficient of volumetric shrinkage $-v$ - and Monning hardness $-H_M$ - for each of the three species of *Quercus* analysed. Without considering the statistical significance of these results, the variability among the three species for the initial five parameters was evident, except for the specific weight, which varied very little.

Firstly, the values of M_{SAT} for *Quercus pyrenaica* and *Q. petraea* were very similar (approximately 63%) and much higher than that corresponding to *Q. robur*, which did not reach any higher than 44% (Table 2). The uniformity of this parameter within each species was high, which explains the small number of samples necessary for its estimation, according to the established regulations UNE 56-526-78 (AENOR, 1978).

The value of rH_{12} is obtained from the specific weight under hygroscopic equilibrium, which is posteriorly corrected for a moisture content of 12%, according to the established method UNE 56-526-78 (AENOR, 1978), given that equilibrium is reached within predictable limits, of between 10 and 14%. The mean value for the three species ranged between 750 and 760 kg/m³, and it was the parameter that showed the least intra- and interspecific variations, particularly in the case of *Q. robur*, with a distribution very close to normal for all three species (Table 2).

Analysis of the shrinkage of the wood fibre of the three oak species revealed this parameter to show the higher inter- and intraspecific variability. This is taken into account in the different sampling regimes and in the Spanish regulations, 30 times more samples are required than for calculating the M_{SAT} UNE 56-526-78 (AENOR, 1978). The range of values of C_V were similar for *Quercus pyrenaica* and *Q. petraea* (Table 2) and although only slightly higher than the mean value for *Q. robur* (14.98%) they were always higher than 15%, with mean values of 17.15 and 18.52% respectively. Although the variability in the latter species was lower, there was no doubt as to the normality of the distribution function (Table 2).

Study of the distribution function of the parameters analysed

For in-depth statistical analysis, knowledge of the distribution function of each of the parameters under study is required. For this, the null hypothesis considered was that the data sets were normally distributed. The coefficients of kurtosis and asymmetry, the distribution of estimators by quartiles were studied and the Kolmogorov-Smirnov and Cramer-von Mises tests were carried out (Sas Institute Inc., 2004). These analyses revealed that all of the variables studied were normally distributed, except

those related to fibre shrinkage, which were not normally distributed, but without justifying the need for analysis of non normal distributions.

Intra- and interspecific variation of the parameters analysed

As the results of the descriptive statistics of the parameters under study were not conclusive, analysis of the intra-tree, inter-tree and inter-species variability was carried out (Table 3). The analysis of variability within each species showed clearly defined behaviour; whereas in *Quercus petraea* and *Q. pyrenaica* the variability within each specimen (intra-tree) was greater than the variability among different specimens (inter-tree), this was not the case with *Q. robur*. More specifically, the inter-tree variability in M_{SAT} , C_V and v was significantly higher in this species, although the differences in the latter two parameters were low (almost imperceptible), and probably not statistically significant.

The hardness of the wood of each of the three species of *Quercus*, which was in descriptive terms very variable and generally low, was again very variable, except in *Quercus petraea*, in which the variation in the groups was higher, although not excessively so (Table 3). In the remaining cases the variation was not statistically significant.

The analysis of the variation in the properties described indicated that the intra-species (within species) variation was always greater than the inter-species (among species) variation. This was not totally clear for C_V and hardness as the statistical significance was borderline, and therefore another posterior analysis was required.

Bivariate relationships between characteristic wood parameters

The previous analysis of means revealed the different behaviour of *Quercus robur* compared with the other species. For a more detailed examination of this behaviour, analysis of bivariate correlations between the variables described and others such as the moisture content at the moment of stabilization under controlled conditions (theoretically 12%), hygroscopicity, Koëller's coefficient and coefficient Bd, with the correlations between the latter two variables comparing the shrinkage until the saturation point of the fibre with the specific weight (Koëller) and the effective amount of fibre that can be transformed in a sample of wood (dry weight compared with the saturated volume) or, in other words, the saturated volumetric dry weight (coefficient Bd).

Apart from the expected correlations such as those between the saturated moisture content with other levels of moisture and specific weights or hygroscopicity, different specific weights with each other or C_V with v , some significant correlations ($P > 99\%$) were detected.

The correlation between M_{SAT} and rH_{12} was particularly notable, and was high in all cases, especially for *Quercus petraea* and *Q. pyrenaica*, with the values of Pearson's coefficient of correlation (ρ) ranging between 0.4 and 0.7 (Table 4). There were also significant correlations between

the former and other variables, although less significant than with rH_{12} . In *Q. robur* the correlation between M_{SAT} and Köeller's coefficient was also high ($\rho=0.6$).

Among the specific weight correlations, those with Bd were particularly notable, especially in *Quercus petraea* and *Q. pyrenaica*, with $\rho > 0.89$. The specific dry weight rH_{ANH} showed a certain degree of correlation with C_V , with the value of ρ close to 0.5 and a significance of 99 %; the corresponding value for *Q. robur*, was lower (Table 4). At the level of fibre shrinkage, only C_V correlated with Köeller's coefficient, with $\rho > 0.85$, although (for *Q. pyrenaica* and the genus *Quercus* in general) C_V and v were sometimes highly correlated (ρ between 0.6 and 0.7).

As regards the hardness, only correlations of low significance were observed in *Quercus petraea* and *Q. pyrenaica* for some values of specific weight and Bd - in the former species with the hardness itself and in the latter species with the standard hardness (C_D) (Table 4).

Finally the analysis was completed by different regression analyses, in order to explain the mathematical relationships mentioned above. Specifically, the previously mentioned relationships between hardness, specific weight, M_{SAT} , C_V and the coefficients of Köeller and Bd were studied either by linear regression or curvilinear estimation. Different analyses were carried out on the combined data for all three species of *Quercus* as well as individually for each species.

Of all of the regressions considered, only that between the coefficient Bd and specific weight, particularly rH_{SAT} , was statistically significant. The results of the fits for the combined data for the three species were fairly poor, therefore we decided to fit the data for each species. Despite this, the fits for *Quercus robur* were not satisfactory, as R^2_{aj} did not reach above 50%. However, the fit for *Quercus petraea* was carried out with R^2_{aj} of 78 % and for *Q. pyrenaica*, of 81 %. In both cases, as can be seen from the summary of the results of the regression analyses (Table 5), the model (linear regression) fitted to the scatter plot of data was accurate, as was the final prediction of the model or the scatter of points resulting from analysis of the residuals (Figure 1).

The expressions summarising the linear regression equation for each species are therefore (Table 5; Figure 2):

$$\textit{Quercus petraea:} \quad \text{Bd} = -150'4 + 0'767 \cdot rH_{SAT}$$

$$\textit{Quercus pyrenaica:} \quad \text{Bd} = 78'7 + 0'510 \cdot rH_{SAT}$$

DISCUSSION

Analysis of specific weight and the associated variability is one of the fundamental tools used in selecting wood for a particular use (Raymond, 2002). The study of specific weight at an internal moisture content of 12% allows comparison between different trees and even between different species. In the case of the oaks under study, the resulting evaluation was consistent with those reported by Guindeo et al. (1997) and by Guilley and Nepveu (2003) who suggested a specific weight at

hygroscopic equilibrium of approximately 750 kg/m^3 for *Quercus petraea*. However, this figure is very different from that of 956 kg/m^3 suggested by Coro et al. (2002) for similar species of *Quercus*, such as *Quercus robur*.

At an internal moisture content of 12 %, *Quercus pyrenaica* wood is denser than that of *Q. petraea* and *Q. robur*, although the difference is not significant. If the moisture content is similar and *Q. pyrenaica* wood is the most dense, this indicates that it has the lowest percentage of internal cavities (also indicated by the value of the coefficient Bd) and is therefore less porous (Arriaga, 1986).

The industrial use to which wood is put also depends on how easily it can be dried, and on its sinuosity (Kollman, 1959). According to UNE 56-526-78 AENOR (1978) the wood of both *Quercus pyrenaica* and of *Q. robur* may be classified as moderately sinuous, and as the corresponding value of the coefficient of volumetric contraction was 0.6, may even be defined as sinuous. The same is also true for *Q. petraea*, although the corresponding value was lower, 0.49. These values are consistent with those obtained in previous studies (Guitard, 1987; Guindeo et al., 1997; Vila-Lameiro, 2003), in which the values for *Quercus robur* were closer to those for *Q. pyrenaica* than to those for *Q. petraea*, which are always lower (Le Moguédec et al., 2002).

The sinuosity is consistent with certain problems associated with drying and the possible appearance of fissures that prevent its use as a structural element, as already indicated by the C_V , this being the reason why the wood should be sawn before being dried UNE 56-526-78 AENOR (1978). The level of total volumetric shrinkage is lower in *Q. robur*, 14.98%, UNE 56-526-78 AENOR (1978). Values of 17 and 18 % are commonly reported in the European literature (Guitard, 1987; Guindeo et al., 1997), suggesting that prior, gradual drying is required before sectioning the trunk. Different methods of classification may even determine the destination of the wood depending on the values of C_V and v .

Thus, although according to the values of C_V , only *Quercus robur* may be used as a structural material, the analysis should also include quantification of v , as it is with this parameter that the sinuosity of the wood fibre is assessed. According to this analysis, it is *Q. robur* that is classified as more sinuous, with $v = 0.59$, which is higher than the critical value of 0.55 established as the limit between moderately sinuous and sinuous UNE 56-526-78 AENOR (1978). However, the associated variability, which was greater than that corresponding to the previous parameters, and the similarity of the values for the other two species to the critical value, i.e. 0.54 for *Quercus pyrenaica* and 0.49 for *Quercus petraea*, indicates that overall the wood of the three species may be defined as moderately sinuous, making it unlikely that the wood could be used for purposes with high added value, such as in cabinetmaking, and its use in carpentry is only recommended (CTB, 1985). These values are often related to the specific weight and the rate of growth so the lower growth gives rise to specific weight values no greater than 700 kg/m^3 , which would allow use of the wood in cabinetmaking, and in the opposite case, it would be more appropriate for carpentry (CTB, 1985). In the specific case of the oaks

under study, growth is fairly rapid, with a mean ring width of more than 2.5 mm (Vila-Lameiro et al., 2005), which further corroborates the previous statements.

The lower sinuosity of *Quercus pyrenaica* is closely related to the lower possibility of storing moisture within the wood because of its greater density, given that this leads to lower variation in dimensions due to loss or gain of moisture (Barnett and Jeronimidis, 2003).

The hardness parameters, with values between 3.5 and 4.2 (Table 2) was, apparently fairly high for species of the genus *Quercus*, compared with those reported by other authors (Guindeo et al., 1997). However, if hardness is interpreted on the basis of the level of specific weight (approximately 750 kg/m³) it is estimated in different European regulations, such as the French (NF B 51002), that for this density the Monnin Hardness, used in this case should range between between 3.5 and 4.5 in the genus *Quercus* (CTB, 1985).

The difference among *Quercus robur*, *Q. petraea* and *Q. pyrenaica* as regards the intra and interspecific variability has been commented on by other authors (Zhang et al., 1994; Guilley, 2000; Guilley and Nepveu, 2003; Barnett and Jeronimidis, 2003). In this case the greatest variability in the parameters studied for *Quercus petraea* and *Q. pyrenaica* was registered at the level of the tree, as already pointed out by Zhang and other authors in different studies of this species (Zhang et al., 1994). However, *Quercus robur* behaved differently, which may be related to age or origin (Guilley, 2000; Le Moguédec et al., 2002).

According to various studies, the specific weight and the fibre shrinkage depend particularly on age, so that at more advanced ages the variability among trees is greater and the intra-tree variability more uniform (Zhang et al., 1994). This is the situation found in the population sampled, in which the *Quercus robur* trees were generally more mature than those of the other two species.

However, Guilley and Nepveu (2003) state that the specific weight and other oak wood parameters depend on the anatomical structure and anatomical variations of each tree, which are closely related to the process of duraminization. Therefore trees originating from low-lying forest plantations (common in stands of *Quercus petraea* and *Q. pyrenaica* in Galicia) will show greater intra-tree variability, given that the genetic input of the stand is more uniform than in *Q. robur* (Guilley et al., 2000).

These statements become clear on establishing the relationships with the Koëller and Bd coefficients, and it is easy to correlate the two coefficients according to the following expression:

$$C_{Koëller} = \frac{1}{B_d} - \frac{1}{rH_a}$$

This explains why the analysis of the results centre on Bd, as it is the parameter that correlates most closely and also provides the most useful information in practical terms, which is an assessment of the amount of effective wood fibre, known as the saturated volumetric dry weight (Kollman, 1959), i.e. in which the weight of water occupying the pores of the wood is subtracted. Thus, after analyzing different correlations of little interest and poorly justified in statistical terms, the relationship between the saturated specific weight and the coefficient Bd is of great interest. The relationship established

was a linear regression, because although other fits were tried, the latter provided the best fit, as often found in studies of wood properties (Le Moguédec et al., 2002; Pang, 2002; Raymond, 2002; Dias de Moraes et al., 2004; Guilley et al., 2004).

The correlation obtained for *Quercus robur* was poor, because of the great variability in stands of this species, all of which were located in highland forests, suggesting the need for a zoned study, differentiating the origin, which is not required with the other two species (Díaz-Maroto, 1997; Gonzalez, 2000; Barnett and Jeronimidis, 2003; Vila-Lameiro, 2003). Therefore, considering the study for the other two species, the result was highly positive, given that it is possible to estimate the coefficient B_d and the saturated volume from a small sample of green wood, with approximately 80 % certainty, and that this can be easily carried out at the time of cutting, along with determination of the dry weight. In other words, the amount of fibre or the effective amount of wood that will be available at the moment of transformation and future sale of the product (Guilley, 2000; Snakkers et al., 2000; Le Moguédec et al., 2002; Guilley and Nepveu, 2003; Hermoso, 2003).

CONCLUSIONS

From the results of the present study, the following overall conclusions can be reached:

- The wood of the genus *Quercus* can be classified as moderately sinuous, although in some cases it may even be classified as sinuous, which determine the drying process and the future use of the wood.
- *Quercus pyrenaica* has the densest wood of the three species, followed by *Quercus petraea* and then *Quercus robur*, which may be explained by the presence of less cavities filled by water or air.
- The wood of the three species in the area of study was very hard compared with wood from other areas, which is linked to the high density of the wood under study.
- Although all three species belong to the same family and genus, they are significantly different in terms of their internal constitution and their behaviour, which along with factors such as different harvesting methods or age, explains the greater similarity between *Quercus pyrenaica* and *Q. petraea*.
- The study of the amount of effective fibre, although not possible in the samples of *Quercus robur* available, allowed accurate relationships to be established between the actual amount of fibre or the dry weight of the wood and the saturated specific weight obtained in green or recently felled wood.

REFERENCES

- AENOR (1990). Guía del empresario. Diccionario de Europa. 37.
- Andersson, F.J. (1996). Taper curve functions and quality estimation for common oak in Sweden. Swedish University of Agricultural Science, Umea Report 10.
- Arriaga, F. (1986). Estructuras de madera (Vol I). AITIM.Madrid.
- Arriaga, F.; Gonzalez, M.; Medina G.; Ortiz, J.; Peraza F.; Peraza, J.E.; Touza, M. (1994). Guía de la madera para la construcción el diseño y la decoración. 37.
- Bamber, R.K.; Burley, J. (1983). The wood properties of radiata pine. Commonwealth Agric. Bureaux. Londres.
- Barnett, J.R.; Jeronimidis, G. (2003). Wood Quality and its biological basis. Blackwell Publishing. Oxford. U.K.
- Bengtsson, C.; Johansson, M. y Kliger, R. (1999). Variation of physical and basic wood properties in Spruce wood. Workshop IUFRO. S5.01-04. 133-143.
- CBT (Centre Technique du Bois et de l'Ameublement). (1985). Fiches de documentation sur les principales essences des pays tempérés: Chêne (*Quercus spp.*). CTBOIS. Paris.
- Coro, R.; Barrio, M.; Díaz-Maroto, I.J.; López, C. (2002). Influence of the parameters in the wood properties, study in a natural stands of *Quercus robur* L. in the North-west of Spain. Proceedings of the Fourth Workshop IUFRO "Connection between Forest Resources and Wood Quality: Modelling Approaches and Simulation Software". Pgs. 329-336. B. Columbia (Canada).
- Dias de Moraes, P.; Rogauame, Y. and Triboulot, P. (2004). Influence of temperature on the modulus of elasticity (MOE) of *Pinus sylvestris* L.. *Holzforschung*, 58. 143-147.
- Díaz-Maroto, I.J. Estudio ecológico y dasométrico de las masas de carballo (*Quercus robur* L.) en Galicia. Doctoral Thesis. Universidad Politécnica de Madrid, 1997
- Díaz-Maroto, I.J, Coro, R.; Vila-Lameiro, P. (2003). Estudio de probetas de pequeñas dimensiones para la determinación de la aptitud tecnológica de la madera de *Quercus robur* L. Actas del VIII Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos. Bilbao.
- Fernández-Golfín, J.I.; Díez, R. (1996). Influencia del anillo de crecimiento en la densidad y otras propiedades físico-mecánicas de la madera estructural de diversas especies. *Investigación Agraria: Serie Sistemas y Recursos Forestales*, vol. 3(2). Madrid. 211-219.
- Fernández-Golfín, J.I.; Díez, M.R.; Hermoso, E. (2001). Análisis y estado del arte de la técnica de clasificación mecánica por máquina de la madera aserrada estructural (Revisión). *Revista Investigación Agraria. Serie Sistemas y Recursos Forestales*. Vol. 10 (1). Madrid. 5-19.

- Ferrán, M. (1997). SPSS para Windows. Programación y análisis estadístico. McGraw-Hill España, Madrid.
- Gómez, J.A.; Gutierrez, A.; Baonza, M.V. (1996). Influencia de la intensidad de clara en el crecimiento, la producción y las características de la madera en una masa artificial de *Pinus sylvestris* L. Investigación Agraria: Serie Sistemas y Recursos Forestales, vol. 5(2). Madrid. 257-273.
- González, J.M. (2000). Modelos de transformación de masa regular a irregular. Revista Investigación Agraria. Serie Sistemas y Recursos Forestales. Vol. 9 (2). Madrid. 237-252.
- Guilley, E. (2000). La densité du bois de Chêne sessile (*Quercus petraea* Liebl.): Elaboration d'un modèle pour l'analyse des variabilités intra- et inter-arbre; Origine et évaluation non destructive de l'effet «arbre»; Interprétation anatomique du modèle proposé. Doctoral Thesis. Inédite. INRA Nancy. Ecole National du Genie Rural des Eaux et Forets. Nancy. France.
- Guilley, E.; Nepveu, G. (2003). Interprétation anatomique des composantes d'un modèle mixte de densité du bois chez le Chêne sessile (*Quercus petraea* Liebl.) : âge du cerne compté depuis la moelle, largeur de cerne, arbre, variabilité interannuelle et duraminisation. Ann. For. Sci., 60. 331-346.
- Guilley, E.; Charpentier, J.P.; Ayadi, N.; Snackers, G.; Nepveu, G.; Charrier, B. (2004). Decay resistance against *Coriolus versicolor* in Sessile oak (*Quercus petraea* Liebl.): analysis of the between-tree variability and correlations with extractives, tree growth and other basic wood properties. Wood Sci. Technol. 38. 539-554.
- Guindeo, A.; García Esteban, L.; Peraza, F.; Arriaga, F.; Kasner, C.; Medina, G.; Palacios, P.; Touza, M. (1997). Asociación de investigación técnica de las industrias de la madera y corcho. AITIM. Madrid. 604-606.
- Gustafsson, S.I. (1999). Solid mechanics for ash wood. Holz als Roh und Werkstoff. N° 57. Springer Verlag. 373-377.
- Guitard, D. (1987). Mécanique du matériau bois et composites. I.S.B.N. 2.85428.152.7. CEPAD. Nancy. France.
- Hermoso, E. (2003). Caracterización mecánica de la madera estructural de *Pinus sylvestris* L. Doctoral Thesis. ISSN: 1576-2513. INIA. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes de la Universidad Politécnica de Madrid. Madrid.
- Hummel, F.C. (1969). Code of sample plot procedure. Forestry Commission Booklet 34. Londres.
- Johansson, K. (1992). Effects of initial spacing on the stem and branch properties and graded qualities of *Pice abies* L. Karst. Scand. J. For. Res., 7. 503-514.
- Johnson, P.S.; Shifley, S.R.; Rogers, R. The ecology and silviculture of oaks. CABI, Cambridge, MA, USA, 2002
- KandeeL, E. y Benseid, W. D. (1969). Structure, density and shrinkage variations within a silver maple tree. Wood Science and technology. N° 1. Springer Verlag. 227-237.

- Kärki, T. (2001). Variation of wood density and shrinkage in European aspen. Holz als Roh und Werkstoff. Nº 59. 79-84.
- Klang, F. (2000). The influence of silvicultural practices on tree properties in Norway spruce. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Silvestria 128. Doctoral Thesis.
- Kollman. (1959). Tecnología de la madera y sus aplicaciones. Ed. IFIE. Madrid.
- Le Moguédec, G.; Dhôte, J.F.; Nepveu, G. (2002). Choosing simplified mixed models for simulations when data have a complex hierarchical organization. An example with some basic properties in sessile oak wood (*Quercus petraea* Liebl.). Ann. For. Sci., 59. 847-855.
- Lindström, H. (1996). Basic density in Norway spruce. Part I. A lit. review. Wood Fiber Sci. 28(1). 15-27.
- Madrigal, A. (1999). Tablas de producción para los montes españoles. Fund. Conde del V. de Salazar. Madrid.
- Pang, S. (2002). Predicting anisotropic shrinkage of softwood. Part 1: Theories. Wood Sci. Technol. 36. 75-91.
- Pape, R. (1999) Influence of the thinning and tree diameter class on the development of basic density and annual ring width in *Picea abies* L. Scand. J. For. Res., 14. 27-37.
- Raymond, C.A. (2002). Genetics of Eucalyptus wood properties. Ann. For. Sci., 59. 525-531.
- Riesco, G., 2001. Estudio de las propiedades físico-mecánicas de la madera de roble (*Quercus robur* L.) de Galicia en relación con las variables del medio. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid (unpublished).
- SasStat Institute Inc., 2004. SAS/STAT® 9.1. User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Savidge, R.A. (2003) Tree growth and wood quality. In Wood quality and its biological basis. Ed by J.R. Barnett and G. Jeronimidis. Blackwell Publishing, CRC Press. Nottingham. UK.
- Snackers, G.; Nepveu, G.; Guilley, E.; Cantagrel, R. (2000). Variabilités géographique, sylvicole et individuelle de la teneur en extractibles de chênes sessiles français (*Quercus petraea* Liebl.): polyphénols, octalactones et phénols volatils. Ann. For. Sci., 57. 251-260.
- UNE-AENOR., 1978. Diversas normas: Características físico-mecánicas de la madera. Preparación de probetas. Norma Española. IRANOR-AENOR. Madrid.
- Vila-Lameiro, P. (2003) Estudio epidométrico y xilológico de las masas de *Quercus petraea* (Mattuschka) Liebl. en el noroeste de la Península Ibérica. Doctoral Thesis. Cd-Rom. ISBN: 84-9750-304-X. Universidad de Santiago de Compostela.
- Vila-Lameiro, P.; Diaz-Maroto, I.J. (2005). Study of the influence of environmental factors on the width of growth rings in *Quercus petraea* (Matts.) Liebl. through interpretation of digital images. Wood Research. 50 (3). 23-36.
- Wagenführ, R. y Scheiber, J.P. (1974). Wood variation: its causes and control. Springer-Verlag. Berlín.

- Yang, J.L.; Fortín, Y. (2001). Evaluating strenght properties of *Pinus radiata* from ultrasonic measurements on increment cores. *Holzforschung*. Vol. 55. N° 6. Walter de Gruyter. New York. 606-610.
- Zhang, S.Y., Nepveu, G., Eyono R. (1994) Intratree and intertree variation in selected wood quality characteristics of european oak (*Quercus petraea* and *Quercus robur*). *Can. J. For. Res.* 24: 1818-1823

Species	Inventoried Plots	Felling plots	N° of trees felled	N° of samples analysed
<i>Quercus robur</i>	178	94	188	504
<i>Quercus petraea</i>	53	51	96	542
<i>Quercus pyrenaica</i>	41	28	56	774

Table 1. Summary of field data collected in monospecific stands of *Quercus spp.*

Statistics	M_{SAT}			rH_{12}			C_v			ν			Hardness		
	Q r	Q pt	Q py	Q r	Q pt	Q py	Q r	Q pt	Q py	Q r	Q pt	Q py	Q r	Q pt	Q py
Mean	43.64	62.68	63.91	751.2	754.6	757.5	14.98	17.15	18.52	0.58	0.49	0.540	3.645	4.126	3.872
Standard Deviation	10.96	8.71	11.71	53.76	80.51	73.83	3.34	3.6	5.84	0.13	0.15	0.76	2.29	2.30	1.41
Kurtosis	0.063	0.35	0.82	0.42	0.37	0.04	0.25	2.78	117.66	0.56	72.81	307.9	9.20	9.38	11.25
Standard error of kurtosis	0.28	0.21	0.18	0.28	0.21	0.17	0.28	0.21	0.24	0.28	0.21	0.17	0.453	0.431	0.469
Skew	0.56	0.19	-0.10	0.12	0.32	0.17	0.15	0.89	8.70	0.38	5.2	16.09	2.97	2.83	2.80
Standard error of skew	0.14	0.10	0.09	0.14	0.10	0.08	0.14	0.10	0.12	0.14	0.10	0.089	0.228	0.217	0.237

Q r: *Quercus robur*; Q pt: *Quercus petraea*; Q py: *Quercus pyrenaica*Table 2. Summary of descriptive statistics of the properties of *Quercus spp.* in the study area

Statistics	M_{SAT}			rH_{12}			C_v			ν			Hardness		
	Q r	Q pt	Q py	Q r	Q pt	Q py	Q r	Q pt	Q py	Q r	Q pt	Q py	Q r	Q pt	Q py
Intra-tree variability	44524	10101	12601	11006	7891	184685	4243	883	1252	697	121	476	71	113	51
Inter-tree variability	29255	25133	58919	17987	25756	237496	4145	6098	3339	683	624	2727	145	152	91
Significance	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.375	0.022	0.957

Q r: *Quercus robur*; Q pt: *Quercus petraea*; Q py: *Quercus pyrenaica*Table 3. Study of the intra and inter-tree variation in the properties of *Quercus spp.* in the study area

Parameters	Sp.	M_{SAT}			rH_{12}			C_v			Koëller			Bd			Hardness		
		Q r	Q pt	Q py	Q r	Q pt	Q py	Q r	Q pt	Q py	Q r	Q pt	Q py	Q r	Q pt	Q py	Q r	Q pt	Q py
M_{SAT}	Q. r.	1,00																	
	Q. pt.	---	1,00																
	Q. py.	---	---	1,00															
rH_{12}	Q. r.	-	0,38	---	1,00														
	Q. pt.	---	---	-	---	1,00													
	Q. py.	---	---	0,41	---	---	1,00												
C_v	Q. r.	0,50	---	---	n.s.	---	---	1,00											
	Q. pt.	---	n.s.	---	---	0,42	---	---	1,00										
	Q. py.	---	---	n.s.	---	---	0,37	---	---	1,00									
Koëller	Q. r.	0,58	---	---	0,36	---	---	0,94	---	---	1,00								
	Q. pt.	---	n.s.	---	---	n.s.	---	---	0,84	---	---	1,00							
	Q. py.	---	---	n.s.	---	---	n.s.	---	---	0,92	---	---	1,00						
Bd	Q. r.	-	0,44	---	0,94	---	---	n.s.	---	---	-	0,56	---	---	1,00				
	Q. pt.	---	---	-	---	0,97	---	---	n.s.	---	---	0,32	---	---	---	1,00			
	Q. py.	---	---	0,32	---	---	0,96	---	---	n.s.	---	---	n.s.	---	---	---	1,00		
Hardness	Q. r.	n.s.	---	---	n.s.	---	---	0,25	---	---	0,31	---	---	n.s.	---	---	1,00		
	Q. pt.	---	0,25	---	---	0,47	---	---	n.s.	---	---	n.s.	---	---	0,43	---	---	1,00	
	Q. py.	---	---	n.s.	---	---	n.s.	---	---	n.s.	---	---	n.s.	---	---	---	---	---	1,00

Q r: *Quercus robur*; Q pt: *Quercus petraea*; Q py: *Quercus pyrenaica*; n.s.: not significantTable 4. Bivariate correlations between different descriptors of the properties of *Quercus spp.*

Species	A	b	Std error (a)	Std error (b)	R ² _{aj}	F	Sig.	t (a)	t (b)	Collinearity 1 (a)	Collinearity 1 (b)	Collinearity 2 (a)	Collinearity 2 (b)
<i>Q.petraea</i>	150.39	0.767	2.25	0.02	0.77	1141.7	0.000	6.69	33.8	0.000	0.000	1.000	1.000
<i>Q.pyrenaica</i>	78.70	0.510	1.38	0.01	0.81	1447.4	0.000	5.72	38.0	0.000	0.000	1.000	1.000

$$Bd = a + b \cdot rH_{SAT}$$

Table 5. Results of the regression analysis between Bd and rH_{SAT} for *Quercus petraea* and *Q. pyrenaica*

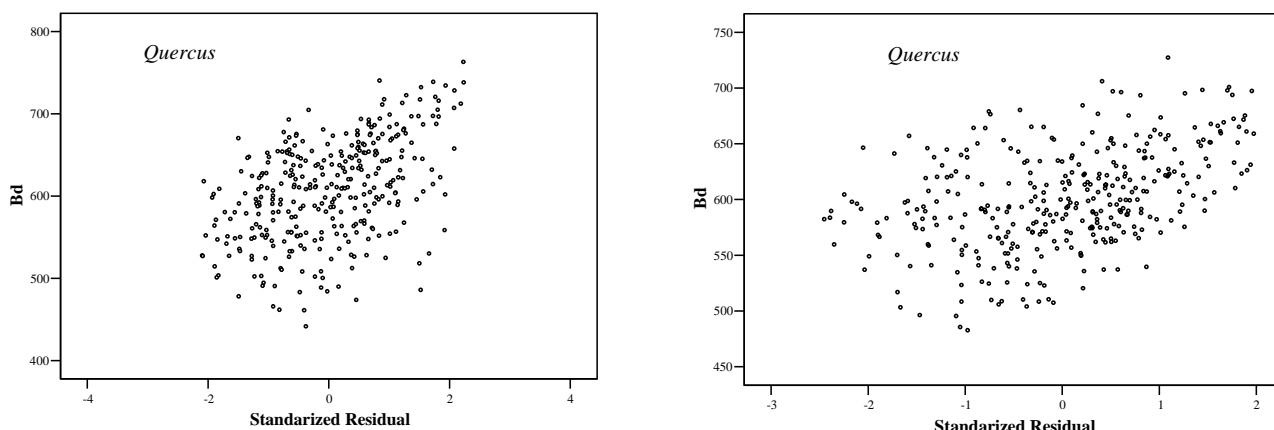


Figure 1. Analysis of residuals of the regression lines $Bd = a + b \cdot rH_{SAT}$

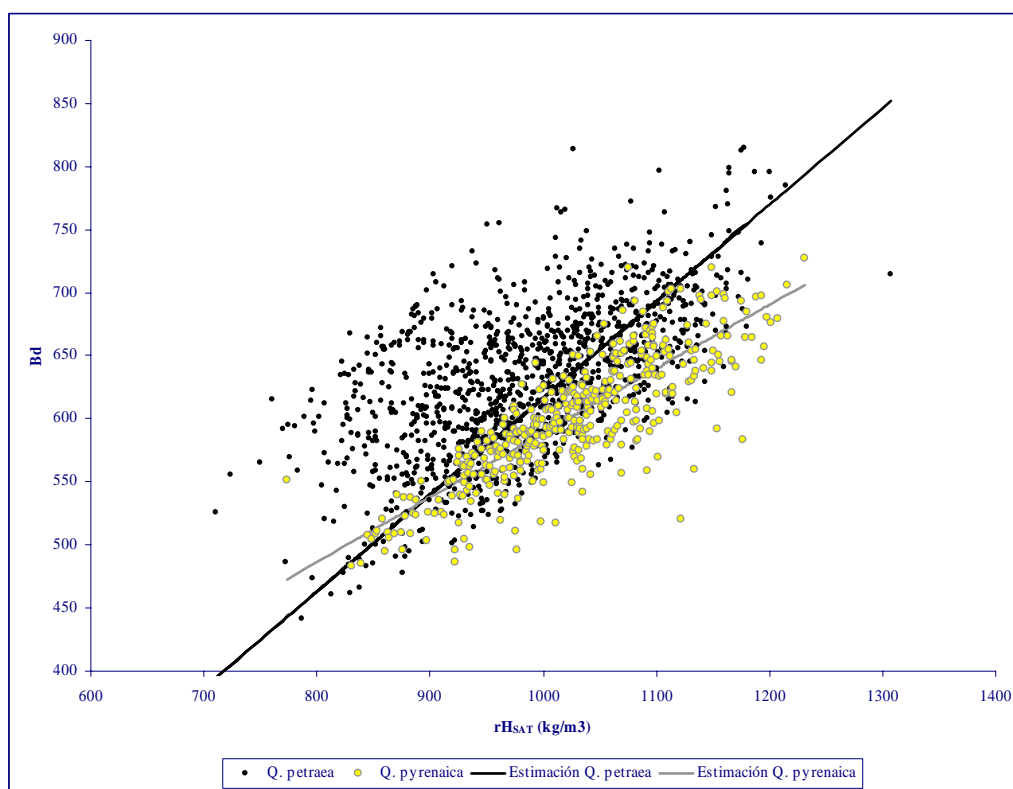


Figure 2. Scatterplot of points used and the regression lines obtained

PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF REBOLLO OAK (*Quercus pyrenaica* Willd.) WOOD IN GALICIA (SPAIN)

Abstract

Knowledge of wood properties is essential in determining the specific uses to which the wood can be put. The physical and mechanical properties of rebollo oak (*Quercus pyrenaica* Willd.) make it highly suitable for use in the construction and furniture-making industries. It is greatly appreciated for its appearance and hardness and uses, similar to Atlantic oak wood (*Quercus robur* and *Q. petraea*), having been used for barrel staves, pit props and railway sleepers. However, at present the *Quercus pyrenaica* coppice forests in Galicia are predominantly used to produce high quality firewood and charcoal, and the acorns are sometimes harvested for feeding livestock.

The aim of the present study was to investigate the relationships between certain physical and mechanical properties of the wood and distance from pith to bark and how geographical altitude affects these properties.

Key words: *Quercus pyrenaica*, physical properties, mechanical properties, wood, Galicia

INTRODUCTION

The worldwide range of *Quercus pyrenaica* Willd. extends throughout the Iberian Peninsula, reaching as far north as Sologne in France and as far south as the Rif in Morocco, ranging in latitude from 35° to 47° N and occupying an estimated surface area of 762,000 ha. It is not known how the range has spread, although it appears to have become reduced, as the species previously occurred in central Italy (Meson, 1983; Allué, 1995; Carvalho et al., 2005).

Within the Iberian Peninsula the species ranges in longitude from 9° 20' W in Portuguese Extremadura to almost 3° E in the province of Tarragona (Spain) and it is probably found all over Spanish territory, although it is sometimes only present in small woods or represented by a few specimens (Meson, 1983; Amaral, 1990; Carvalho et al., 2005). It is abundant throughout most of Spain, especially in the west, whereas in the east, where the soil is generally limy, it is less abundant (Meson, 1983).

According to the data recorded in the I National Forest Inventory (ICONA, 1975), *Quercus pyrenaica* occupied an area of 459,364 ha at that time, and was the second in Spanish context, only to *Quercus ilex* in terms of surface area occupied; in the II National Forest Inventory it was estimated to occupy 660,000 ha.

Rebollo oak is present in areas characterized by Mediterranean and/or continental climates, it is resistant to a certain degree of summer drought, requiring a total precipitation of 600 mm for good development. Usually *Quercus pyrenaica* appears at altitudes between 400 and 1400 m, and in the north of Spain at above 1500 m; it may occur at up to 2000 m in the Sierra Nevada, although most stands occur at between 800 and 1200 m (Ceballos and Ruíz de la Torre, 1979; Amaral, 1990). In Galicia, the climax vegetation in large areas of the south of the province of Lugo and inland areas of Pontevedra and Ourense is comprised of *Quercus pyrenaica* forests (Bellot, 1966), and in other areas it is rather more disperse and often mixed with *Quercus robur* L. in areas with an Atlantic climate with Mediterranean influence (Díaz-Maroto et al., 2006). The forests are more xerophilous and less productive than Atlantic *Quercus robur* and *Q. petraea* forests, and are therefore more prone to fire damage. This has given rise to their degradation, further accentuated by abandonment of the traditional use of the species for firewood and charcoal, so that it is now difficult to find large stands of rebollo oak or stands comprising tall trees (Grandas et al., 1997; Díaz-Maroto et al., 2006).

Recently the most profitable use for *Quercus pyrenaica* wood has been to produce railways sleepers and parquetry (Carvalho et al., 2004; Carvalho et al., 2005). Relevant research in terms of the ideal conditions for drying and industrial exploitation would allow considerable expansion of its potential uses (Allué, 1995). It is greatly appreciated as firewood because of its high calorific value, and it has also been used to produce charcoal (Carvalho et al., 2005). It may also have other more noble uses with additional value (depending on the number of defects present), such as in barrel-making, naval construction, civil construction and carpentry (Carvalho et al., 2004). It has similar mechanical characteristics to Atlantic oak, but the quality is not considered to be as good as it is less stable and is prone to deforming and cracking during the drying process, which is rather slow (Gutiérrez and Plaza, 1967).

On the basis of the above considerations, characterization of rebollo oak in terms of its mechanical and physical properties is necessary for determining the best potential uses for the wood (Fernández-Golfín, 1995). The abundance of information regarding the physical parameters considered in the present study (Kandeel and Benseid, 1969; Bengtsson et al., 1999; Gustafsson, 1999; Kärki, 2001; Yang and Fortín, 2001) contrasts with the scarcity of xylologic studies of species of the genus *Quercus* in the area of study, with such studies of *Quercus pyrenaica* being non-existent. The studies of Riesco (2001), Coro et al. (2002), Vila-Lameiro (2003) and Díaz-Maroto et al. (2003) provide background information and demonstrate the effect of silvicultural treatments on the properties and suitability of *Quercus robur* and *Q. petraea* wood. Carvalho et al. (2005) have recently reported the results of an

extensive study of the species in Portugal, where they describe the structural characteristics of the wood (chemical, physical and mechanical properties) and a series of processes and potential uses.

The aims of the present study were:

1. to study the relationships between a series of physical and mechanical properties of *Quercus pyrenaica* wood and the distance from pith to bark.
2. to analyze the effect of geographical altitude on these properties.

MATERIAL AND METHODS

Study area

The area of study is situated in the northeast of the Iberian Peninsula and comprises the Autonomous community of Galicia (Spain) (Fig. 1). Natural broadleaf forests occupy some 375,922 ha in Galicia, which corresponds to approximately 27% of the total forest area (DGCONA, 2001); the importance of this data becomes apparent when it is considered that in 1986, these forests occupied only 20% of the total forest area (Xunta de Galicia, 1988). Within these forests, stands of *Quercus pyrenaica* occupy 100,504 ha, more than 7% of the total forest area in Galicia (DGCONA, 2001), which also corresponds to a significant increase, as in 1986 they only occupied 31,459 ha (Xunta de Galicia, 1988), a slightly smaller surface area than that occupied in 1972, (35,181 ha, ICONA, 1975).

Description of sampling and data recording

Once the study area was established, the first step consisted of compiling the information existing on the location and distribution of *Quercus pyrenaica* stands in the area. This information corresponds to the whole study area, and was compiled with the aim of localizing stands about which information was already available and those whose existence was not known (Grandas et al., 1997; DGCONA, 2001; Díaz-Maroto et al., 2005).

Initially a minimum surface area of between 0.5 and 1 ha was considered (Hummel, 1959; Díaz-Maroto, 1997). This size mitigates possible problems associated with ecotones, as occurs with smaller areas (Grandas et al., 1997; Díaz-Maroto, 1997). Once the stands were located, a permanent sampling plot system was established, which was rectangular and of variable dimensions, depending on the density of the stand. To avoid an edge effect, it was required that each plot was surrounded by a strip of trees of at least 30 m respect to horizontal (Madrigal, 1992). Another of the initial requirements was that species other than rebollo accounted for less than 20% of the trees in the stands (Madrigal, 1992).

Rectangular plots of surface area between 130 and 2120 m² were considered depending on the age of the tree and the stand density, so that there were less than 50 adult *Quercus pyrenaica* trees that were larger than the minimum size considered in the inventory, i.e. of diameter equal to or greater than

5 cm (Pardé, 1988). In each plot the diameter at normal section and total height of each tree were measured. In addition, two dominant type trees were felled, cut into sections and discs of wood were cut from sections corresponding to different stem heights: basal, 1.3 m and then at 1 m along the length of the stem (Coro et al., 2002). These trees were selected from outside of the plot (to retain the permanent nature of the plots).

From each disc, 20 x 20 x 40 mm and 20 x 20 x 25 mm test tubes were obtained for determining the physical properties of the wood and were used to carry out tests of specific weight and volumetric contraction, according to UNE regulations 56531 and 56533, respectively (UNE-AENOR, 1977). For mechanical properties, UNE regulation 56537 (UNE-AENOR, 1977) for testing resistance to static flexion was applied, and the test tubes were prepared, in accordance with UNE regulation 56528 (UNE-AENOR, 1978) in the form of a straight-edged rectangular blocks of 20 mm side, and height 300 mm, cut parallel to the direction of the fibres; the samples were free from visible defects, such as knots, separates, etc. The values obtained for the physical and mechanical properties of the wood were based on the inventory of 28 plots of rebollo oak, and a total of 56 felled trees. A total of 736 test tubes were analyzed to determine the physical properties and 207 to determine the mechanical properties.

The data on the physical and mechanical properties analyzed was obtained in plots located at altitudes between 387 and 1273 m above sea level. Various groups were considered for analysis, selecting the altitude variable at intervals of 100 m (Table 1), which serves as a basis for characterizing the properties of rebollo oak wood on a regional scale in Galicia. For each altitude grouping, the following were considered: specific weight at 12% humidity (rH_{12}), the coefficient of volumetric contraction (v), the total volumetric contraction (Cv), the width of the rings, the modulus of elasticity (MOE) and the modulus of rupture (MOR); the density of the wood was also determined under three different conditions of moisture content: normal (12 %), dehydrated (0 %) and saturated (the high moisture content which is different for each test tube) (Díaz-Maroto et al., 2003), and the hardness following the criteria of UNE regulation 56534 (UNE-AENOR, 1977). All of the results of the tests described above were interpreted according to UNE regulation 56540 (UNE-AENOR, 1978), which establishes the physical-mechanical properties of wood.

Statistical analysis

Univariate analysis was carried out on the values of the physical and mechanical parameters obtained for the 28 plots (Walpole et al., 1999), with the aim of studying the distribution function. Multivariate stepwise regression analysis was then carried out to determine which parameters are most closely related to altitude and a multiple regression equation was obtained (Ryan, 1997; SAS Institute

Inc., 2004), which in this case was predictive of the relationship between the selected physical and mechanical parameters of the wood and geographical altitude.

RESULTS

The physical and mechanical properties of *Quercus pyrenaica* varied with altitude (Table 5), but hardness and altitude were not well correlated (Fig. 10). The distribution function of the wood properties was analyzed in a radial direction, from pith to bark at intervals of 10 rings and in relation to the distance from the centre. The results obtained were analyzed in terms of the physical and mechanical properties in reference to a stem height of 1.3 m.

To investigate the distribution of the growth of the rings in a radial direction, the rings were measured (Table 2) and an increase in the ringwidth from the pith to the bark was detected (Slavko et al, 2003). The correlation between the number of rings and the ringwidth was also considered, obtaining a correlation coefficient of 0.961 (Fig. 2), with the maximum value of the growth interval equal to 4.40 mm, i.e. almost double that of the minimum value, 2.24 mm.

The values of C_v , v and rH_{12} , corresponding to the measurements from 362 test tubes, are shown in Table 3, and the analysis of regression between these parameters and the number of rings or the distance from the centre of the tree are shown in Figs. 4, 5 and 6, respectively, with a general decrease in a radial direction from pith to bark, in all cases. This change in rH_{12} is due to the duramen, which is sometimes darker and also denser than the surrounding wood; the corresponding correlation coefficient was 0.857 (Fig. 5).

The values of MOE and MOR are shown in Table 4 and the regression fit, in which the values are related to the distance from the centre of the tree (Fig. 6 and 7), showed a decrease in the values from pith to bark for both parameters. A total of 159 test tubes were used to calculate the values of the two moduli.

DISCUSSION

The variation in the density of the wood may correspond to specific environmental conditions (Zamundio et al., 2005). In the particular case of the wood of *Eucalyptus grandis*, for example, López (1990) showed the importance of carrying out regional or local studies because of the variations in density that may occur in different locations because of their particular environmental conditions.

The results of the present study, which revealed a general decrease in density in a radial direction from pith to bark, are consistent with those obtained by Bolzón de Muñiz (1985) for various broadleaf forest species. However, in a study of *Salix nigra*, Bonavia de Guth and Piussan (1987) observed that

the decreasing density observed for the Gn. *Picea* was not the same as for the *Salix* one, and nor was the increase in density from pith to bark.

The values obtained for the modulus of rupture (Table 4) are generally somewhat lower than those obtained by Vignote and Jiménez (2000) for oak wood in Spain and much lower than those reported by Gutierrez and Plaza (1967) for oak; however, we can confirm that the wood of *Quercus pyrenaica* can be classified as low in terms of its resistance to static bending (UNE regulation 56540 (UNE-AENOR, 1978)). Some of the values of the physical properties such as rH_{12} obtained in the present study are clearly related to altitude (Slavko et al, 2003; Olson, 2003) and there is also a strong relationship with the distance from the centre or ring interval with the values of mechanical properties studied (MOR and MOE) decreasing from the centre of the tree to the bark (Machado and Cruz, 2005).

Taking all of the cited studies of Slavko et al. (2003) and Olson (2003) as a reference, we can confirm that the values obtained for the physical and mechanical properties decrease with the increase in altitude in the study areas as in the present study and in New Zealand.

CONCLUSIONS

The physical and mechanical properties of *Quercus pyrenaica* were analysed in this work with a total of 521 test tubes, concluding that exist variations with altitude except with hardness.

Generally was detected an increase in the ringwidth from the pith to the bark with correlation with the different wood properties, obtaining a maximum value of the growth interval equal to 4.40 mm and minimum equal to 2.24 mm.

The C_v , v and rH_{12} values are well correlated with the number of rings and the distance from the centre of the tree, with a general decrease in a radial direction from pith to bark, in all cases. This change in rH_{12} due to the duramen presence.

Finally, the same situation exists with the values of MOE and MOR with a decrease from pith to bark for both parameters.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was funded by the “*Dirección Xeral de Investigación e Desenvolvemento -Consellería de Innovación, Industria e Comercio; Xunta de Galicia-*”, within the framework of research project PGIDIT02RFO29101PR, developed in the Department of Agroforestry Engineering of the University of Santiago de Compostela.

REFERENCES

- Allué, M., 1995. Ordenación de masas de *Quercus pyrenaica* Will. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales 1: Pp 107-135.
- Amaral J., 1990. *Quercus*, En: Castroviejo, S. et al., (eds.), Flora Ibérica II, C.S.I.C., Madrid.
- Bellot, F., 1966. La vegetación de Galicia. Anales del Instituto Botánico A. J. Cavanilles. T. XXIV. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid. Pp 3-306
- Bengtsson, C., Johansson, M., Kliger, R., 1999. Variation of physical and basic wood properties in Spruce wood. Pp 133-143. Workshop IUFRO. S5.01-04.
- Bonavia de Guth E., Piussan C., 1987. Variación de las características del leño del individuo en *Salix nigra* cultivado en el Delta de Paraná. Simposio sobre Silvicultura y Mejoramiento Genético de Especies Forestales. Tomo IV. Pp 220-235. Trabajos Voluntarios. CIEF. Buenos Aires, Argentina.
- Bolzon de Muñiz G., 1985. Seminario:Influencia de la estructura de las propiedades de la madera. Fac. Ciencias Forestales. Univ. Fed. de Curitiba, Brasil.
- Carvalho, J.P., Santos, J. A., Reimão, D., Rodrigues, A., Borges, A., Alves, E., Duro, M., 2004. Potencialidades da madeira de carvalho-negral para a indústria da construção e mobiliário. Pp 133-140. In: CIMAD04, 1º Congresso Ibérico “A Madeira na Construção”, Guimarães, Portugal.
- Carvalho, J.P., Santos, J.A., Reimão, D., Gallardo, J.F., Alves, E., 2005. O Carvalho Negral. João P. Carvalho, UTAD-CEGE. Vila Real, Portugal, 206 pp.
- Ceballos, L. 1966. Mapa Forestal de España, Ed. IFIE. Madrid.
- Ceballos L., Ruíz de la Torre J., 1979. Árboles y arbustos, E.T.S.I. de Montes de Madrid.
- Coro, R., Barrio, M., Díaz-Maroto, I.J., López, C., 2002. Influence of the stand parameters in the wood properties, modelling wood density and wood shrinkage through stand and tree parameters of *Quercus robur* L. Pp 329-336. Proceedings of the Fourth Workshop IUFRO “*Connection between Forest Resources and Wood Quality: Modelling Approaches and Simulation Software*”, British Columbia (Canada).
- Díaz-Maroto I.J., 1997. Estudio ecológico y dasométrico de las masas de carballo (*Quercus robur* L.) en Galicia, Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid (unpublished).
- Díaz-Maroto, I.J, Coro, R., Vila-Lameiro, P., 2003. Estudio de probetas de pequeñas dimensiones para la determinación de la aptitud tecnológica de la madera de *Quercus robur* L. Actas VIII Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos.
- Díaz-Maroto I.J., Vila-Lameiro P., Silva-Pando F.J., 2005. Autoécologie des chênaies de *Quercus robur* L. en Galice (Espagne), Ann. For. Sci. 62 (7). Pp 737-749.

- Díaz-Maroto I.J., Fernández-Parajes J., Vila-Lameiro P. Autoécologie de chêne tauzin (*Quercus pyrenaica* Willd.) en Galice (Espagne), 2006. Ann. For. Sci. 63 (2) (in press).
- DGCONA, 2001. Tercer Inventario Forestal Nacional, Galicia (A Coruña, Lugo, Ourense y Pontevedra), Ministerio de Medio Ambiente.
- Fernández-Golfín J.I.; Gutierrez A., Baonza M.V., 1995. Características físico-mecánicas de las maderas de especies de crecimiento rápido de procedencia española. Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales 4(2): 251-261
- Gustafsson, S.I., 1999. Solid mechanics for ash wood. Holz als Roh und Werkstoff 57: 373-377
- Gutiérrez, A., Plaza, F., 1967. Características físico-mecánicas de las maderas españolas. IFIE. Madrid. 103 pp.
- Grandas, J.A., Díaz-Maroto, I.J., Silva-Pando, F.J., 1997. Indicadores selvícolas de la calidad de estación de los bosques gallegos de *Quercus pyrenaica* Willd, Actas II Congreso Forestal Español, Mesa Temática 4. Pp 339-344.
- Hummel, F.C., 1959. Code of sample plot procedure. Forestry Commission Booklet. Nº 34. London, UK.
- ICONA, 1975. Primer Inventario Forestal de España, Ministerio de Agricultura, Madrid.
- ICONA, 1992. Segundo Inventario Forestal Nacional, INIA, Madrid.
- KandeeL, E., Benseid, W.D., 1969. Structure, density and shrinkage variations within a silver maple tree. Wood Science and technology. Nº 1.
- Kärki, T., 2001. Variation of wood density and shrinkage in European aspen. Holz als Roh und Werkstoff 59:79-84
- Lopez, J., 1990. Densidad básica de la madera de *Eucalyptus grandis* de la procedencia de HSSF en 3 sitios edáficos de Concordia. Pp 39-46. 26 Congreso ATIPCA.
- Machado J. S., Cruz H. P., 2005. Within item variation of Maritime Pine timber mechanical properties. Holz als Roh und Werkstoff 63: 154-159
- Madrigal, A., 1992. Selvicultura de hayedos. Revista Investigación Agraria. Serie Sistemas y Recursos Forestales. Fuera de Serie I (II): 33-60
- Meson, M., 1983. Aspectos autoecológicos de *Quercus pyrenaica* Willd.: distribución y climatología. Boletín Estación Central Ecol. INIC-MAPA, 12. Pp 24-33.
- Olson S., 2003. The wood properties of New Zealand silver beech (*Nothofagus menziesii*), a lesser-known hardwood species. Forest Products Journal 53 (5): Pp 80-86.
- Pardé, J., 1988. Dendrométrie. Édition de l'École nationale des eaux et forêts, Nancy. France.
- Riesco Muñoz, G., 2001. Estudio de las propiedades físico-mecánicas de la madera de roble (*Quercus robur* L.) de Galicia en relación con las variables del medio. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid (unpublished).
- Ryan T.P., 1997. Modern regression methods, John Wiley & Sons.
- SAS Institute Inc., 2004. SAS/STAT® 9.1. User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc.

- Slavko G., Tomislav S., Jelena T., 2003. Some physical and mechanical properties of beech wood grown in Croatia. *Wood research* 48 (3): 39-51.
- UNE-AENOR., 1977. Norm. 56531: Características físico-mecánicas de la madera. Determinación del Peso específico. Norma Española. IRANOR-AENOR. Madrid.
- UNE-AENOR., 1977. Norm. 56533: Características físico-mecánicas de la madera. Determinación de las contracciones lineal y volumétrica. Norma Española. IRANOR-AENOR. Madrid.
- UNE-AENOR., 1977. Norm. 56534: Características físico-mecánicas de la madera. Determinación de la dureza. Norma Española. IRANOR-AENOR. Madrid.
- UNE-AENOR., 1978. Norm. 56528: Características físico-mecánicas de la madera. Preparación de probetas. Norma Española. IRANOR-AENOR. Madrid.
- UNE-AENOR., 1978. Norm. 56537: Características físico-mecánicas de la madera. Determinación de la resistencia a la flexión estática. Norma Española. IRANOR-AENOR. Madrid.
- UNE-AENOR., 1978. Norm. 56540: Características físico-mecánicas de la madera. Interpretación de los resultados de los ensayos. Norma Española. IRANOR-AENOR. Madrid.
- Vila-Lameiro, P., 2003. Estudio epidemítrico y xilológico de las masas de *Quercus petraea* (Mattuschka) Liebl. en el noroeste de la Península Ibérica. Tesis doctoral, Universidad de Santiago de Compostela (unpublished).
- Vignote, S., Jiménez, F.J., 2000. Tecnología de la Madera. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación, Madrid. 2ª Edición. 653 pp.
- Walpole R.E., Myers R.H., Myers S.L., 1999. Probabilidad y estadística para ingenieros, 6ª ed., Prentice Hall, London.
- Yang, J.L. and Fortín, Y., 2001. Evaluating strength properties of *Pinus radiata* from ultrasonic measurements on increment cores. *Holzforschung*. Vol. 55. Nº 6. Walter de Gruyter. New York. Pp 606-610
- Xunta de Galicia, 1988. Avance do Segundo Inventario Forestal Nacional, Consellería de Agricultura, Gandería e Montes, Dirección Xeral do Forestal e do Medio Ambiente Natural.
- Zamudio F., Rozenberg P., Baettig R., Vergara A., Yañez M., Gantz C., 2005. Genetic variation of wood density components in radiata pine progeny test located in the south of Chile. *Ann. For. Sci.* 62: Pp 105-114.

APPENDICES

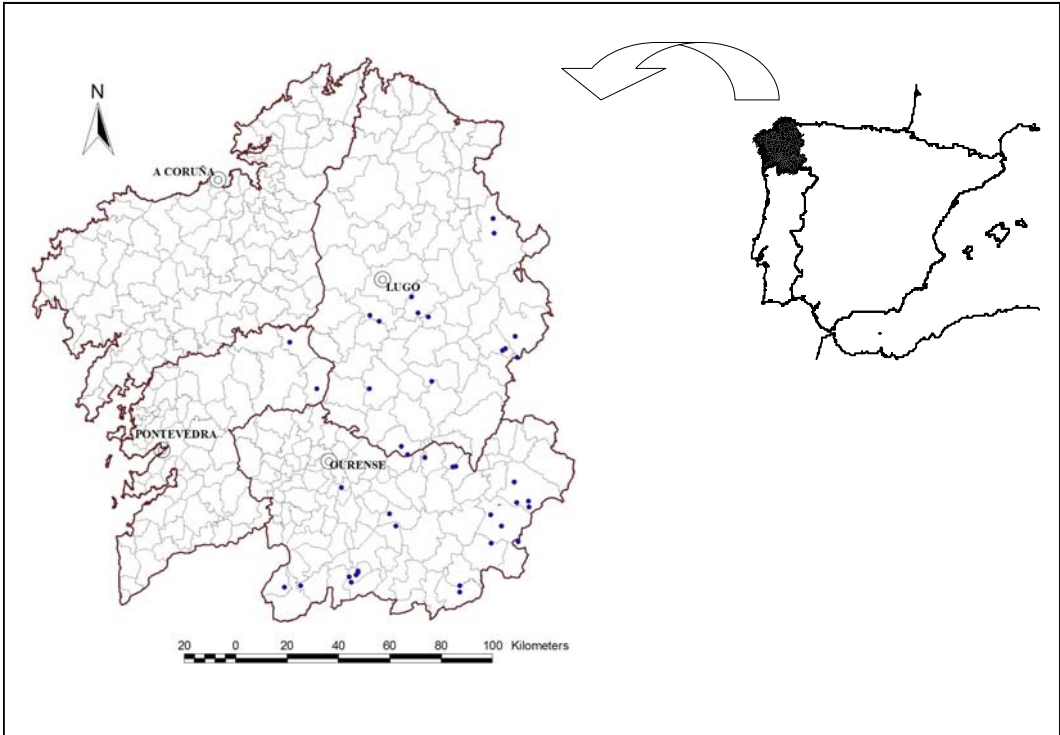


Fig. 1. Location of *Quercus pyrenaica* plots in Galicia.

Group	Plot number	Plot name	Plot code	Province	Altitude (m)	Slope (%)	Orientation
A	33	Corgo	TO	Lugo	387	0	All directions
	2	Láncara	NE	Lugo	454	14	Northwest
	9	Sober	AM	Lugo	474	0	All directions
	6	Guntín	FE	Lugo	485	30	Southwest
B	46	Sober	BL	Lugo	516	13	All directions
	22	Castro Caldelas	CC	Ourense	550	39	South
	32	O Incio	OI	Lugo	576	17	Southwest
	12	Vilar de Barrio	AR	Ourense	598	20	South
C	15	A Fonsagrada	FO	Lugo	602	55	South
	38	Muiños	MU	Ourense	621	42	East
	8	Doiras	DO	Lugo	627	49	Northwest
	20	Fonsagrada	TR	Lugo	660	63	Northwest
D	36	Viana do Bolo	BO	Ourense	715	46	West
	10	Rodeiro	RO	Pontevedra	772	0	All directions
E	23	San Xoan do Rio	SX	Ourense	813	45	West
	43	Os Blancos	OB	Ourense	824	22	Southwest
	17	Ríos	RI	Ourense	856	20	South
	5	As Nogais	NO	Lugo	886	60	North
F	13	Vilar de Barrio	VI	Ourense	927	33	Southwest
	27	A Veiga	MD	Ourense	956	27	Southwest
	34	Viana do Bolo	VB	Ourense	990	41	Northwest
G	42	Pexeiros	PX	Ourense	1005	26	Southeast
	18	Vilardevós	VV	Ourense	1032	20	Northwest
	41	Covas	CO	Ourense	1054	14	Southwest
H	31	Ramilo	RA	Ourense	1125	25	Northwest
	19	Os Blancos	CA	Ourense	1136	20	Southwest
	45	O Curro	CU	Lugo	1172	0	All directions
	4	Pedrafita	PE	Lugo	1273	7	Northwest

Tab. 1: Groups of plots used to obtain the test tubes.

RING NUMBERS	RING WIDTH (mm)		
	N	MV	SD
1-10	3620	2.27	1.4
10-20	3620	2.26	1.31
20-30	3590	2.35	1.07
30-40	2828	2.41	0.94
40-50	1597	2.66	1.25
50-60	1211	2.88	1.24
60-70	1078	2.92	1
70-80	637	3.09	1.9
80-90	367	4.00	1.14
90-100	118	4.40	1.01
MEAN		2.92	1.23

Tab. 2: Statistical characteristics of ringwidth for different groups of rings.
N-number of samples, MV-mean value, SD-standard deviation

DISTANCE FROM CENTRE OF THE WOOD (mm)	Cv (%)			v (%)		rH ₁₂ (Kg/m ³)	
	N	MV	SD	MV	SD	MV	SD
19	13	24.67	2.79	0.81	0.04	914.68	54.06
20	7	21.48	3.63	0.77	0.06	838.29	59.29
21	11	22.19	4.02	0.74	0.01	858.78	78.50
25	17	22.41	1.23	0.68	0.07	858.97	68.42
28	14	23.63	3.32	0.60	0.09	879.19	71.16
30	28	20.37	2.14	0.51	0.05	824.84	74.35
33	14	20.57	1.22	0.55	0.11	801.29	19.06
38	11	19.45	1.70	0.51	0.20	798.47	60.04
39	8	20.29	4.95	0.54	0.07	817.91	29.61
40	7	22.52	1.13	0.54	0.32	816.29	37.78
42	15	19.94	4.25	0.60	0.13	818.44	70.09
44	7	19.09	2.40	0.58	0.25	770.26	61.51
45	18	19.27	3.17	0.53	0.11	783.73	67.91
54	11	17.51	3.63	0.49	0.17	743.16	102.02
55	9	18.82	3.22	0.51	0.16	729.81	128.79
56	9	17.21	2.17	0.51	0.22	764.51	97.86
57	12	19.01	0.80	0.53	0.30	755.92	28.36
58	18	19.21	3.11	0.53	0.14	769.10	39.28
59	8	17.42	7.91	0.47	0.11	738.30	59.26
64	9	17.71	3.85	0.48	0.13	753.24	53.20
65	13	19.93	3.92	0.47	0.22	763.60	70.30
75	5	19.27	4.18	0.44	0.25	718.35	63.20
78	16	18.54	3.41	0.44	0.06	765.89	33.77
82	16	19.52	2.05	0.46	0.16	742.03	117.17
83	17	16.84	2.05	0.49	0.10	715.55	87.64
85	9	16.88	2.71	0.48	0.08	734.55	47.30
86	18	17.38	2.64	0.43	0.16	753.66	59.30
88	7	16.84	3.32	0.43	0.16	691.70	19.87
100	10	15.65	1.15	0.42	0.06	670.96	100.20
110	5	15.15	3.24	0.41	0.17	688.91	15.54
MEAN		19.29	2.98	0.53	0.14	776.01	62.49

Tab. 3: Statistical characteristics of volumetric shrinkage, volumetric shrinkage coefficient and rH₁₂ for distance from pith to bark; N-number of samples, MV-mean value, SD-standard deviation

DISTANCE FROM CENTRE OF THE WOOD (mm)	MOR (MPa) MV	MOE (MPa) MV
19	97.15	10743.27
20	114.86	12350.14
21	88.73	11999.95
25	87.43	10885.49
28	89.10	10349.90
30	81.66	12350.14
33	82.67	10687.79
38	81.07	10885.49
39	82.00	11999.95
40	87.74	10591.88
42	72.29	10441.51
44	86.27	8003.96
45	84.47	9865.74
54	78.49	9366.37
55	76.25	9970.61
56	76.32	9071.36
57	74.94	9282.69
58	74.95	8980.68
59	70.62	8998.10
64	76.85	8857.19
65	78.01	8545.08
75	84.44	8777.82
78	64.87	8986.72
82	63.48	8980.68
83	67.29	8464.98
85	80.32	7597.87
86	67.43	7298.41
88	63.07	7550.86
100	52.33	5225.42
110	48.40	4991.71
MEAN	77.78	9403.39

Tab. 4: Statistical characteristics of MOR and MOE for different distance from centre of the wood.
MV-mean value

GROUP	HEIGHT ABOVE SEA LEVEL (m)	N	rH ₁₂ (Kg/m ³)	Cv (%)	HARDN ESS (mm ⁻¹)	v	RING WIDTH (mm)	N	MOE (MPa)	MOR (MPa)
A	<500	115	763.67	18.71	3.69	0.45	2.47	34	7776.36	72.23
B	500-600	135	803.61	18.79	3.69	0.52	2.55	29	8632.51	82.41
C	600-700	135	792.12	20.93	4.61	0.56	2.73	52	7921.37	79.62
D	700-800	73	752.17	18.15	3.48	0.47	2.22	10	8086.03	78.06
E	800-900	98	768.98	18.07	4.34	0.61	2.34	30	8256.36	76.30
F	900-1000	37	758.39	15.96	3.79	0.77	2.82	17	9932.80	88.80
G	1000-1100	69	725.76	17.09	3.74	0.51	2.75	10	8199.45	77.76
H	>1100	74	696.35	16.71	3.52	0.50	3.18	25	7038.03	70.45

Tab. 5: Statistical characteristics of some physical and mechanical properties of eight groups of *Quercus pyrenaica* (n=28). N-number of samples

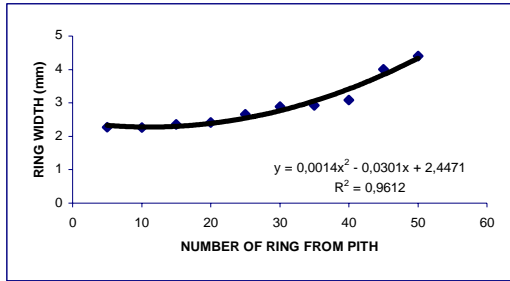


Fig. 2. Ringwidth (mm)

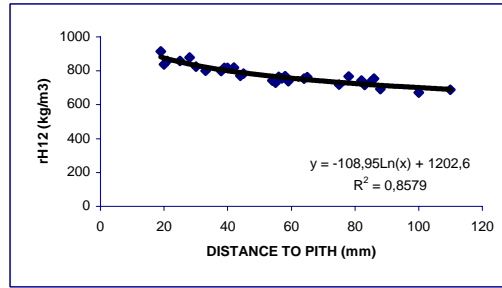


Fig. 5: rH₁₂ (Kg/m³)

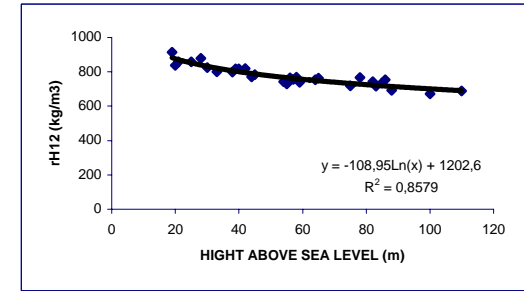


Fig. 8: Relation between rH₁₂ and height above sea level.

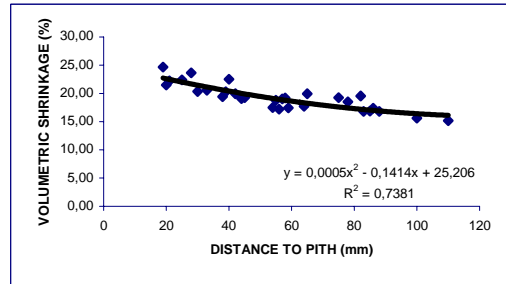


Fig. 3: Volumetric shrinkage (%)

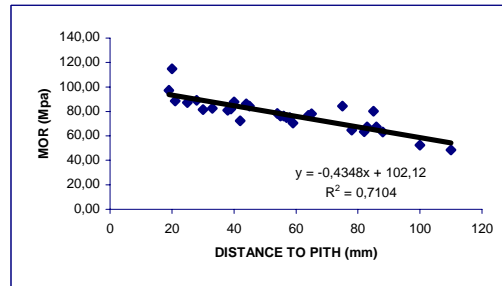


Fig. 6: MOR (MPa)

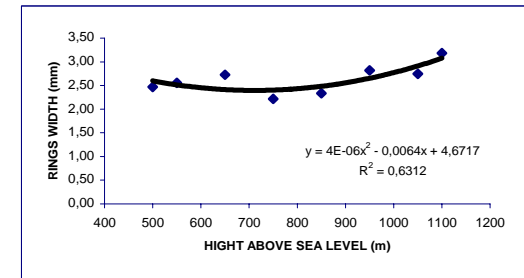


Fig. 9: Relation between average ring width and height above sea level.

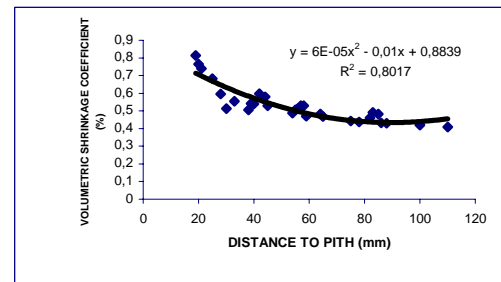


Fig. 4: Volumetric shrinkage coefficient

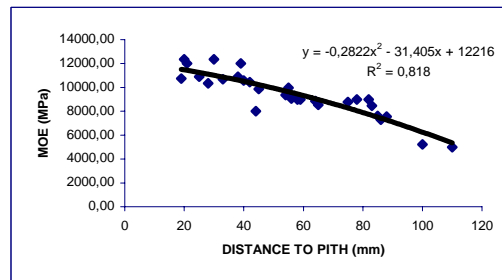


Fig. 7: MOE (MPa)

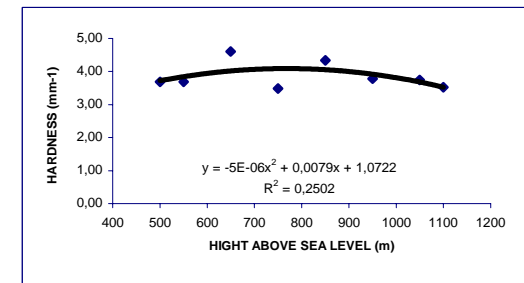


Fig. 10: Relation between hardness and height above sea level.

CONCLUSIONES GENERALES

1. Debido a la presión que han sufrido los rebollares en Galicia, motivada, por un lado, por los incendios y, posterior aprovechamiento de los rebrotes por el ganado y, por otro, para la obtención de leñas y carbón vegetal, actualmente, la mayoría se ubican en zonas de pendientes moderadas, de mediana y elevada altitud, con preferencia por las orientaciones de solana. Los sustratos silíceos son dominantes, aunque también puede vivir sobre calizas descalcificadas, siendo las texturas limo-arenosas mayoritarias. La profundidad del suelo supera los 100 cm, en muchos casos, aunque en otros, es bastante escasa.
2. En cuanto al tipo de suelo, *Quercus pyrenaica*, se ubica, dentro del área de estudio, en suelos menos evolucionados que otros robles (*Quercus robur* y *Q. petraea*). Más de la mitad de las masas muestreadas se asientan sobre regosoles úmbricos con un horizonte A profundo, que en ocasiones, puede aparecer subdividido.
3. En general, los suelos son fuertemente ácidos, lo cual, no impide una adecuada humificación, dando lugar a humus de tipo mull o moder. La tasa de mineralización se puede considerar normal y los macronutrientes presentan valores óptimos para este tipo de bosques. Los valores de los micronutrientes, excepto hierro y zinc, son similares a los obtenidos para otras especies forestales, tanto coníferas como frondosas, dentro del área de estudio.
4. La distribución de los rebollares en Galicia esta relacionada, principalmente, con las características fisiográficas y climáticas del territorio, no influyendo prácticamente los condicionantes edáficos, debido, sobre todo, a que la naturaleza del sustrato sobre el que se asientan es muy parecida en todos los casos.
5. En cuanto a la calidad de estación y, después de probar una serie de ecuaciones dinámicas, se ha elegido una, derivada del modelo de Bertalanffy-Richards, que considera los parámetros a_1 y a_3 relacionados con la productividad de la estación:

$$Y = Y_0 \left(\frac{1 - \exp(-0.01794 t)}{1 - \exp(-0.01794 t_0)} \right)^{(-1.132 + 7.746/X_0)}$$

donde Y_0 y t_0 representan la altura en metros y la edad en años, respectivamente, siendo Y la altura predicha a una edad t,

$$X_0 = \frac{1}{2} \left((\ln Y_0 + 1.132L_0) + \sqrt{(\ln Y_0 + 1.132L_0)^2 - 4 \times 7.746L_0} \right), \quad \text{y}$$

$$L_0 = \ln(1 - \exp(-0.01794 t_0)).$$

6. Con respecto a las propiedades físicas de la madera, las especies estudiadas del género *Quercus* presentan una madera que se puede clasificar como medianamente nerviosa y, en determinados casos, incluso nerviosa, características que condicionan su secado y uso futuro. En concreto, *Quercus pyrenaica* es la especie que presenta una madera más densa, seguida de *Quercus petraea* y *Q. robur*.
7. Las tres especies, dentro del área estudiada, tienen un grado de dureza superior en comparación con otras procedencias, lo cual puede vincularse a la existencia de una densidad elevada.
8. En relación con la variación de las propiedades de la madera con respecto a la altitud geográfica a la que se ubican las masas, existen variaciones en todas las propiedades físicas y mecánicas analizadas excepto para la dureza.
9. En general, hemos detectado un incremento en el ancho de anillo de crecimiento desde el centro hasta la corteza del árbol con la presencia de correlaciones muy diferentes para todas las propiedades de la madera analizadas.
10. Los distintos valores de C_v , v y rH_{12} correlacionan muy bien con el número de anillos y la distancia al centro del árbol, apreciándose una disminución en la dirección radial desde el centro hacia la corteza. Para finalizar, podemos afirmar que la misma situación detectada en los parámetros físicos anteriores también existe en los valores de MOE y MOR con una disminución desde el centro del árbol hacia la corteza para ambos parámetros.