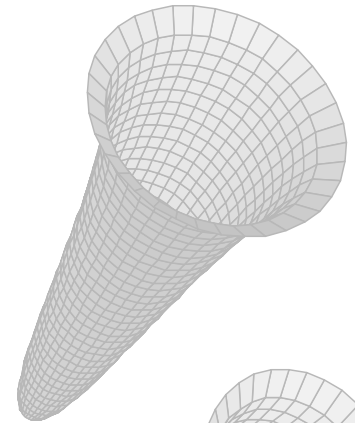
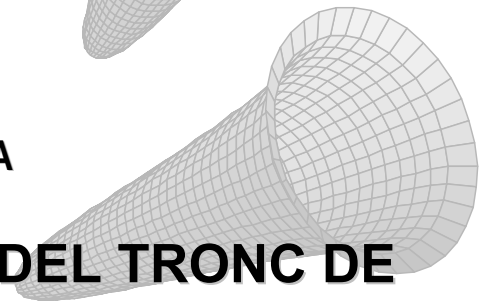
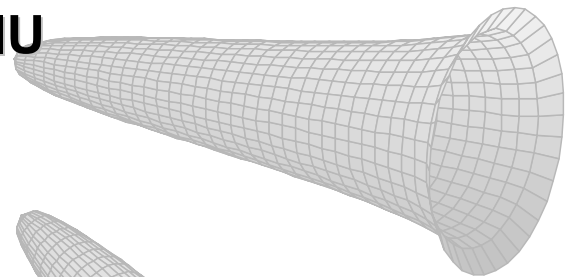
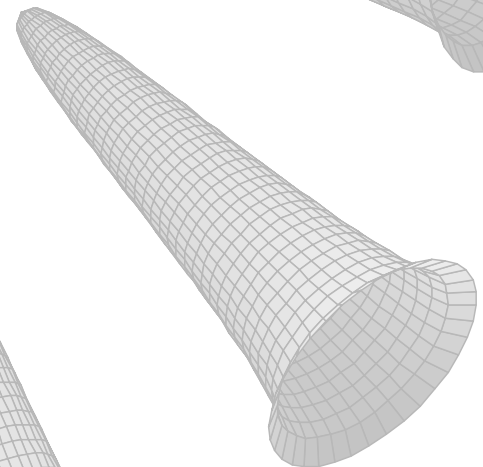
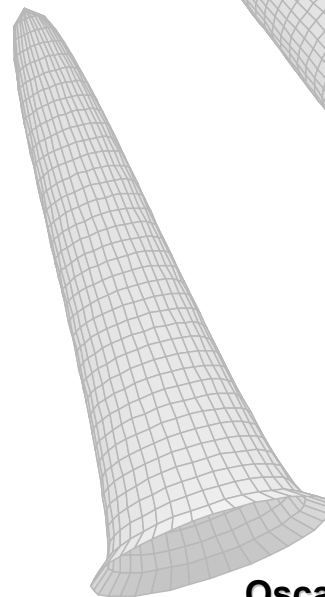
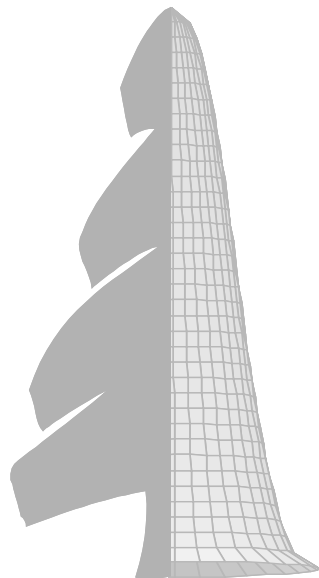




**PROJECTE FINAL DE CARRERA**

**ANÀLISIS DE MODELS DE PERFIL DEL TRONC DE  
*Pinus sylvestris* AL PARC COMARCAL DEL CASTELL  
DE MONTESQUIU**



**Novembre 2005**

**Oscar García Companys**  
Estudiant d'Enginyeria de Forest  
Tutor: **Ricardo Blanco**  
Cotutor: **Francisco Rodríguez**



No basta saber, se debe también aplicar.  
No es suficiente querer, se debe también hacer.

Johann Wolfgang von Goethe  
1749-1832. Poeta y dramaturgo alemán.



Aquells que ja hem conegut i els que me'n he conegut per aquest projecte ja sabreu que un dels meus forts no és pas escriure en un full en blanc tot allò que penso i sento, però hi ha cops que un es veu obligat a agrair moltes coses:

En primer lloc al Ricardo i al Paco per la seva inestimable ajuda i per la seva proximitat, tan agraïda en una universitat molts cops massa freda.

Després a tota la gent del Parc Comarcal del Castell de Montesquiú i tècnics de la Diputació de Barcelona ja que sense ells no hagués estat possible la realització d'aquest projecte.

Als membres del tribunal Jordi, Domingo i Alba pels seus consells i el seu temps.

A tots els meus amics perquè encara que mai aconseguiré que entenguin que són i perquè serveixen les corbes de perfil de tronc sempre han estat i estaran allí per intentar entendre-ho.

A la gent del Servei de Gestió Forestal i sobre tot al Pere i al Jordi, per resoldre'm i plantejar-me dubtes i sobretot perquè mai van posar cap entrebanc per poder fer aquest projecte.

A la Laura i la Montse perquè han estat les millors companyes i a més a més han esdevingut dues bones amigues.

A la família per ..... tot , com sempre.

I per acabar gràcies a tu que has estat lo més important i ets lo més important, tot i que d'una altra manera.



<b>1. INTRODUCCIÓ</b>	<b>6</b>
1.1. Zona d'estudi	7
1.2. Aspectes Generals del Pi roig	8
1.2.1. Descripció de l'espècie	
1.2.2. El Pi roig a Catalunya	
1.2.3. Silvicultura	
1.2.4. Característiques de la fusta	
1.3. Modelització forestal	10
1.4. Funcions de perfil de tronc	11
1.4.1. Definició i antecedents	
1.4.2. Motivació	
1.4.3. Tipus de funcions i la seva classificació	
1.4.4. Tarifes amb classificació de productes	
1.4.5. Funcions de perfil per <i>Pinus sylvestris</i>	
<b>2. OBJECTIUS DEL PROJECTE</b>	<b>18</b>
<b>3. MATERIALS I MÈTODES</b>	<b>20</b>
3.1. <i>Obtenció de les dades</i>	21
3.1.1. Zonificació de la finca	
3.1.2. Treball de camp	
3.2. <i>Tractament de les dades</i>	25
3.2.1. Característiques de la mostra	
3.2.2. Depuració de les dades	
3.2.3. Models utilitzats	
3.2.4. Ajust dels models	
3.2.5. Avaluació i diagnòs dels models	
3.2.6. Validació dels models	
<b>4. RESULTATS I DISCUSSIÓ</b>	<b>32</b>
4.1. <i>Depuració de les dades</i>	33
4.2. <i>Ajust i elecció del model</i>	35
4.3. <i>Validació del model</i>	41
4.4. <i>Comparació del perfil entre peus dominats i dominants</i>	42
4.5. <i>Comparació del model de perfil de tronc obtingut per <i>Pinus sylvestris</i> al Parc Comarcal del Castell de Montesquiú amb altres models per la mateixa espècie a la Península Ibèrica.</i>	43
<b>5. CONCLUSIONS</b>	<b>46</b>



<b>CARTOGRAFIA</b>	<b>48</b>
<b>MAPA 1. Mapa de situació</b>	<b>49</b>
<b>MAPA 2. Mapa d'ubicació de les parcel·les d'inventari</b>	<b>50</b>
<b>ANNEXOS</b>	<b>51</b>
<b>ANNEX 1. Fitxes de camp</b>	<b>52</b>
<b>ANNEX 2. Dades de l'inventari del PTGMF</b>	<b>55</b>
<b>ANNEX 3. Qualitats d'estació</b>	<b>57</b>
<b>ANNEX 4. Càlcul de Variables de massa</b>	<b>58</b>
<b>ANNEX 5. Programes per SAS emprats</b>	<b>59</b>
<b>ANNEX 6. Anàlisi geomètric de la funció de perfil de Newnham</b>	<b>62</b>
<b>ANNEX 7. Fotografies</b>	<b>65</b>
<b>BIBLIOGRÀFIA</b>	<b>70</b>



## ÍNDIX DE TAULES

- Taula 1:** Planificació del treball de camp
- Taula 2:** Característiques dendromètriques de la mostra
- Taula 3:** Models de perfil de tronc analitzats
- Taula 4:** Estadístics per avaluar la bondat de l'ajust
- Taula 5:** Resultat de la depuració de dades mitjançant LOESS
- Taula 6:** Paràmetres estimats per l'ajust i el seu error estàndard
- Taula 7:** Estadístics per avaluar la bondat de l'ajust dels models
- Taula 8:** Classificació dels diferents models segons els estadístics de l'ajust en diàmetre
- Taula 9:** Estadístic DW per estructures autorregresives del error per a diferents ordres
- Taula 10:** Estadístics per avaluar la bondat la validació creuada dels models
- Taula 11:** Classificació dels diferents models segons els estadístics de la validació en diàmetre
- Taula 12:** Característiques del arbres tipus emprats per l'ajust de les funcions a Galícia
- Taula 13:** Fitxa de selecció de parcel·les
- Taula 14:** Fitxa de caracterització dasomètrica de les parcel·les d'inventari
- Taula 15:** Fitxa de caracterització dendromètrica dels peus abatuts
- Taula 16:** Dades de l'inventari del PTGMF del Castell de Montesquiú
- Taula 17:** Índex de qualitat d'estació de les parcel·les inventariades
- Taula 18:** Àrea Basimètrica, Densitat i diàmetre mig quadràtic per parcel·la d'inventari

## ÍNDIX DE FIGURES

- Figura 1.** Mapa de situació del Parc Comarcal del Castell de Montesquiú
- Figura 2.** Classificació dels models en funció del nivell de detall
- Figura 3.** Parts reals de l'arbre assimilades als diferents tipus dendromètrics
- Figura 4.** Model del perfil absolut (esquerra) i perfil relatiu (dreta)
- Figura 5a.** Gràfic de dispersió del diàmetre relatiu en front l'alçada relativa de les dades dels peus dominants
- Figura 5b.** Gràfic de dispersió del diàmetre relatiu en front l'alçada relativa de les dades dels peus dominats
- Figura 6.** Gràfic de residus dels models de perfil ajustats per peus dominants i dominats
- Figura 8a.** Gràfics de autocorrelació dels set models ajustats per a peus dominants en funció de l'ordre de l'estructura continua autorregresiva
- Figura 8b.** Gràfics de autocorrelació dels set models ajustats per a peus dominats en funció de l'ordre de l'estructura continua autorregresiva.
- Figura 9.** Perfils relatius del tronc de peus dominants i dominats de *Pinus sylvestris*
- Figura 10.** Diàmetres relatius per peus dominants i dominats per una mateixa alçada relativa
- Figura 11.** Perfil del tronc de peus dominants i dominats de *Pinus sylvestris*
- Figura 12.** Comparativa entre el perfils relatius del tronc de *Pinus sylvestris* del Castell de Montesquiú i Galícia per peus dominants i dominats
- Figura 13.** Comparativa entre el perfils del tronc de *Pinus sylvestris* del Castell de Montesquiú i Galícia per peus dominants i dominats
- Figura 14.** Comparativa entre Diàmetres relatius de *Pinus sylvestris* del Castell de Montesquiú i Galícia per peus dominants i dominats per una mateixa alçada relativa
- Figura 15.** Gràfica de perfil i model tridimensional



## INTRODUCCIÓ



## 1. INTRODUCCIÓ:

### 1.1. Zona d'estudi:

El Parc Comarcal del Castell de Montesquiu es troba situat entre les comarques d'Osona i del Ripollès ocupant terrenys dels termes municipals de Montesquiu, Sora, Sant Quirze i Santa Maria de Besora, a la zona anomenada com Subpirineu.



Figura 1. Mapa de situació del Parc Comarcal del Castell de Montesquiu

Aquest Parc, creat l'any 1992 (DOGC número 1714) està format per quatre finques propietat de la Diputació de Barcelona (El Castell, La Solana, Planeses i les Codines) més un petit sector de propietat privada i es troba regulat pel Pla Especial d'Ordenació del Parc Comarcal del Castell de Montesquiu (DOGC 2672) tenint actualment un Pla tècnic de Gestió i Millora forestal aprovat l'any 2000 amb una vigència de 10 anys

La superfície total del Parc és de 564 hectàrees, de les quals un 90% es troben poblades per espècies arbòries, distribuïdes entre les cotes altitudinals de 570 metres a 858 metres tot formant un paisatge de petites valls solcades per rieres, amb uns vessants força pendents amb un orientació majoritària oest.





Per les condicions climàtiques existents (segons el fitoclima d'Alluè, clima atlàntic d'hiverns freds amb una pluviometria anual de 747,07 mm), la finca es situa dins del domini del *Quercus humilis* (Roure Martinenc).

La fertilitat del sòl, sempre i quan la humitat no és massa excessiva, permet una certa abundància de la roureda d'aceràcies (*Acer campestre* (Aurò blanc), *Acer monspessulanum* (Auró negre) i *Acer opalus* (Blada)) i de rosàcies (*Pyrus malus* (Pomera), *Sorbus torminalis* (Moixera de Pastor) i *Sorbus domestica* (Server)). Sent aquestes espècies, de forma general, acompanyants ja que no solen superar el 10 % dels peus (JÜRGUENTS, 2000).

Amb condicions més fresques, fondalades i zones properes a rieres o fons de barrancs, el *Quercus humilis* deixa de ser tant abundant i es formen boscos mixtes, trobant-hi de manera puntual *Tilia platyphyllos* (Tell de fulla gran), *Fraxinus excelsior* (Freixe de fulla gran) i *Betula pendula* (Bedoll) (JÜRGUENTS, 2000).

En els ecotons de transició cap a la fageda poden aparèixer peus de *Prunus avium* (Cirerer) , *Ulmus glabra* (Om de muntanya), *Populus tremula* (Trèmol) i *Taxus baccata* (Teix), i el *Quercus humilis* és substituït pel *Quercus petraea* (Roure de fulla gran) (JÜRGUENTS, 2000).

Els boscos de *Fagus sylvatica* (Faig) apareixen a les obagues més fresques mentre que en aquelles solanes més àrides amb poca incidència de les gelades i sols més pobres hi trobem *Quercus ilex* (Alzina) substituint el *Quercus humilis*.

Cal destacar com a curiositat que en els marges del torrent de Dous, on les condicions d'humitat són excessives pel *Fagus sylvatica* i pel *Quercus petraea*, hi apareix *Quercus robur*, espècie únicament citada a Catalunya a la Garrotxa, la Selva i a la Val d'Aran (JÜRGUENTS, 2000).

La espècie més abundant a la finca és el *Pinus sylvestris* (Pi roig), gràcies a l'elevada plasticitat ecològica que aquesta presenta i a la gestió que històricament s'ha portat a terme a la finca, on s'ha afavorit de manera voluntària el *Pinus sylvestris* davant del *Quercus humilis*, mitjançant la realització de fortes aclarides que han facilitat la seva regeneració (el *Pinus sylvestris* és una espècie molt intolerant), i l'aprofitament per llenyes del *Quercus humilis* que ha provocat la pèrdua de vigor progressiva dels rebrots.

El *Pinus sylvestris* a la finca forma masses ,de 30 a 70 anys d'edat, i diàmetres petits, entre 14 i 38 cm, la qualitat d'aquestes masses és molt variable encara que predominen les qualitats baixes (Annex 3) ja que les condicions ecològiques de la finca no són les apropiades per aquesta espècie.

Actualment, després de varies dècades sense aprofitaments, els boscos de la finca han adoptat una estructura regular, encara que freqüentment amb una densitat insuficient, la qual cosa ha permès un desenvolupament important del sotabosc sobretot d'esbarzers (*Rubus ulmifolius*) dificultant ,i fins hi tot impeding, l'accés a l'interior de la massa.

## **1.2. Aspectes Generals del Pi roig:**

### **1.2.1. Descripció de l'espècie:**

El Pi roig (*Pinus sylvestris*) és un arbre bastant elevat que supera els 30 m arribant als 40 m. El port és inicialment cònic-piramidal, tot i que en la maduresa es va deformant tot fent-se asimètric,



amb menys branques en la meitat més sotmesa als vents. L'asimetria del port és més accentuada en condicions d'estació dures.

El tronc és recte i cilíndric, principalment en zones denses, en les que les branques baixes desapareixen per poda natural. L'escorça de jove és d'un to gris i al madurar l'arbre es desescama i es torna asalmonada, principalment en la part superior i en la base de les branques.

Les fulles, de color verd, són acícules de 3 a 10 mm (normalment fins a 6 mm), rectes o una mica arquejades, però tortes helicoidalment.

Floreix de maig a juny i la pinya madura a la tardor de l'any següent, si bé pot quedar a l'arbre un o dos anys. Aquesta pinya té de 3 a 8 mm de llarg i es troba unida a les branques per un peduncle curt. No és una pinya totalment simètrica i les apòfisis de les escames poden estar més corbades en la part externa. L'arbre normalment no produeix llavor fèrtil fins als 40 anys d'edat.

### **1.2.2. El Pi roig a Catalunya**

Segons les dades extretes de l'Inventari ecològic i forestal de Catalunya (IEFC) elaborat pel CREAM (Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals) la pineda de pi roig és el segon tipus de bosc amb major nombre d'hectàrees a Catalunya (219.754 ha) per davall de les 239.092 hectàrees de bosc de Pi blanc.

El Pi roig és l'espècie més abundant a sis comarques de Catalunya, entre elles el Ripollès on hi trobem casi 26.000 peus ocupant el 45% de la superfície arbrada de la comarca.

De les parcel·les del IEFC on el Pi roig era dominant en termes de àrea basal, la densitat mitjana era de 903 peus/ha, amb una àrea basal mitjana de 21,6 m<sup>2</sup>/ha i una altura dominant de 13,1 metres. Pel que respecta al Ripollès la densitat mitjana era de 945 peus/ha, amb una àrea basal mitjana de 22,1 m<sup>2</sup>/ha i una altura dominant de 14 metres

La producció mitjana de fusta amb escorça del Pi roig a Catalunya és de 4,4 m<sup>3</sup>/ha/any.

La fusta de Pi roig és relativament preuada a Catalunya (segons el butlletí dels productes forestals a Catalunya publicat per la Diputació de Barcelona al 2005 el preu d'una tona de Pi roig de més de 14 cm en punta prima a fàbrica és troba entre 42 i 46 €) per usos en construcció o ebenisteria, i és l'espècie que en termes absoluts més fusta aporta al mercat.

El pi roig és molt més abundant en vessants orientades al nord, i el podem trobar des de 200 a 2100 metres d'alçada (encara que és més abundant de 800 a 1600 metres) sense presentar cap preferència especial pel que respecta al substrat.

### **1.2.3. Silvicultura**

Per tractar-se d'una espècie de llum i colonitzadora s'ha tractat sovint en boscos ordenats amb tractament d'aclarida successiva uniforme amb torns entre 80 i 120 anys i produccions de fins a 4 m<sup>3</sup>/ha/any.

En les típiques pinedes denses de pi roig amb molsa, no es requereixen estassades normalment però en molts boscos ibèrics, en ubicacions més seques o més clars que la formació esmentada, el matoll pot aparèixer en quantitats suficients que facin recomanable una estassada.



Les aclarides es fan en funció l'espessor i normalment cada vint anys deixant per a la tallada final entre 250 i 300 peus dels que 50 es consideren peus pare.

#### **1.2.4. Característiques de la fusta**

La fusta del pi roig és resinosa, amb més proporció de duramen, i albega més colorada en les varietats de millor port i més blanca i gruixuda en les de pitjor port.

La fusta és en general de bona qualitat, amb tronc rectes i amb pocs nusos, propietats que han fet que sigui un dels nostres pins més apreciats.

Per la seva qualitat i considerant que la seva duresa que és mitjana, s'ha fet servir en construcció, ebenisteria i fusteria. Històricament també per la construcció de màstils de vaixells.

La fusta de mides petites no és massa bona per pasta per la presència de resina, i s'utilitza per fer postes per tanques després d'un tornejat i un tractament protector amb autoclau (RTI).

Els exemplars dolents poden emprar-se per a llenya i/o combustible amb bon resultat.

#### **1.3. Modelització forestal:**

La modelització consisteix en reduir una realitat complexa a un sistema estructurat d'elements i de relacions, o el que és el mateix, un model és una abstracció simplificada de la realitat on apareixen algunes de les seves propietats (STERBA, 2001).

Encara que existeixen diverses maneres de classificar models: Models estàtics i models dinàmics (CASTEDO, 2003), models funcionals i models empírics (RODRÍGUEZ, 2005), etc. diversos autors (CLUTTER *et al.*, 1983; GARCÍA, 1988; ERVITI, 1991; VANCLAY, 1994; PARDÉ y BOUCHON, 1994; DAVIS *et al.*, 2001; GADOW *et al.*, 2001) coincideixen en agrupar els models segons el nivell de detall (Figura 2), podent-se considerar el creixement a nivell cel·lular, a nivell d'arbre individual o a nivell de massa.

Habitualment la modelització forestal no sol treballar a escales molt detallades (cel·lular) sent els nivells de treball més habituals:

- Models a escala regional: Aquests models treballen a una escala superior que l'escala bosc i s'utilitzen per tal obtenir informació sobre grans superfícies de territori mitjançant l'estudi de promitjos o característiques globals.
- Models de massa: Aquests models treballen a escala bosc utilitzant variables referides a la hectàrea. Dins d'aquests models podem diferenciar entre:
  - Models mitjos o taules de producció, on no es considera l'estrat al que pertanyen els arbres tenint com a principal avantatge la poca informació requerida per a la seva construcció i la seva fermesa, encara que tenen el gran inconvenient que no permeten conèixer l'estructura de la massa.
  - Models amb distribució, on es representa mitjançant una funció matemàtica coneguda la distribució de les variables modelitzades per cada classe diamètrica.



- Models d'arbre, que tenen en conte el seu creixement i desenvolupament individual. Podem diferenciar-ne tres tipus:
  - Models independents de les distàncies. Aquests models defineixen la massa mitjançant el nombre i la dimensió dels peus però sense tenir en conte la seva ubicació en l'espai i, per tant, les relacions de competència entre ells.
  - Models dependents de la distància. Aquest incorporen a l'anàlisi de les variables de cada peu la seva situació en l'espai tot tenint en conte les relacions de competència existents entre els diferents peus.
  - Models arquitecturals, aquests són els models més funcionals de tots els descrits i per tant que treballen a una escala més detallada. Tracten d'estudiar la forma de creixement i ramificació dels vegetals segons uns tipus arquitecturals o patrons elementals.

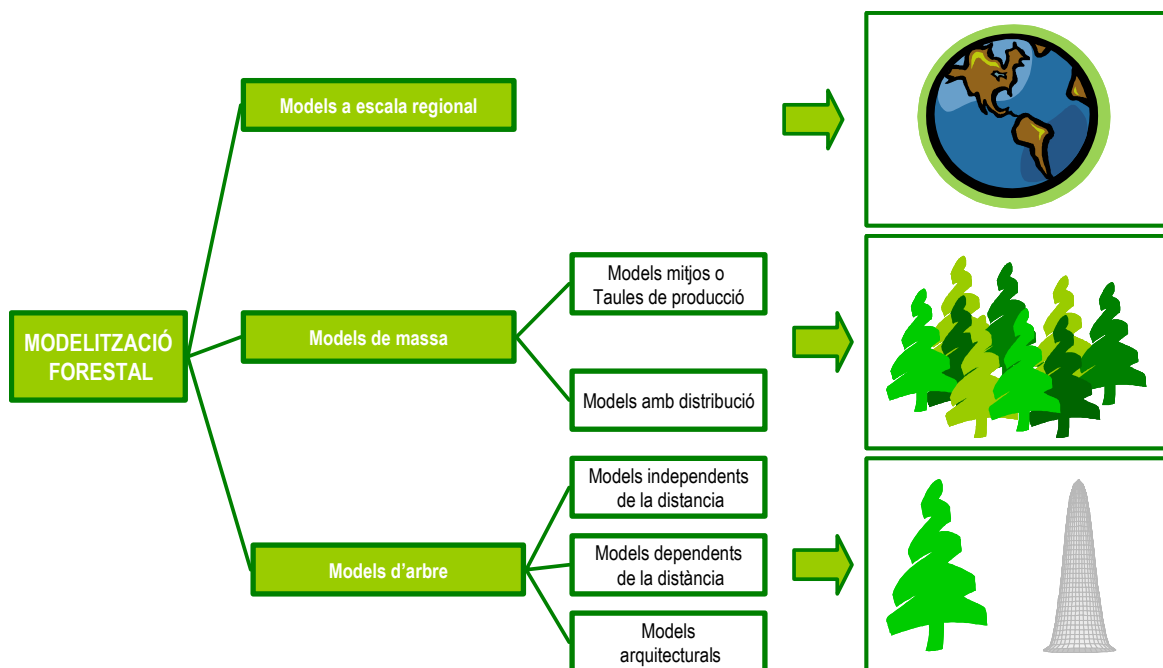


Figura 2: Classificació dels models en funció del nivell de detall

## 1.4. Funcions de perfil de tronc

### 1.4.1. Definició i antecedents

Una funció de perfil del tronc d'un arbre és un model matemàtic de la projecció ortogonal del tronc sobre un pla paral·lel a ell (RODRÍGUEZ, 2005) que es representa mitjançant una expressió analítica que relaciona els diàmetres, o les seccions del tronc, amb l'alçada a la que es troben (CASTEDO i ÀLVAREZ, 2000)

Amb un principi, l'anàlisi del perfil de l'arbre va realitzar-se tot assimilant-lo a corbes simples, conegudes com a perfils teòrics o tipus dendromètrics, com el cilindre, el con, el paraboloides i el neiloide (HUSCH *et al.*, 1982), però posteriorment es va observar que cap d'aquestes corbes teòriques s'ajustava de forma fiable a la forma de l'arbre sencer, però que en canvi, si realitzàvem l'ajust per zones aquest era molt més fiable. Per tant es va concloure que el perfil real de l'arbre era una combinació de diferents tipus dendromètrics, que defineixen el que coneixem com a funcions de perfil (Figura 3).



Així doncs, la zona inferior, que és convexa respecte al eix, és comparable a un tronc de neiloide. Immediatament després d'aquesta zona neiloidica ve una porció de tronc on es presenta la forma més o menys cilíndrica seguida d'una altra zona de perfil convex cap a l'exterior, comparable al parabolòic. Finalment, el perfil parabolòic va degenerant gradualment en cònic (RODRÍGUEZ, 2005).

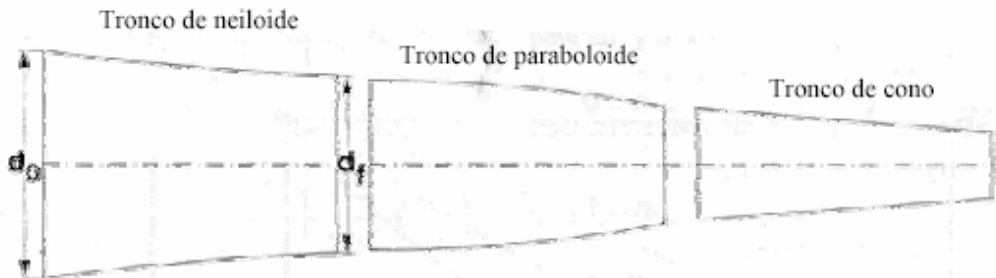


Figura 3. Parts reals de l'arbre assimilades als diferents tipus dendromètrics

#### 1.4.2. Motivació

Actualment l'ús que es dona a la fusta a les indústries de primera transformació és força divers, al igual que el preu que aquestes paguen per la matèria primera. Així doncs un metre cúbic de fusta en peu de *Pinus sylvestris* per fer taulells té un preu de 13,8 a 21 € la tona, mentres que si el seu destí és la trituració el preu varia entre 0 i 6 € la tona i si el destí és la indústria de postes el preu varia entre 18 i 33 € la tona (DIBA,2005).

Per aquest fet, en l'actualitat a més a més de la determinació del volum total de fusta d'un bosc, ve cobrant una importància creixent la descomposició del mateix en diferents fraccions, segons l'ús que es donarà a la fusta a les diferents indústries (PRIETO i TOLOSANA, 1991).

A més a més d'altres característiques morfològiques i tecnològiques un dels factors limitants que determina quin serà l'ús al qual es destinarà la fusta és el seu diàmetre, per exemple la fusta de *Pinus sylvestris* per taulell ha de tenir un diàmetre mínim de 14 cm en punta prima (DIBA,2005).

Per poder conèixer a priori (abans d'abatre els peus) el volum de fusta que es destinarà a cada indústria, CZAPLEWSKI *et al.* (1989) proposen la utilització de models de perfil del tronc, ja que mitjançant la seva integració permeten estimar el volum d'una porció de tronc desitjada.

#### 1.4.3. Tipus de funcions i la seva classificació

Les funcions de perfil es poden classificar amb dos grans grups, segons la manera amb que s'expressa el diàmetre de l'arbre en funció de l'alçada a la qual s'estima, tot diferenciant funcions de perfil relatives o absolutes (CASTEDO i ÀLVAREZ, 2000).

Les funcions de perfil absolutes es poden definir com el grau de disminució del diàmetre del tronc al augmentar l'alçada des de la base fins l'extrem més superior del mateix i presenten un problema important, que són dependents del tamany de l'arbre i que, per tant, no es pot generalitzar amb elles l'estudi del perfil per tota una massa forestal.



En canvi les funcions de perfil relatives utilitzen variables (altura i diàmetre relatiu) que són independents del tamany de l'arbre, permeten la comparació entre peus de diferents mides i així la generalització de l'estudi del perfil dels arbres a una massa forestal (PRIETO i TOLOSANA, 1991).

L'ús del diàmetre relatiu com variable independent és convenient quan es pretén ajustar una funció de perfil a una massa, ja que d'aquesta manera tots els arbres tenen igual pes a l'anàlisi, però implica un error multiplicatiu respecte al tamany dels arbres, ja que si els errors al diàmetre relatiu són homogenis, al convertir-los a diàmetres absoluts, seran majors als arbres més gruixuts (RODRÍGUEZ i BLANCO, 2001). Pel que respecta a l'alçada relativa com a variable independent la justificació es deu a la semblança a la forma del tronc de diferents mides dins de la mateixa espècie (DEMAERSCHALK i KOZAK, 1977; LAASASENAHO, 1982).

Matemàticament es defineix una funció de perfil del tronc relativa com aquella expressió que proporciona el diàmetre relatiu a llarg del tronc, amb funció de l'alçada relativa amb la següent expressió matemàtica:

$$\frac{d}{D} = f\left(\frac{h}{H}\right) \quad \text{o} \quad dr = f(hr)$$

on:

- $d$  = diàmetre corresponent a l'alçada  $h$
- $D$  = diàmetre normal,
- $h$  = alçada des del nivell del terra fins al diàmetre  $d$ ,
- $H$  = alçada total de l'arbre
- $dr$  = diàmetre relatiu ( $d/D$ ),
- $hr$  = alçada relativa des del nivell del terra ( $h/H$ ).

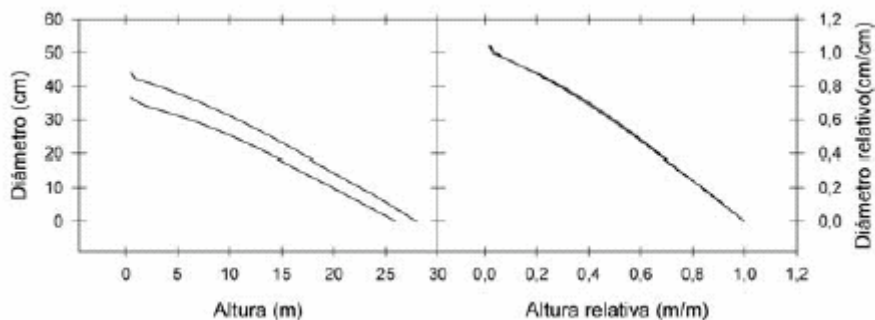


Figura 4: Model del perfil absolut (esquerra) i perfil relatiu (dreta)

Durant els últims anys les funcions de perfil de tronc dels arbres han anat incorporant noves variables a més a més de les habituals (diàmetre i diàmetre relatiu, alçada i alçada relativa), per tal de millorar les prediccions. Aquestes variables poden ser un segon diàmetre per sobre del normal, com per exemple a 5,3 m o un 20% de l'alçada total de l'arbre (BRUCE *et al.*, 1968; CZAPLEWSKI i MCCLURE, 1988; FLEWELLING, 1993), o dades referents a la copa de l'arbre doncs sembla ser que hi ha una estreta relació entre el perfil i el desenvolupament de la copa (LARSON, 1963; LAASASENAHO, 1982; BURKHART i BURTON, 1985; VALENTI i CAO, 1986; MUHAIRWE *et al.*, 1994). Altres autors (TASSISA i BURKHART, 1998; THOMAS i PARRESOL, 1991; MUHAIRWE *et al.*, 1994) han trobat fins hi tot, relacions entre el perfil del tronc i paràmetres d'arbre individual, de la densitat de massa i de l'estació.



Però el fet d'incorporar noves variables dins de l'anàlisi pot implicar un problema afegit, l'existència de correlació entre elles (també conegut com multicolinealitat), afectant així a la variança de les estimacions dels paràmetres del model obtingut a l'ajust (KOZAK, 1988; BI, 2000).

És necessari esmentar que la fiabilitat de les corbes de perfil no únicament depèn de les variables incloses dins els models, si no que també depèn de la representativitat de la mostra a partir de la qual són construïdes (CASTEDO i ÀLVAREZ, 2000).

Durant els últims decennis s'han proposat nombroses expressions de funcions de perfil mitjançant models hiperbòlics, potencials, polinòmics segmentat, d'exponent variable, trigonomètrics, etc. Aquest models es poden classificar (CASTEDO i ÀLVAREZ, 2000) de la següent forma:

- Models polinòmics simples: Són aquells que els diàmetres relatius s'obtenen mitjançant una única funció polinòmica de l'alçada relativa per a tot el tronc de l'arbre. Un d'ells, el de quart grau ajustat per CERVERA (1973) a dades del *Pinus sylvestris*, és una de les poques referències importants de l'anàlisi de funcions de perfil a Espanya.

$$\left(\frac{d}{D}\right)^2 = b_0 - b_1 \cdot \left(\frac{h}{H - 1,30}\right)$$

MUNRO (1966)

on  $b_i$  són els paràmetres a estimar,  $d$  diàmetre corresponent a l'alçada  $h$ ,  $D$  diàmetre normal,  $H$  l'alçada total i  $h$  alçada des del nivell del terra fins al diàmetre  $d$ .

$$\left(\frac{d}{D}\right)^2 = b_0 + b_1 \cdot \left(\frac{h}{H}\right) + b_2 \cdot \left(\frac{h}{H}\right)^2$$

KOZAK *et al.* (1969)

on  $b_i$  són els paràmetres a estimar,  $d$  diàmetre corresponent a l'alçada  $h$ ,  $D$  diàmetre normal,  $H$  l'alçada total i  $h$  alçada des del nivell del terra fins al diàmetre  $d$ .

- Models polinòmics segmentats: Es defineixen com corbes de perfil formades per la unió de varies funcions polinòmiques, imposant en els punts d'unió unes condicions específiques, de forma que la funció sigui continua al igual que les seves derivades (FULLER, 1969; GALLANT i FULLER, 1973; GALLANT, 1974; MAX i BURKHART, 1976).

$$\left(\frac{d}{D}\right)^2 = Z^2 (b_1 + b_2 \cdot Z) + (Z - a)^2 \cdot [b_3 + b_4 \cdot (Z + 2a)] \cdot I$$

$$I = 1 \text{ si } a \leq Z$$

$$I = 0 \text{ si } a > Z$$

PARRELSOL *et al.* (1987)

on  $b_i$  són els paràmetres a estimar,  $d$  diàmetre corresponent a l'alçada  $h$ ,  $D$  diàmetre normal,  $H$  l'alçada total i  $h$  alçada des del nivell del terra fins al diàmetre  $d$ ,  $Z$  és  $\left(\frac{H-h}{H}\right)$

i  $a$  el punt d'unió entre els submodels.



- Models potencials: En aquests el diàmetre relatiu és funció de l'alçada o de l'alçada relativa elevada a una potència (CZEPLAWSKI i McCLURE, 1988).

$$\frac{d}{D} = \left( \frac{H - h}{H - 1,30} \right)^{b_1}$$

ORMERNOD (1973)

on  $b_i$  són els paràmetres a estimar,  $d$  diàmetre corresponent a l'alçada  $h$ ,  $D$  diàmetre normal,  $H$  l'alçada total i  $h$  alçada des del nivell del terra fins al diàmetre  $d$ .

- Models exponencials: Es caracteritzen per que la funció de perfil inclou termes exponencials on està inclosa l'alçada com variable independent (RIMER *et al.*, 1995).

$$d = \frac{b_0 \cdot D}{1 - e^{b_2 \cdot (1,3 - H)}} + \left( \frac{D}{2} - b_0 \cdot D \right) \cdot \left[ 1 - \frac{1}{1 - e^{b_1 \cdot (1,3 - H)}} \right] + e^{-b_1 \cdot h} \cdot \left[ \frac{\left( \frac{D}{2} - b_0 \cdot D \right) \cdot e^{1,3 \cdot b_1}}{1 - e^{b_1 \cdot (1,3 - H)}} \right] - e^{b_2 \cdot h} \cdot \left[ \frac{b_0 \cdot D \cdot e^{-b_2 H}}{1 - e^{b_2 \cdot (1,3 - H)}} \right]$$

RIMER *et al.* (1995)

on  $b_i$  són els paràmetres a estimar,  $d$  diàmetre corresponent a l'alçada  $h$ ,  $D$  diàmetre normal,  $H$  l'alçada total i  $h$  alçada des del nivell del terra fins al diàmetre  $d$ .

- Models d'exponent variable: Són funcions de perfil exponencials, on el terme exponencial és en si mateix una funció polinòmica de variables relacionades amb l'arbre, l'estació i/o el rodal. Aquest tipus de model permet, mitjançant una única funció, descriure els canvis que es produeixen al perfil per les diferents seccions del tronc (FORSLUND, 1990).

$$d = b_1 \cdot D^{b_2} \cdot \left[ \frac{1 - \sqrt{T}}{1 - \sqrt{P}} \right]^{[b_3 \cdot T^2 + b_4 \cdot \ln(T + 0,001) + b_5 \cdot \left( \frac{D}{H} \right)]}$$

PÉREZ *et al.* (1990)

on  $b_i$  són els paràmetres a estimar,  $d$  diàmetre corresponent a l'alçada  $h$ ,  $D$  diàmetre normal,  $H$  l'alçada total i  $h$  alçada des del nivell del terra fins al diàmetre  $d$ ,  $T$  és  $\left( \frac{h}{H} \right)$

- Models trigonomètrics: Basats en funcions trigonomètriques creant funcions de perfil força senzilles però prou flexibles com per adaptar-se a diferents formes del tronc (THOMAS i PARRESOL, 1991).

$$d = b_1 \cdot D \cdot \cos \left[ \frac{\cos^{-1} \left( b_2 - b_3 \cdot \left( \frac{H-h}{H-1,3} \right) + 4 \cdot \pi \right)}{3} \right] + b_4 \cdot D$$

MCTAGUE i BAILEY (1987)

on  $b_i$  són els paràmetres a estimar,  $d$  diàmetre corresponent a l'alçada  $h$ ,  $D$  diàmetre normal,  $H$  l'alçada total i  $h$  alçada des del nivell del terra fins al diàmetre  $d$ .





- Models hiperbòlics: Són aquells que la relació entre diàmetres relatius i alçades relatives s'expressa mitjançant una funció hiperbòlica (BEHRÉ, 1927).

$$\left(\frac{d}{D}\right) \cdot 100 = \frac{X \cdot 100}{b_1 + b_2 \cdot X \cdot 100} \quad \text{BEHRÉ (1927)}$$

on  $b_i$  són els paràmetres a estimar,  $d$  diàmetre corresponent a l'alçada  $h$ ,  $D$  diàmetre normal i  $X$  és  $\frac{H-h}{H-1,3}$  on  $H$  l'alçada total i  $h$  alçada des del nivell del terra fins al diàmetre  $d$ .

- Models logarítmics: Són funcions polinòmiques o racionals a les que apareixen com a variables independents el logaritme de les alçades relatives, amb ocasions modificades o subjectes a altres transformacions addicionals.

$$\ln d = b_0 + b_1 \cdot \ln D + b_2 \cdot \ln h + b_3 \cdot \ln H \quad \text{SERVEI FORESTAL DE LA COLÚMBIA BRITÀNICA (1968)}$$

on  $b_i$  són els paràmetres a estimar,  $d$  diàmetre corresponent a l'alçada  $h$ ,  $D$  diàmetre normal,  $H$  l'alçada total i  $h$  alçada des del nivell del terra fins al diàmetre  $d$ .

- Models basats amb l'anàlisi multivariant: L'ús de components principals (PCA) com a mètode per estudiar el perfil dels troncs dels arbres va ser descrit per primera vegada per FRIES (1965). Actualment, aquest tipus d'anàlisi es dirigeix sobretot a l'estudi de l'arbre complet (NEWCOMER i MYERS, 1984; REAL *et al.*, 1989)

#### 1.4.4. Tarifes amb classificació de productes

La determinació de les existències de fusta d'un bosc ha estat, des de sempre, un dels resultats que se li han exigint als gestors forestals. Però actualment la descomposició d'aquest volum total en diverses fraccions ve cobrant un interès creixent (Punt 2.4.2).

Per estimar el volum de fusta que es destinarà a cadascuna de les indústries de primera transformació, o el que és el mateix, el volum de fusta fins un diàmetre determinat, existeixen dues metodologies:

- Les tarifes de cubicació amb estimació de volum de diferents categories tecnològiques de la fusta
- Les funcions de perfil del tronc de l'arbre

La utilització de la primera metodologia implica unes certes limitacions ja que resulta difícil l'adaptació a canvis en els límits comercials, és a dir, no es pot estimar el volum per límits diferents als establerts per l'ajust de la tarifa, no permet la realització d'estudis relatius a la forma de l'arbre. A més a més no existeixen models suficientment flexibles per poder aplicar-se a la majoria d'espècies i les diverses estacions on es troben (CASTEDO i ÀLVAREZ, 2000).

La segona metodologia es basa en la integració de les funcions de perfils entre els límits d'alçada on es trobi aquell diàmetre mínim i màxim que les diferents indústries de primera



transformació de la fusta defineixen pels diferents tipus de productes. Per poder utilitzar aquesta metodologia de forma eficient ha estat necessari el desenvolupament d'eines informàtiques com: WoodPro (TIAN *et al.*, 1995a; TIAN *et al.*, 1995b), WinEpifn (LEBAN *et al.*, 1996), MatDendro (RODRÍGUEZ i RODRÍGUEZ, 2000), Cub&Pop (RODA, 2001), CAPSIS (COLIGNY *et al.*, 2002), Cubica (RODRÍGUEZ i BROTO, 2003) i GesMo (CASTEDO, 2003).

#### **1.4.5. Funcions de perfil per *Pinus sylvestris***

Els models de perfil aplicats al *Pinus sylvestris* que actualment trobem a la bibliografia són escassos, fet que resulta estrany donat el gran interès econòmic d'aquesta espècie i els múltiples usos que es donen a la seva fusta (trituració, tauler, postes, etc.).

Cal destacar el treball realitzat per CERVERA (1973) que va ajustar un polinomi de quart grau a dades procedents de 3.261 peus de pi roig de la regió nord-est d'Espanya i que representaven totes les classe diamètriques presents a la zona. ALVES (1976) basant-se amb el model de KOZAK (1969) va utilitzar polinomis menors de segon grau per al pi roig i altres espècies de Portugal. LAASASENAHO (1982) va utilitzar un model polinòmic simple que va aplicar a tres espècies, d'entre ells el Pi roig, a Finlàndia. VALINGER (1992) va estudiar l'efecte de les clares i fertilització nitrogenada a la forma i el creixement dels troncs de peus de *Pinus sylvestris* al nord de Suècia. I finalment, PETERSON (1999) va desenvolupar un model a partir d'una mostra de 467 peus al sud de Suècia.



## OBJECTIUS DEL PROJECTE



## 2. OBJECTIUS DEL PROJECTE:

Els objectius que es pretenen assolir amb el present projecte final de carrera són:

- Analitzar diferents funcions de perfil de tronc sobre peus de *Pinus sylvestris* al Parc Comarcal del Castell de Montesquiú (Ripollès) per tal d'elaborar una tarifa de cubicació amb classificació de productes.
- Comparar entre el perfil dels peus dominants i els peus dominats
- Comparar la funció de perfil escollida amb altres funcions per a *Pinus sylvestris* existents a la Península Ibérica.





### 3. MATERIALS I MÈTODES

#### 3.1. *Obtenció de les dades*

##### 3.1.1. Zonificació de la finca

A partir de les dades de l'inventari forestal (Annex 2) que es va dur a terme per la realització del Pla Tècnic de Gestió i Millora Forestal de la Parc Comarcal del Castell de Montesquiú durant l'any 2000 i dels rodals que en el mateix pla es van definir, va realitzar-se una primera zonificació del Parc seleccionant aquells rodals:

- Amb una superfície suficient com per realitzar-hi una parcel·la d'inventari (10 m de radi més 10 metres més per minimitzar el efecte marge)
- on el *Pinus sylvestris* tingués una àrea basimètrica relativa (respecte les altres espècies inventariades al rodal) major al 70% (BRAVO, 2004).

Aquesta primera zonificació es va modificar a camp amb el suport del personal del Parc Comarcal del Castell de Montesquiú, tot afegint-hi aquells rodals nous que complien amb les premisses establertes, i que en el PTGMF no quedaven definits.

##### 3.1.2. Treball de camp

El treball de camp es va dur a terme durant la primera quinzena del mes de desembre de l'any 2004 per un equip format per personal del Parc Natural del Castell de Montesquiú i tres estudiants d'enginyeria de forest de la Universitat de Lleida, amb el suport de tècnics del Servei de Parcs de la Diputació de Barcelona.

Per intentar optimitzar al màxim el treball de camp, i gràcies a que es disposava de personal suficient, van crear-se diversos equips que van treballar de manera coordinada tot realitzant tasques (Taula 1) paral·leles en el temps i que de manera genèrica s'han denominat:

- Selecció de parcel·les
- Inventari Dasomètric
- Inventari Dendromètric

Taula 1: Planificació del treball de camp

SETMANA	Dilluns	Dimarts	Dimecres	Dijous	Divendres	Dissabte	Diumenge
Primera	Documentació			Planificació i organització del treball de camp			
Segona	Selecció de parcel·les						
		Inventari dasomètric					
Tercera	Inventari dendromètric						

Cal tenir en compte que durant el treball de camp es van obtenir dades per tres projectes finals de carrera diferents i que en el present treball no s'especifiquen, per aquest fet pot haver incongruències en quan al temps dedicat a certes parts del treball de camp i les dades finalment obtingudes.



## **SELECCIÓ DE PARCEL·LES D'INVENTARI**

A priori no es van determinar el nombre exacte de parcel·les de mostreig a realitzar, i va quedar supeditat a la premissa de maximitzar el nombre de parcel·les condicionat pel temps limitat (2 setmanes) que es disposava per dur a terme el treball de camp. Encara que de manera aproximada a partir de la primera selecció de rodals a mostrejar es va estimar el nombre de parcel·les entre 20 i 30, prenent com a referència una intensitat de mostreig de 1 parcel·la per cada 5 hectàrees.

La selecció de parcel·les es va dur a terme per un equip format pel guarda forestal del Parc Natural del Castell i un dels tres estudiants, i consistia en ubicar exactament les parcel·les de mostreig dins els rodals prèviament seleccionats.

Un cop ubicades es georeferenciava el seu centre amb GPS *Garmin e-map*® i es marcava físicament amb cinta de colors per facilitar el replantreig posterior.

Per portar a terme aquesta part del treball de camp es van establir uns criteris sobre on ubicar les parcel·les de mostreig dins els rodals seleccionats, per tal de no caure en errors i complir amb els objectius del projecte:

- El perímetre de les parcel·les de mostreig tenia que trobar-se a una distància mínima de 10 metres del marge de la massa forestal per tal de evitar el seu efecte.
- Mostrejar el màxim de qualitats d'estació existent a la finca (aquest requisit s'establia mitjançant una estimació pericial dels estudiants que a posteriori es ratificava a l'inventari dasomètric).
- Per introduir una certa aleatorietat, tot i que l'inventari era clarament dirigit, un cop trobada la possible ubicació de la parcel·la es va fixar el centre utilitzant criteris aleatoris (p.e. a partir de dos números a l'atzar "a" i "b", el centre estarà a partir d'un peu qualsevol del rodal: "a" passes al Nord i "b" al Est)

Finalment, tot i no ser un criteri determinant, es va intentar ubicar les parcel·les a zones maniobrables i properes a pistes forestals, tenint en conte que posteriorment, a l'inventari dendromètric, seria necessari que els operaris forestals accedissin a la zona amb la maquinària necessària per portar a terme l'abatiment dels arbres a mesurar.

Aquesta part del treball de camp va durar 5 dies, tot ubicant sobre el terreny un total de 26 parcel·les d'inventari (Mapa 2).

## **INVENTARI DASOMÈTRIC**

Aquesta part de l'inventari la van portar a terme un equip format per dos estudiants amb la col·laboració de dos operaris forestals del Parc Natural, que s'encarregaven de facilitar l'accés a les parcel·les, molt cops tenint que fer ús de motodesbroçadores degut a l'existència d'un estrat subarbori d'esbarzer (*Rubus ulmifolius*) amb cobertures molts cops superior al 80%, que impossibilitava el trànsit per dins la massa forestal.



La finalitat d'aquesta part de l'inventari va ser triple:

- l'obtenció de les dades necessàries per calcular variables de massa (Annex 4), utilitzades en algunes funcions de perfil del tronc com a variables del model com:
  - El nombre de peus per hectàrea (peus/ha)
  - L'àrea basimètrica (AB) per cada espècie
- el càlcul de l'índex d'estació de les diferents parcel·les
- i finalment la selecció de tres peus per parcel·la, dos de l'estrat dominant i un de l'estrat dominat, sobre els que posteriorment (a la següent fase de l'inventari) es van mesurar variables dendromètriques.

Les parcel·les d'inventari planificades van ser les clàssiques d'un inventari forestal, circulars amb un radi de 10 metres (en projecció ortogonal), on es van mesurar:

- Els diàmetres en creu del tronc a 130 cm de tots aquells peus inventariables (Classe diamètrica > 5cm) tot identificant l'espècie.
- La alçada i l'edat de l'arbre més gruixut de la parcel·la.

L'esquema de treball per portar a terme les diferents parcel·les d'inventari, va ser el següent:

- Un cop localitzada la parcel·la amb l'ajuda del GPS i la cartografia de suport, es col·locava al centre l'aparell receptor del hipsòmetre *VERTEX III*®.
- Un dels membres de l'equip a l'ajuda d'una forcípula milimètrica realitzava dues mesures (una paral·lela a la línia de màxima pendent i l'altra perpendicular) als peus inventariables mentre que l'altre membre de l'equip anotava les mesures i la espècie de que es tractava. Per evitar confusions (peus oblidats, repetir mesures,...) un cop realitzada la mesura de diàmetres aquell peu es marcava amb guix.
- Per tal de mesurar només aquells arbres inclosos dins dels 10 metres de radi definits per les parcel·les, el membre de l'equip que s'encarregava de la mesura dels diàmetres portava l'aparell emissor del hipsòmetre *VERTEX III*®, tot utilitzant-lo com distanciòmetre (funció que l'aparell porta incorporada). Per corregir la pendent d'una manera àgil i funcional és col·locaven emissor i receptor a la mateixa alçada.
- Finalment es mesurava l'alçada (amb el *VERTEX III*®) i la edat (amb barrina Pressler) de l'arbre més gruixut de la parcel·la.

Un cop acabat l'inventari dasomètric sobre les parcel·les es seleccionaven tres peus de *Pinus sylvestris* (dos de l'estrat dominant i un del dominat) que esdevindrien el material de base per la darrera fase del treball de camp. Aquests peus es van identificar fent-hi una marca amb esprai de colors (segons fos el peu dominant o dominat) a 130 cm de terra.

Ja que aquests peus posteriorment van ser abatuts, a l'hora de seleccionar-los també es van tenir en compte els següents criteris per garantir la viabilitat tècnica de la operació:





- Peus amb capçades lliures (no entrelligades amb les capçades d'altres arbres)
- Camí de caiguda lliure d'altres peus per minimitzar els danys a tercers peus.
- Caiguda sobre terrenys fàcilment maniobrables (evitant barrancs, fortes pendents,..)
- Evitar tallar peus propers dins la parcel·la per tal de no obrir grans forats sobre la massa.

El fet que la intensitat de mostreig sigui diferent en peus dominants i peus dominats respon al fet que davant d'uns recursos limitats per la realització de l'inventari (temps, personal, ...) és va creure convenient dedicar més esforços a la presa de dades de peus dominants ja que, a priori, aquests peus presenten un major interès econòmic que els peus dominats ja sigui pel seu major volum o per les seves característiques morfològiques.

El rendiment a l'hora de realitzar les parcel·les d'inventari va ser molt variable al llarg del temps però en termes mitjos, i un cop l'equip va estar entrenat, podem considerar que el temps variava entre 45 minuts i 1 hora per parcel·la, sense incloure desplaçaments.

Diàriament, un cop acabat l'inventari, es va calcular (Annex 3) l'índex d'estació de les diferents parcel·les que s'havien realitzat. Aquest índex es va fer servir com a estimador de la qualitat d'estació, per tal de comprovar in situ que es complia amb un dels objectius del projecte, mostrejar el màxim de qualitats d'estació existents a la finca, i en el cas que no s'acomplís poder corregir-ho mitjançant la selecció i l'inventari de noves parcel·les.

Finalment es van inventariar 24 parcel·les de les 26 prèviament seleccionades tot mesurant un total de 971 arbres i seleccionant-hi 72 per la següent fase sense ser necessària la selecció i posterior inventari de noves parcel·les ja que les qualitats d'estació mostrejades es van considerar prou representatives.

## **INVENTARI DENDROMÈTRIC**

Per realitzar aquesta última part de treball de camp va ser necessària la participació dels tres estudiants i dos operaris forestals del Parc Natural del Castell de Montesquiú.

Sobre els arbres seleccionats a l'inventari dendromètric (tres per parcel·la, dos dominants i un dominat) és van realitzar diferents mesures tot seguint la següent metodologia:

- Sobre els arbres en peu es van mesurar:
  - Alçada total i alçada de copa viva amb l'hipsòmetre *VERTEX III*®.
  - Diàmetres en creu a 130 cm amb forcípula milimètrica
- Els operaris van abatre els arbres amb motoserra procurant deixar l'alçada de la soca mínima possible (segons instruccions de la Direcció del Parc).
- Un cop al terra es va mesurar amb cinta mètrica les distàncies entre la marca de referència a 130 cm, que durant la selecció dels arbres es va fer amb esprai, i el principi de la copa viva, i entre la mateixa marca i l'àpex de l'arbre.



- En aquest punt els operaris procedien al debrancatge i descopat dels arbres i la posterior eliminació de les restes mitjançant l'esmicolat de les mateixes amb motoserra.
- Posteriorment els mateixos operaris trossejaven el tronc en trosses de aproximadament 2 metres (segons les instruccions de la Direcció del Parc), fent coincidir el inici de la primera trossa amb la marca d'esprai a 130 cm.
- Per cada trossa es van mesurar ,amb forcípula, els diàmetres del centre i de la punta més apical i la distància ,amb cinta mètrica, des de la punta més basal als dos diàmetres. Menys en el cas de la trossa inferior (per sota de 130 cm) on es van realitzar 3 mesures per tal de poder acumular les diferents distàncies relatives de la trossa tot transformant-les en alçada absoluta de l'arbre

Per falta de temps, durant l'inventari dendromètric van mesurar-se un total de 60 peus (20 dominats i 40 dominants) dels 72 prèviament seleccionats. Tot i això es va considerar que la mostra era suficientment representativa per tal de complir amb els objectius del projecte.

### 3.2. Tractament de les dades

A partir de les dades obtingudes durant el treball de camp i d'altres calculades es va portar a terme el seu tractament per tal d'obtenir el resultats necessaris per donar compliment als objectius del projecte.

#### 3.2.1. Característiques de la mostra

A la taula 2 es presenten les principals característiques dendromètriques de la mostra del 60 peus de *Pinus sylvestris* mesurada durant l'inventari dendromètric.

Taula 2. Característiques dendromètriques de la mostra.

		Dominats	Dominants
Nombre de peus		20	40
Número Observacions		244	612
Diàmetre a l'alçada del pit (cm)	Promig	146,63	271,25
	Desviació típica	30,02	48,55
	Mitjana	145,00	263,75
	Màxim	223,00	366,00
	Mínim	93,00	185,50
Alçada total (m)	Promig	14,15	16,99
	Desviació típica	2,39	2,39
	Mitjana	13,40	16,75
	Màxim	20,07	23,20
	Mínim	10,40	12,40

#### 3.2.2. Depuració de les dades

Per tal d'identificar i corregir possibles anomalies de les dades es va analitzar el gràfic de dispersió entre el diàmetre relatiu (diàmetre mesurat a l'altura  $h$  respecte el diàmetre normal) i



l'alçada relativa (alçada  $h$  respecte a l'alçada total) (RODRÍGUEZ, 2005), pel total de la mostra i per cadascun dels peus per separat.

Amb la intenció d'augmentar la eficàcia per la detecció de dades atípiques es van portar a terme dos ajustos locals quadràtics no paramètrics, un per les dades procedents de peus dominats i un altre per les procedents de peus dominants, utilitzant la regressió local *loess* (CLEVELAND, 1993) del paquet estadístic SAS/STAT<sup>TM</sup>(2001) amb un paràmetre suavitzat de 0,3 (RODRÍGUEZ, 2005).

Els residus dels dos ajustos *loess* van dividir-se amb deu intervals equidistants d'alçada relativa. En cadascun d'aquests intervals es va determinar la seva distribució i es van calcular dos valors límit per tal de discriminar les dades atípiques; el quartil inferior menys dues vegades el rang interquartílic de les dades de l'interval i el quartil superior més dos vegades el rang interquartílic de les mateixes dades (BI, 2000; BI i LONG, 2001; RODRÍGUEZ i MOLINA, 2003; RODRÍGUEZ, 2005).

### 3.2.3. Models utilitzats

Per tal d'escollir els models a ajustar en aquest treball entre tots els models de perfil de tronc existents, es van definir els següents criteris:

- Escollir com a mínim un model de perfil de tronc de cadascuna de les categories existents (Punt 2.4.3.)
- Models de perfils que anteriorment s'haguessin utilitzat pel Pi roig.
- Models de perfils actuals

Utilitzant aquest criteris els models escollits van ser (taula 3): CERVERA (1973), DEMAERSCHALK (1972), KOZAK (1988), MUHAIRWE (1999), BI (2000), HUI (1997) i NEWNWAM (1992).

La nomenclatura emprada en els models de perfil de tronc estudiats és la següent:

$D$ : diàmetre normal amb escorça, a 130 cm del terra (cm)

$H$ : alçada total (m)

$d$ : diàmetre amb escorça que correspon a una alçada  $h$  del tronc (cm)

$h$ : alçada on el tronc té un diàmetre  $d$  (m)

$hr$ : alçada relativa respecte a l'alçada total ( $h/H$ )

$dr$ : diàmetre relatiu respecte a diàmetre normal ( $d/D$ )

$a_i$  i  $b_i$ : paràmetres a estimar per l'ajust



Taula 3. Models de perfil de tronc analitzats.

<b>CERVERA (1973)</b>
$\frac{d}{D} = b_0 + b_1 \cdot \left(\frac{h-1,3}{H-1,3}\right) + b_2 \cdot \left(\frac{h-1,3}{H-1,3}\right)^2 + b_3 \cdot \left(\frac{h-1,3}{H-1,3}\right)^3 + b_4 \cdot \left(\frac{h-1,3}{H-1,3}\right)^4$
<b>DEMAERSCHALK (1972)</b>
$d = b_1 \cdot D^{b_2} \cdot (H-h)^{b_3} \cdot H^{b_4}$
<b>KOZAK (1988)</b>
$d = a_1 \cdot D^{a_2} \cdot a_3^D \cdot \left[ \frac{1 - \sqrt{\frac{h}{H}}}{1 - \sqrt{0,25}} \right]^{b_1 \cdot \frac{h}{H} + b_2 \cdot \ln\left(\frac{h}{H+0,001}\right) + b_3 \cdot \sqrt{\frac{h}{H}} + b_4 \cdot e^{\frac{h}{H}} + b_5 \cdot \left(\frac{D}{h}\right)}$
<b>MUHAIRWE (1999)</b>
$d = a_0 \cdot D^{a_1} \cdot \left(\frac{1,3}{h}\right)^{b_0 + \frac{b_1}{h^2} + b_2 \cdot h^5 + b_3 \cdot \left(\frac{D}{h}\right) + b_4 \cdot \left(\frac{h}{D}\right)}$
<b>BI (2000)</b>
$d = D \cdot \left( \frac{\ln\left(\sin\left(\frac{\pi}{2} hr\right)\right)}{\ln\left(\sin\left(\frac{\pi}{2} \left(\frac{1,30}{H}\right)\right)\right)} \right)^{a_1 + a_2 \sin\left(\frac{\pi}{2} hr\right) + a_3 \cos\left(\frac{3\pi}{2} hr\right) + a_4 \frac{\sin\left(\frac{\pi}{2} hr\right)}{hr} + a_5 D + a_6 hr \sqrt{D} + a_7 hr \sqrt{H}}$
<b>HUI (1997)</b>
$d = 2 \cdot \left( \left( \frac{a_1 \cdot D}{1 - e^{a_3(1,3-H)}} \right) + \left( \frac{D}{2} - a_1 \cdot D \right) \cdot \left( 1 - \frac{1}{1 - e^{(a_2 \cdot H \cdot (1,3-H))}} \right) + \left( \frac{D}{2} - a_1 \cdot D \right) \cdot \left( \frac{e^{-a_2 \cdot H \cdot 1,3}}{1 - e^{(a_2 \cdot H \cdot (1,3-H))}} \right) \cdot \left( e^{-a_2 \cdot H^2 \cdot hr} \right) - \left( \frac{a_1 \cdot D}{1 - e^{a_3-H}} \right) \cdot \left( e^{a_3 \cdot hr \cdot H} \right) \right)$
<b>NEWNHAM (1992)</b>
$d = D \cdot \left(\frac{H-h}{H-1,3}\right)^{e^{-\left(b_0 + b_1 \cdot \left(\frac{H-h}{H-1,3}\right) + b_2 \cdot \left(\frac{D}{H}\right)^2 + b_3 \cdot \left(\frac{H-h}{H-1,3}\right)^2 \cdot \frac{D}{H} + b_4 \cdot \frac{H}{\sqrt{h}} + b_5 \cdot \frac{D \cdot H}{h}\right)}}$

El primer model (CERVERA,1973) és una de les poques referències importants d'anàlisi de corbes de perfil de tronc per Espanya. Es tracta d'un model polinòmic de quart grau obtingut de l'ajust de les dades procedents de 3.261 peus de pi roig de la regió nord-est espanyola i que representaven totes les classes diamètriques presents a la zona (CASTEDO i ÀLVAREZ, 2000).

El segon model (DEMAERSCHALK, 1972) és un model potencial on el diàmetre amb escorça que correspon a una alçada  $h$  del tronc ( $d$ ) ve expressat com una potència del diàmetre normal i l'alçada total.

El model KOZAK (1988) és una funció continua d'exponent variable que té com a principi teòric que, al variar contínuament l'exponent al llarg del tronc es pugui descriure amb una única funció el perfil de la part baixa, mitja i superior del tronc (CASTEDO i ÀLVAREZ, 2000).



El model MUHAIRWE (1999) és un model de perfil de tronc d'exponent variable, on el terme exponencial és en sí mateix una funció polinòmica que té com a variables el diàmetre amb escorça a 130 cm del terra ( $D$ ) i l'alçada ( $h$ ). Aquest tipus de models permeten, mitjançant una única funció, descriure els canvis que es produeixen al perfil per les diferents seccions del tronc.

El següent model es tracta d'un model trigonomètric d'exponent variable proposat per BI (2000). La seva equació simplificada es  $dr=B_k$ , on  $dr$  és el diàmetre relatiu del tronc a una alçada relativa donada,  $B$  és la base del model en funció de l'alçada relativa i  $k$  es una funció que representa al coeficient local de forma, la qual varia al llarg del tronc en funció de l'alçada relativa i de les característiques dendromètriques del tronc ( $D$  i  $H$ ) (RODRÍGUEZ, 2005). La equació de base ( $B$ ) ha estat construïda a partir d'equacions trigonomètriques de proporció de volum segons la geometria del tronc. Gràcies a la seva flexibilitat aquest model ha estat emprat recentment per descriure el perfil del tronc de *Eucalyptus sp.* a Austràlia (BI, 2000), de *Pinus radiata* a Austràlia (BI i LONG, 2001) i de tres clons de xop I-214, MC i Luisa Avanzo a la vall del Cinca (RODRÍGUEZ, 2005). Els quatre primers paràmetres de la funció  $k$  descriuen els canvis a la forma del perfil del tronc al llarg d'aquest, mentre que els tres últims caracteritzen la forma del tronc en funció de les característiques dendromètriques del peu avaluat (RODRÍGUEZ, 2005).

El model HUI (1997) és un model exponencial tetraparamètric i integrable analíticament que apareix a resultes d'unes modificacions del model BRINK proposat per BRINK i GADOW (1986) i que recentment va ser emprat per l'obtenció de les corbes de perfil de tres clons de xop I-214, MC i Luisa Avanzo a la vall del Cinca (RODRÍGUEZ, 2005).

Per últim el model de NEWNWAM (1992) es tracta d'un model d'exponent variable que s'analiza detingudament en l'Annex 6.

### 3.2.4. Ajust dels models

L'ajust del models es va portar a terme separadament pels peus dominants i dominats i amb les dades depurades obtingudes després de l'ajust local no paramètric *loess*. El model general d'ajust es pot descriure com  $Y_{ih} = f(\theta; X) + \mu_{ih}$ ; on  $Y_{ih}$  és la matriu de diàmetres observats per als diferents arbres  $i$  a diferents alçades  $h$ ,  $X$  és el vector de les variables dependents del model,  $\theta$  és el vector dels paràmetres a estimar per l'ajust i  $\mu_{ih}$  és la matriu de l'error. Normalment s'assumeix que  $\mu_{ih}$  és independent i amb una distribució normal, variança i promig igual a zero, però és raonable pensar que dins de cada peu les observacions estan correlacionades espacialment, al tractar-se de dades longitudinals (RODRÍGUEZ, 2005).

Per l'anàlisi de dades longitudinals s'han proposat dues metodologies (RODRÍGUEZ, 2005), la primera d'elles consisteix en incloure efectes aleatoris al model (Gregoire *et al.*, 1995) ajustant el model tenint en conte cada arbre, per que els paràmetres estimats canvien per cadascun dels arbres i així es redueix l'impacte de l'autocorrelació (BIGING, 1985; GREGOIRE *et al.*, 1995; TASSISA i BURKHART, 1998; GARBER i MAGUIRE, 2003). La segona metodologia consisteix en assumir una estructura particular de l'error (MONSERUD, 1986; TASSISA i BURKHART, 1998; GARBER i MAGUIRE, 2003) on es habitual expressar aquesta autocorrelació entre els errors com un model estacionari autoregresiu AR( $x$ ) de ordre  $x$ , en el cas de mesures equidistats, o continu autoregresiu CAR( $x$ ) de ordre  $x$ , quan les mesures del diàmetre a diferents alçades no són equidistants.



La metodologia emprada en aquest treball per tal de corregir l'autocorrelació va consistir en determinar que l'estructura de l'error era contínua autoregressiva, CAR(x) d'ordre x (JONES, 1993).

Dins les estructures contínues autorregressives d'ordre 1 (CAR(1)) s'assumeix que la correlació entre mesures dins d'un mateix arbre disminueix segons augmenta la distància de separació entre dues mesures consecutives (PINHEIRO i BATES, 2000). En el cas d'estructures contínues autorregressives d'ordre p, existiran p paràmetres autorregressius i p distàncies entre observacions.

L'ajust dels models no lineals amb estructura del error tipus CAR (p) es va portar a terme amb el procediment MODEL del paquet estadístic SAS/ETS™ (2001).

### 3.2.5. Avaluació i diagnòs dels models

La diagnòs del model es va realitzar amb l'anàlisi gràfic i numèric dels residus, és a dir la gràfica on a l'eix de les abscisses tenim els residus (diferència entre el diàmetre mig  $d_{ih}$  i el diàmetre estimat  $d_{est,ih}$  per cada alçada  $h$  de cada arbre  $i$ ) i a les coordenades els valor predits. Aquest és el mètode generalment més acceptat al ser molt efectiu per avaluar els diferents ajustos, ja que a partir d'ell es poden verificar les hipòtesis de partida assumides (normalitat, homogeneïtat de la variança i independència dels residus), avaluar la falta de l'ajust per una tendència sistemàtica dels residus i determinar possibles variables predictives que seria necessari introduir addicionalment al model (ÁLVAREZ i RUIZ, 1995).

La distribució ideal dels residus és aquella on les seves variacions respecte als valor predits són uniformes (variança de residus homogènia) per a qualsevol valor predit, i on no apareixen comportaments sistemàtics (distribució normal). Per tant, es compararà aquesta distribució ideal amb l'obtinguda per cadascun dels models ajustats, donant més importància al fet que els residus segueixin una distribució normal (sense tendències sistemàtiques), davant que presentin una variança homogènia (CASTEDO i ÁLVAREZ, 2000).

Per avaluar la bondat de l'ajust dels diferents models estudiats, es van calcular els següents estadístics (CLUTTER *et al.*, 1983; VANCLAY, 1994; SOARES *et al.*, 1995; PRODAN *et al.*, 1997; GADOW i HUI, 1999; HUANG, 2002; KOZAK i KOZAK, 2003; RODRÍGUEZ i MOLINA, 2003), biaix mig, error absolut mig, arrel del error quadràtic mig, coeficient d'estimació ajustat, criteri d'informació de Aikake i criteri d'informació Bayesana (Taula 4). Per als 6 estadístics utilitzats el criteri de valoració és la mateixa, així doncs per un mateix estadístic calculat per dos models diferents serà millor aquell model que presenti el l'estadístic amb un valor menor.



Taula 4. Estadístics per avaluar la bondat de l'ajust

Estadístics		Formulació	Descripció
Biaix mig	s	$s = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)}{n}$	Avalua la desviació dels models respecte els valors observats
Error absolut mig	eam	$eam = \frac{\sum_{i=1}^n  y_i - \hat{y}_i }{n}$	Analitzen la precisió de les estimacions
Arrel del error quadràtic mig	recm	$recm = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n - p}}$	
Coefficient d'estimació ajustat	$R^2_{adj}$	$R^2_{adj} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2} \cdot \left( \frac{n-1}{n-p} \right)$	Representa la part de la variància explicada pel model tenint en compte el número de paràmetres d'aquest.
Criteri d'informació de Aikake	AIC	$AIC = n \cdot \ln \hat{\sigma}^2 + 2(p+1)$	Criteris de selecció de models
Criteri d'informació Bayesana	BIC	$BIC = n \cdot \ln \hat{\sigma}^2 + p \cdot \ln(n)$	

On:  $\bar{y}_i$  = diàmetre mesurat  
 $\bar{y}_i$  = promig dels diàmetres mesurats  
 $n$  = nombre d'observacions  
 $p$  = nombre de paràmetres del model  
 $\hat{\sigma}^2$  = mitja dels quadrats de l'error del model

Per avaluar la colinearitat entre variables a cadascun dels models, van estudiar-se els màxims índex de condició (IC) i per estudiar la autocorrelació entre els residus, a més a més de l'anàlisi gràfic abans esmentat, va calcular-se l'estadístic de Durbin-Watson (DW).

Tots els test i les gràfiques es van realitzar pels models ajustats sense incloure l'estructura del error i sobre els models amb estructura CAR(p), a més a més es va calcular l'ordre de l'estructura autoregresiva tan pels peus dominants com pels dominats, per a cadascun dels models avaluats fins que es va trobar que els residus no presentaven autocorrelació.

### 3.2.6. Validació dels models

La validació dels models va realitzar-se mitjançant una variant de la tècnica denominada validació creuada (*leave-one-out cross-validation*) o dels residus eliminats al ser una tècnica més robusta per a mostres petites que no la fragmentació de la mostra (*split-sample*) (ZHU i ROHWER, 1996; GOUTTE, 1997).

Es va utilitzar la modificació proposada per Bi (2000) o validació creuada per arbre (*leave-one-tree-out cross-validation*) al no existir independència entre les mesures dins de cadascun dels



arbres. El procés consisteix en ajustar  $n$  vegades el model (sent  $n$  el número total d'arbres) on a cada ajust s'eliminaran totes les observacions d'un dels arbres (començant per l'arbre 1 i acabant per l'arbre  $n$ ) i es calcula el valor predit pel model per les observacions que han estat eliminades.

Per avaluar la bondat de la validació creuada es va calcular l'estadístic de biaix ( $s$ ), l'error absolut mig ( $eam$ ) i l'arrel de l'error quadràtic mig ( $recm$ ), emprats a la fase d'ajust, sobre els residus obtinguts a la validació creuada.





## RESULTATS I DISCUSSIÓ



## 4. RESULTATS I DISCUSSIÓ

### 4.1. Depuració de les dades

L'anàlisi del gràfic de dispersió entre el diàmetre relatiu (diàmetre mesurat a l'altura  $h$  respecte el diàmetre normal) i l'alçada relativa (alçada  $h$  respecte a l'alçada total) pel total de la mostra (figura 5a i 5b) i per cadascun dels peus per separat va servir per a corregir errors de transcripció entre les fitxes de camp i el full de càlcul.

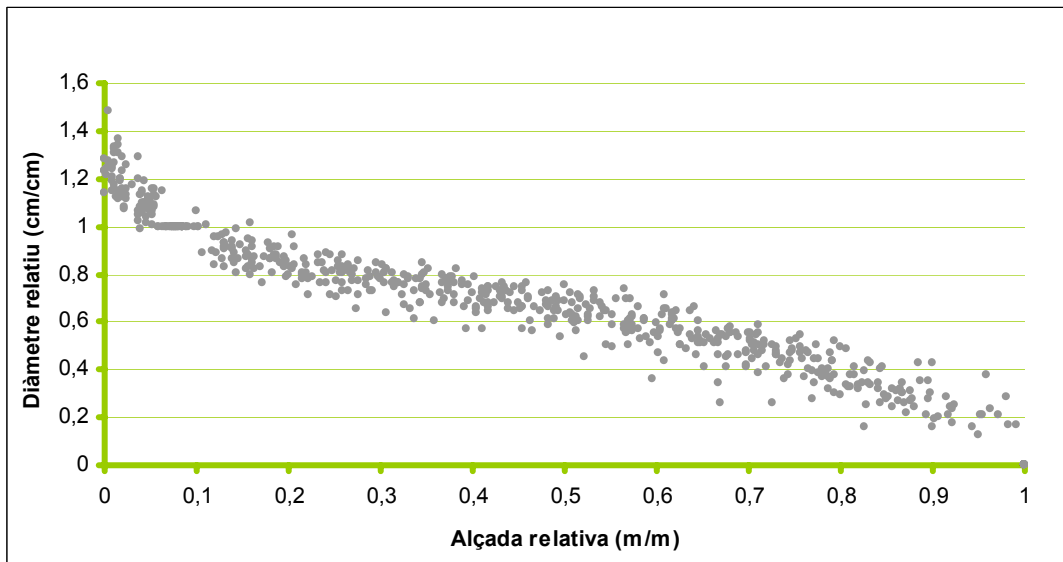


Figura 5a. Gràfic de dispersió del diàmetre relatiu en front l'alçada relativa de les dades dels peus dominants

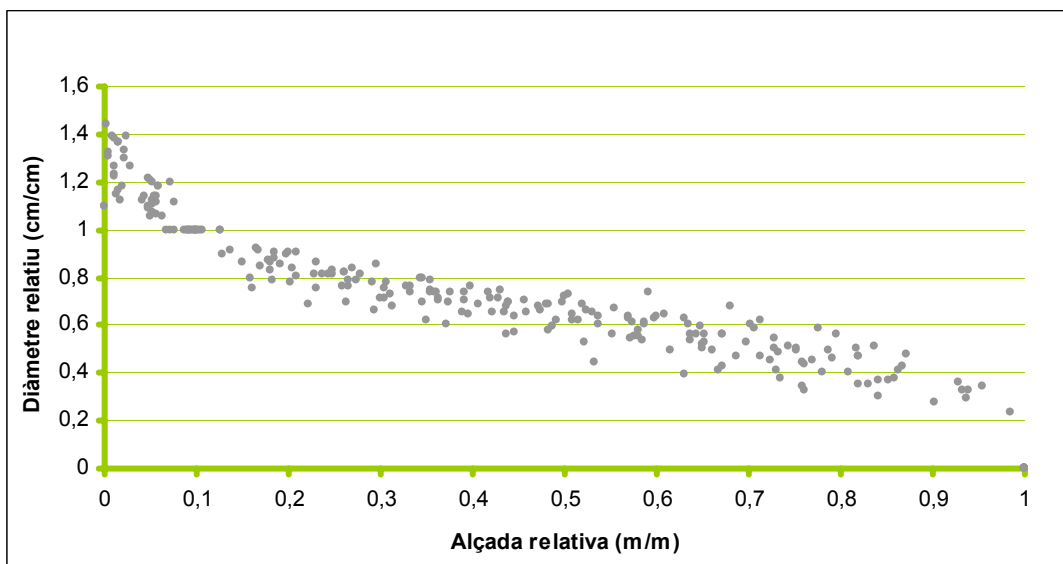


Figura 5b. Gràfic de dispersió del diàmetre relatiu en front l'alçada relativa de les dades dels peus dominants

Després es va portar a terme l'ajust local quadràtic no paramètric (LOESS) (Figures 6a 6b) i van discriminar-se les dades no incloses en el rang format per el quartil inferior menys dues vegades el rang interquartílic i el quartil superior més dos vegades el rang interquartílic, amb el següent resultat (Taula 5).



Taula 5. Resultat de la depuració de dades mitjançant LOESS

		Dominants (DT)		Dominats (do)		TOTAL	
DADES INICIALS	Número de peus	40		20		60	
	Número de dades	652		264		916	
		Vàlids	Atípics	Vàlids	Atípics	Vàlids	Atípics
DADES AJUSTADES	Número de dades	620	32	240	24	860	56
	%	95,09	4,91	90,91	9,09	93,89	6,11

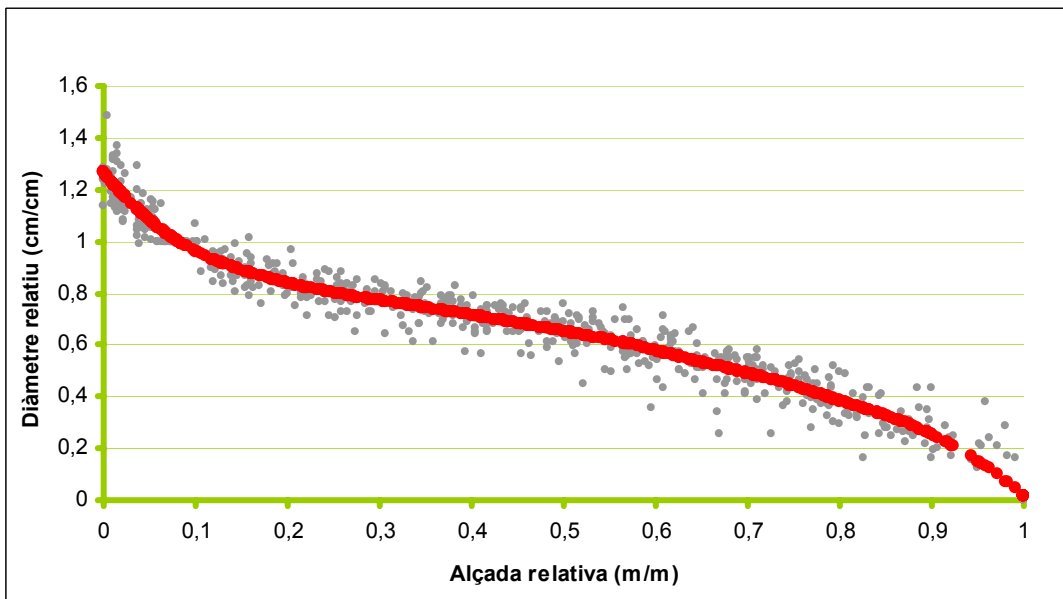


Figura 6a. Ajust local no paramètric (LOESS) de les dades del peus dominants

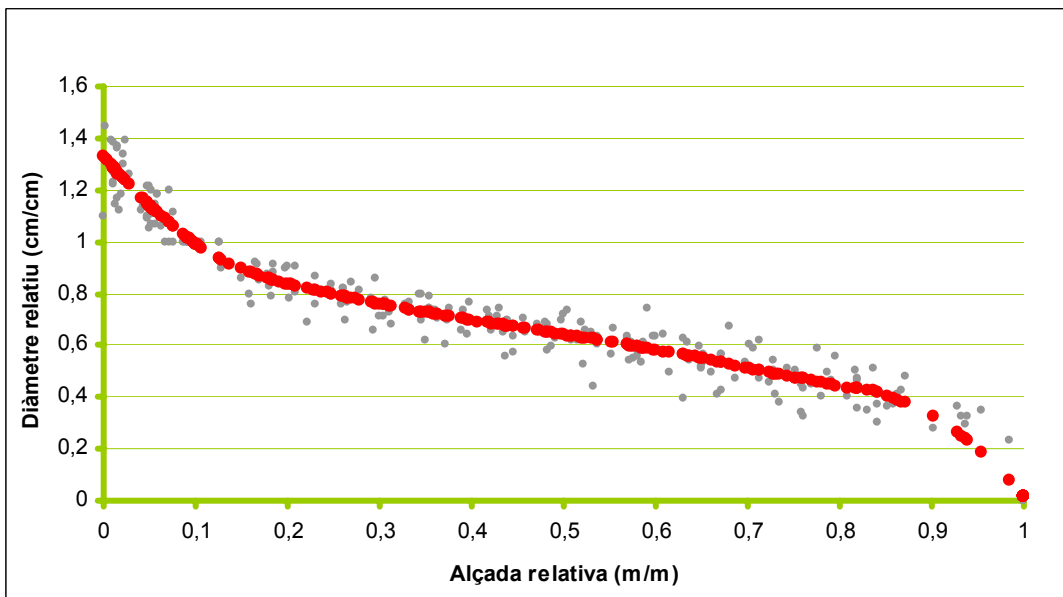


Figura 6b. Ajust local no paramètric (LOESS) de les dades del peus dominants



## 4.2. Ajust i elecció del model

Tots els paràmetres dels diferents models ajustats tant per peus dominants com per a dominats van ser significatius, amb un nivell del 95%, exceptuant el paràmetre  $b_2$  del model KOZAK, el paràmetre  $b_4$  del model MUHAIRWE pels peus dominants, els paràmetres  $a_1, a_4$  i  $a_5$  del model Bi pels peus dominants i els paràmetres  $a_1, a_4$  i  $a_6$  pels peus dominats del mateix model, i per últim el paràmetre  $b_2$  del model NEWNHAM.

Després de l'anàlisi de la matriu de correlacions dels diferents models va decidir-se no eliminar els paràmetres no significatius  $b_2$  del model KOZAK i  $b_2$  del model NEWNHAM, ja que aquests presentaven una forta correlació amb altres paràmetres dels respectius models. La resta de models amb paràmetres no significatius van reajustar-se sense els mateixos.

El resultat dels paràmetres estimats per l'ajust es presenta a la taula 6. Els estadístics avaluats apareixen a la taula 7, així com l'índex de condició (IC).

Taula 6. Paràmetres estimats per l'ajust i el seu error estàndard

Model	Paràmetres	Peus dominants		Peus dominats	
		Estimació	Error	Estimació	Error
Cervera	b0	1,017	0,004	1,016	0,007
	b1	-2,037	0,060	-2,219	0,074
	b2	5,591	0,349	5,982	0,506
	b3	-7,951	0,648	-8,303	1,045
	b4	3,567	0,371	3,863	0,650
Demaerschalk	b1	1,133	0,124	1,365	0,209
	b2	0,930	0,032	0,866	0,064
	b3	0,691	0,011	0,738	0,026
	b4	-0,630	0,044	-0,683	0,082
Kozak	b1	-0,747	0,163	-1,434	0,251
	b2	0,351	0,039	0,086	0,061
	b3	-1,414	0,401	-2,243	0,632
	b4	0,991	0,208	1,494	0,326
	b5	0,000	0,000	0,000	0,000
	a1	2,573	1,201	1,930	0,632
	a2	0,510	0,202	0,526	0,189
	a3	1,017	0,007	1,026	0,013
Muhairwe	b0	-0,04382	0,00517	-0,05381	0,0122
	b1	-6,79E-06	5,38E-07	-0,00001	1,16E-06
	b2	-4,59E-08	6,34E-09	-9,21E-08	2,40E-08
	b3	0,179001	0,00393	0,235834	0,0145
	b4	-	-	-0,10965	0,0318
	a0	1,000611	0,0499	0,882537	0,0564
	a1	0,998904	0,0149	1,045125	0,0229
	a2	-	-	-	-
Bi	a1	-	-	-	-
	a2	1,092606	0,0299	0,944296	0,0552
	a3	0,189946	0,00716	0,147507	0,0132
	a4	-	-	-	-
	a5	-	-	0,009705	0,000875
	a6	0,002487	0,0103	-	-
	a7	-0,19143	0,014	-0,2298	0,0134
	a8	-	-	-	-
Hui	a1	-0,127	0,001	-0,125	0,001
	a2	0,056	0,002	0,051	0,001
	a3	-0,068	0,001	-0,071	0,002
Newnham	b0	0,977598	0,0457	1,425443	0,0611
	b1	-0,81752	0,0972	-1,38494	0,113
	b2	-0,04628	0,0117	-0,30693	0,0376
	b3	0,000236	0,000195	0,00039	0,000
	b4	-0,03511	0,00257	-0,02849	0,004
	b5	0,000123	0,000012	0,000225	0,000046



Taula 7. Estadístics per avaluar la bondat de l'ajust dels models

		Adj R-square	IC	Biaix	eam	recm	AIC	BIC
Dominants	CERVERA	0,9632	213,63	-0,00360138	1,16286745	1,52806794	503,846897	523,662037
	DEMAERSCHALK	0,9213	67,15	-0,01158679	1,69469784	2,23939004	945,09572	960,651931
	KOZAC	0,9626	547,91	-0,00246134	1,16448789	1,53922243	518,28036	551,187033
	MUHAIRWE	0,9769	50,23	0,01994474	0,83165771	1,21649613	241,34522	265,523389
	BI	0,9559	40,34	0,25894518	1,2302205	1,67726196	609,907123	625,359235
	HUI	0,9083	3,17	-0,04005455	1,84349374	2,41075436	1028,72641	1039,8155
	NEWNHAM	0,9578	15,16	0,08160188	1,2343225	1,63644975	585,340743	609,518912
Dominats	CERVERA	0,9649	167,44	-0,00181817	0,64999033	0,85176851	-58,5967255	-43,6285877
	DEMAERSCHALK	0,872	58,52	0,07577204	1,24886907	1,6261476	223,937723	235,512233
	KOZAC	0,965	269,75	-0,00876215	0,64504115	0,85044323	-52,263415	-15,4970637
	MUHAIRWE	0,972	40,34	0,00151261	0,50596613	0,76057683	-104,409681	-82,6542883
	BI	0,9607	26,62	0,09607462	0,64489743	0,90074344	-36,0058235	-24,4313133
	HUI	0,9458	3,34	-0,01780076	0,81766557	1,05807794	32,8340746	55,3730434
	NEWNHAM	0,9701	14,73	0,04973863	0,57487957	0,78646373	-91,7007792	-73,3390139

La diagnosi es va portar a terme analitzant gràficament els residus dels ajusts dels models respecte els valors predits. A la figura 7 es presenten les diferents combinacions entre els models estudiats i els peus dominants i dominants.

A partir de l'anàlisi d'aquestes gràfiques s'observa que, mentre el comportament dels residus per un mateix model entre els peus dominants i dominants és molt semblant, el comportament difereix força entre els diferents models. Així doncs mentre que els models CERVERA (1973), KOZAK (1988), BI (2000) i NEWNWAM (1992) es comporten correctament, la distribució dels residus en els models DEMAERSCHALK (1972), MUHAIRWE (1999) i HUI (1997) presenta una distribució sistemàtica i no uniforme, de tal manera que per exemple el model HUI (1997) tendeix a sobreestimar els diàmetres baixos i alts mentre infraestima els diàmetres mitjos.

De l'anàlisi dels estadístics calculats (Taula 7) s'observa que el coeficient de determinació ( $R^2_{adj}$ ) dels diferents models és en general força alt, obtenint-se els valors majors en els models MUHAIRWE pels peus dominants i NEWNWAM pels peus dominants. Pel que respecta a la colinearitat els models presenten índex de condició molt variables, alguns acceptablement baixos (menors a 30) (RODRÍGUEZ,2005) com HUI i NEWNWAM, d'altres amb índex lleugerament elevats BI, MUHAIRWE i DEMAERSCHALK (entre 30 i 60) i per últim models amb una alta colinearitat com són CERVERA i KOZAK.

Tots els models presenten un biaix molt baix (entre -0,001 i 0,2), sent HUI el menys esbiaixat. Pel que respecta al eam (error absolut mig) i l'arrel de l'error quadràtic mig (recm) el model que presenta valors menors per dominants és MUHAIRWE seguit per KOZAK i NEWNWAM, pel que respecta a peus dominants NEWNWAM és el que millors resultats té.

En quant als criteris de selecció AIC i BIC cal esmentar que no presenten diferències substancials entre ells, obtenint-se els millors resultats per peus dominants i dominants en el model MUHAIRWE.

Sembla ser que existeix una clara correlació entre els estadístics de precisió i els criteris de selecció, ja que els models que presenten estadístics de precisió millors, presenten a la vegada millors criteris de selecció (VANCLAY, 1994)

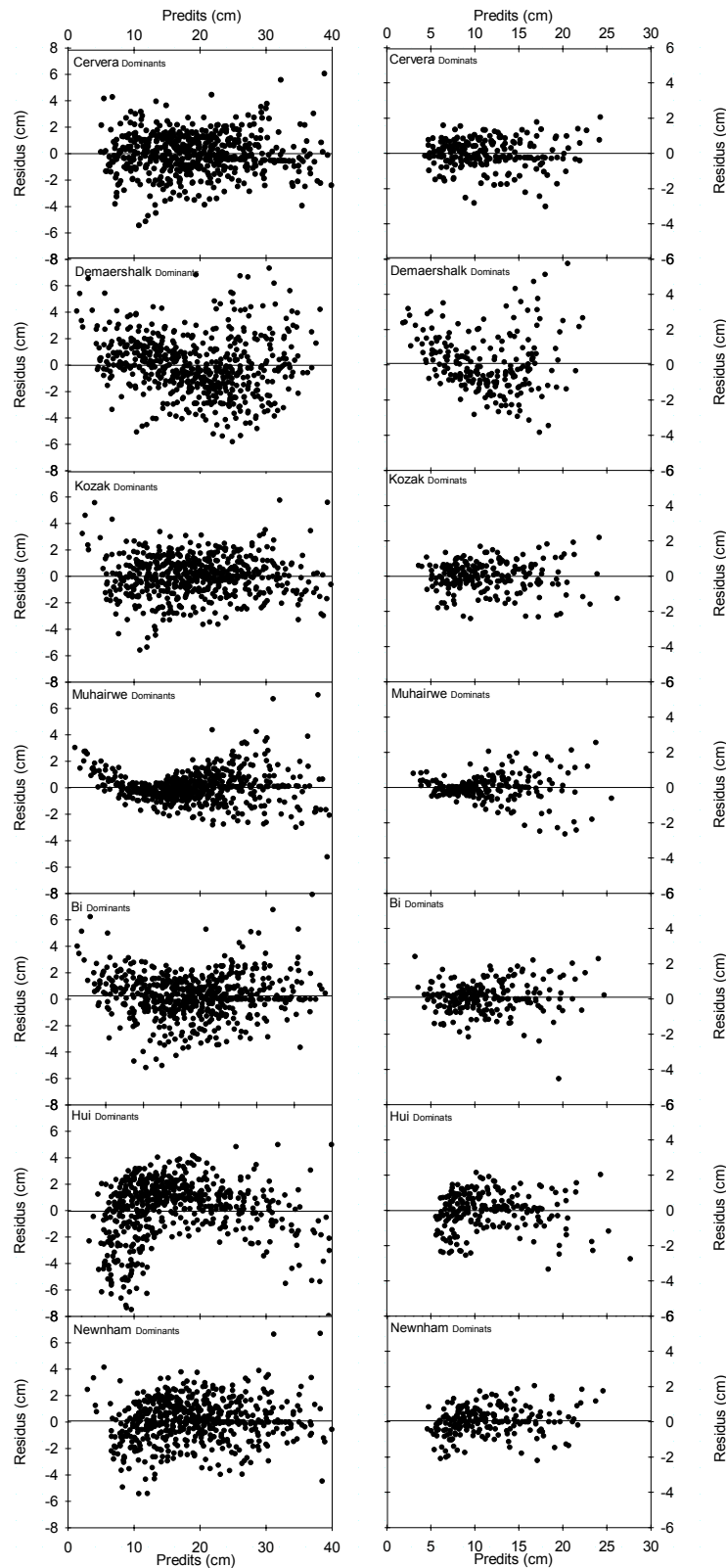


Figura 7 Gràfic de residus dels models de perfil ajustats per peus dominants i dominats

Per tal de facilitar l'anàlisi dels estadístics dels diferents models tant per peus dominants com dominats, es van valorar de 1 a 7, en funció a la seva situació respecte els demés estadístics, així doncs el model amb una  $R^2_{adj}$  major tindrà un 1 i aquell amb la menor un 7 (Taula 8). Després aquests valors es van sumar de manera ponderada, donant el mateix per a Adj



R-square, per el IC, pel Biaix, per la suma de eam i recm, i per la suma de AIC i BIC, ja que tan el error absolut mig (eam) i l'arrel de l'error quadràtic mig (recm) com per un altre costat el criteri d'informació de Aikaike (AIC) i el criteri d'informació Bayesana (BIC) donen una informació molt semblant i atorgar-los el mateix pes que a la resta de criteris esbiaixaria el resultat de la suma.

Taula 8. Classificació dels diferents models segons els estadístics de l'ajust en diàmetre

		Adj R-square	IC	Biaix	eam	recm	AIC	BIC	TOTAL	Classificació
Dominants	CERVERA	2	6	3	2	2	2	2	15	2on
	DEMAERSCHALK	6	5	2	6	6	6	6	25	7e
	KOZAC	3	7	4	3	3	3	3	20	3er
	MUHAIRWE	1	4	5	1	1	1	1	12	1er
	BI	5	3	7	4	5	5	5	24,5	6e
	HUI	7	1	1	7	7	7	7	23	5e
	NEWNHAM	4	2	6	5	4	4	4	20,5	4art
Dominats	CERVERA	4	6	3	5	4	3	3	20,5	5e
	DEMAERSCHALK	7	5	6	7	7	7	7	32	7e
	KOZAC	3	7	2	4	3	4	5	20	4art
	MUHAIRWE	1	4	4	1	1	1	1	11	1er
	BI	5	3	7	3	5	5	4	23,5	6e
	HUI	6	1	1	6	6	6	6	20	3er
	NEWNHAM	2	2	5	2	2	2	2	13	2on

Segons aquesta classificació, i valorant els resultats obtinguts pels estadístics, el model amb un millor comportament tant en peus dominants i dominats és el MUHAIRWE seguit de CERVERA i NEWNHAM (per peus dominants i dominats respectivament).

Per tal d'estudiar l'autocorrelació, a la taula 9 es presenta l'estadístic Durbin-Watson, per les diferents estructures de l'error CAR (1) i CAR (2), i per la mostra sense considerar l'estructura continua autorregressiva de l'error (CAR (0)).

Sense considerar l'estructura continua autorregressiva de l'error, CAR(0), observem que tots els models menys DEMAERSCHALK (tant en dominants com dominats), BI en dominats i HUI en dominants, presenten valors de DW propers a 2 (valor amb autocorrelació nula). En el cas de considerar CAR(1) o CAR(2) el model que presenta valors més allunyats de 2 és MUHAIRWE.

Taula 9. Estadístic DW per estructures autorregressives del error per a diferents ordres.

Model	CAR (0)		CAR (1)		CAR (2)	
	Dominants	Dominats	Dominants	Dominats	Dominants	Dominats
Cervera	2,1407	2,0251	2,098	2,0234	2,2085	1,9655
Demaerschalk	0,9368	0,6016	2,2759	2,7694	2,2186	2,1512
Kozak	2,0723	2,3068	2,1277	2,3169	2,1469	2,2739
Muhairwe	2,0124	2,1952	2,8577	3,0566	2,6035	2,4538
Bi	2,038	1,7693	2,0326	1,8409	2,0408	1,8891
Hui	1,5702	2,2822	2,2266	2,2639	2,0977	2,2701
Newnham	2,0017	1,9175	1,9865	1,9748	2,0649	1,9679

A les figures 9a i 9b es mostren els gràfics d'autocorrelació obtinguts després dels ajustos CAR de diferent ordre per als 7 models analitzats tant per peus dominants com per dominats. Aquestes gràfiques representen l'autocorrelació estimada entre els diàmetres predits per cadascun dels models a diferents retards, entenent per retard la distància, en termes de nombre de dades, que separen dues mesures. En aquestes gràfiques també apareixen els límits de probabilitat amb un nivell de significació del 95% d'existència d'autocorrelació. Així doncs si els



límits de probabilitat per un retard en particular no contenen el coeficient estimat, hi ha una correlació estadísticament significativa en aquell retard al 95% de nivell de confiança.

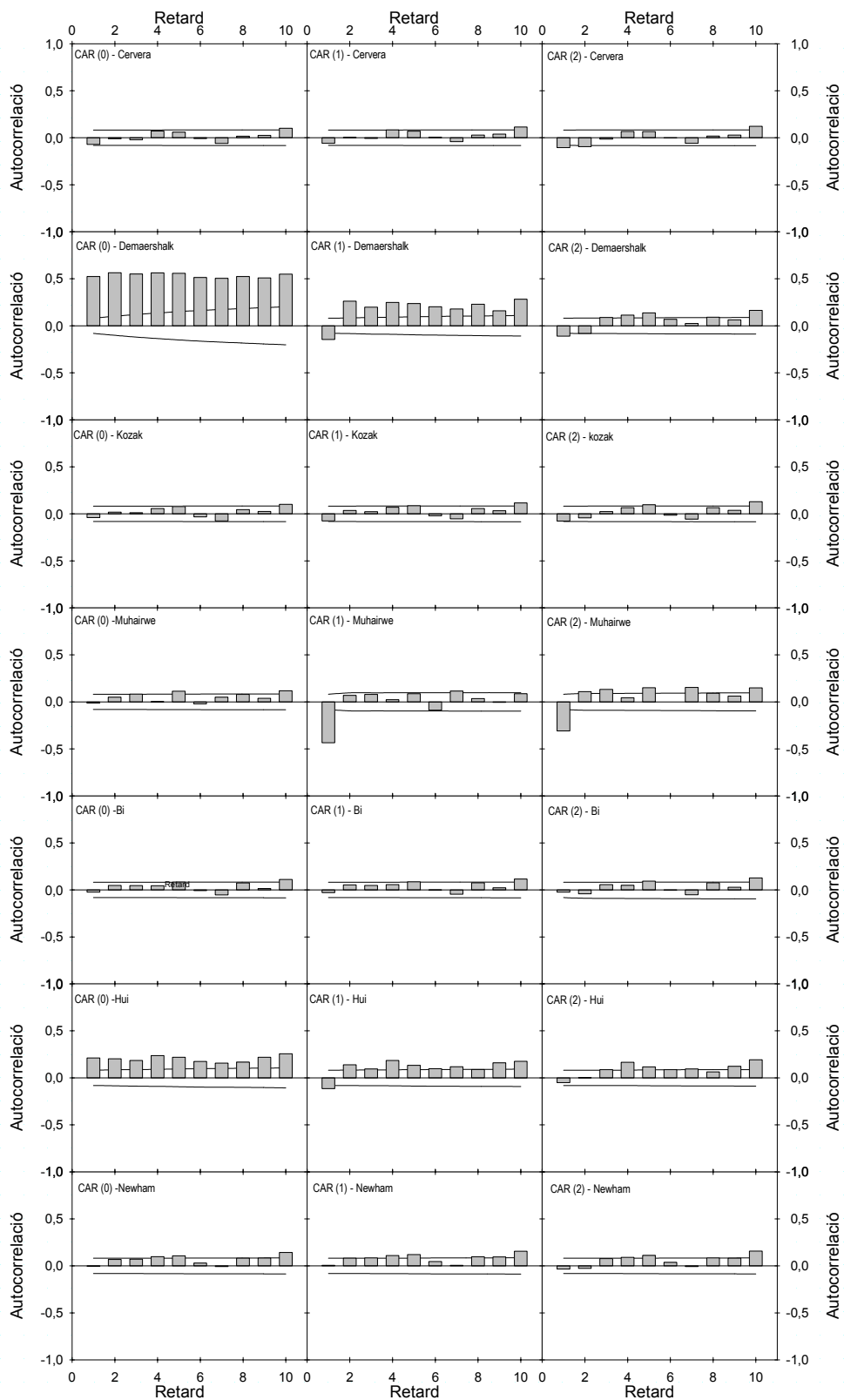


Figura 8a. Gràfics de autocorrelació dels set moldes ajustats per a peus dominants en funció de l'ordre de l'estructura continua autorregressiva



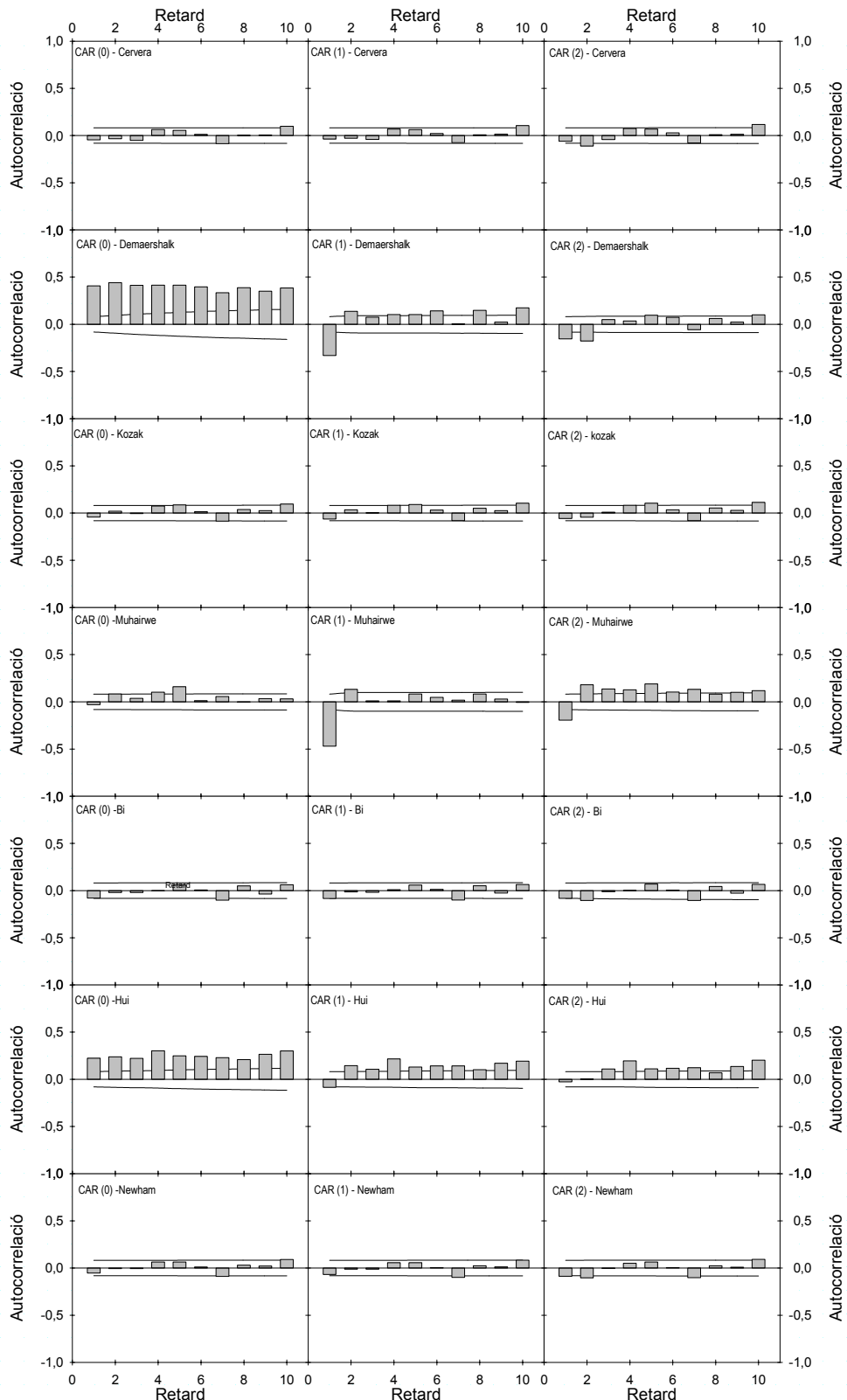


Figura 8b. Gràfics de autocorrelació dels set moldes ajustats per a peus dominats en funció de l'ordre de l'estructura continua autorregressiva.

De les gràfiques i la taula anterior, s'observa que en la majoria de models no existeix autocorrelació dels residus, i que en aquells casos que aquesta es dona, una estructura del error continua autorregressiva d'ordre 2 aconsegueix corregir-la.



### 4.3. Validació del model

La validació creuada dels set models es va realitzar amb el mètode (*leave-one-tree-out crossvalidation*). A la taula 10 es mostren els estadístics de biaix, eam i recm després de la validació en diàmetre. Els resultats són molt similars als obtinguts a la fase d'ajust.

Taula 10. Estadístics per avaluar la bondat la validació creuada dels models

		Biaix	eam	recm
<b>Dominants</b>	CERVERA	-0,0036	1,1628	1,528
	DEMAERSCHALK	0,08582	1,6792	2,2366
	KOZAC	0,0031	1,1646	1,5392
	MUHAIRWE	0,02394	0,828	1,2164
	BI	0,2735	1,2274	1,6748
	HUI	-0,02492	1,8469	2,4105
	NEWMHAN	0,03986	1,2264	1,634
<b>Dominats</b>	CERVERA	-0,00181	0,6499	0,8517
	DEMAERSCHALK	0,07486	1,2497	1,6261
	KOZAC	-0,0033	0,6453	0,8425
	MUHAIRWE	0,0011	0,5059	0,7605
	BI	0,1122	0,6445	0,9
	HUI	0,0574	1,2539	1,6059
	NEWMHAN	0,04705	0,5756	0,7856

Seguint els mateixos criteris que a la fase d'ajust s'ha elaborat la taula 11 on es classifiquen els resultats obtinguts als estadístics però aquest cop per la validació creuada. El model MUHAIRWE és el que millor comportament presenta però sense presentar diferències molt accentuades sobre altres models amb un bon comportament com NEWMWAM, CERVERA i KOZAK tant per peus dominants com a dominats.

Taula 11. Classificació dels diferents models segons els estadístics de la validació en diàmetre

		Biaix	eam	recm	TOTAL	Classificació
<b>Dominants</b>	CERVERA	2	2	2	4	1er
	DEMAERSCHALK	6	6	6	12	7e
	KOZAC	3	3	3	6	3er
	MUHAIRWE	4	1	1	5	2on
	BI	7	5	5	12	6e
	HUI	1	7	7	8	4art
	NEWMHAN	5	4	4	9	5e
<b>Dominats</b>	CERVERA	2	5	4	6,5	4art
	DEMAERSCHALK	6	6	7	12,5	7e
	KOZAC	1	3	3	4	2on
	MUHAIRWE	3	1	1	4	1er
	BI	7	4	5	11,5	5e
	HUI	5	7	6	11,5	6e
	NEWMHAN	4	2	2	6	3er

Dels models analitzats, encara que els millors resultats dels estadístics s'obtenen en el model MUHAIRWE, aquest juntament amb DEMAERSCHALK i HUI és desestimem ja que el seus gràfics de residus presenten un comportament sistemàtic i no uniforme. Dels models restants CERVERA i KOZAK es presenten com els següents amb millors resultats, tot i que són els models amb la colinealitat (IC) més alta per aquest fet també es desestimem.



Dels demés models es selecciona el model de perfil de tronc de NEWNWAM (ja que presenta millors resultats que el Bi) sent un model força equilibrat amb una colinealitat molt baixa, un bon ajust i una bona validació creuada en diàmetre. En aquest model els residus no presenten autocorrelació, per la qual cosa no cal aplicar cap tipus d'estructura del error del tipus continua autorregresiva.

#### 4.4. Comparació del perfil de tronc entre peus dominants i dominants

Després de comparar els perfils de tronc de *Pinus sylvestris* utilitzant el model de NEWNWAM (model escollit en el projecte com aquell que millor s'ajusta al perfil del tronc de *Pinus sylvestris* al Castell de Montesquiu) entre peus dominants i dominats (Figura 9 i Figura 10) podem concloure que el perfil d'ambdós tipus de peus es força semblant al llarg del tronc fins que el diàmetre relatiu pren valors pròxims a 0,6 (equival a una alçada relativa de 0,5 o el que és el mateix, la meitat del tronc) on els peus dominants presenten valors de diàmetre relatiu majors que els peus dominants, provocant així que els peus dominants adoptin una forma més cilíndrica, que els peus dominants (Figura 11).

Una possible interpretació silvícola d'aquest resultat és el fet que els peus dominants presenten una copa que ocupa més superfície del tronc (un promig del 27,7% de l'alçada) que els peus dominats (un promig del 20,41% de l'alçada) i sembla ser que hi ha una estreta relació entre el perfil i el desenvolupament de la copa (LARSON, 1963; LAASASENAHO, 1982; BURKHART i BURTON, 1985; VALENTI i CAO, 1986; MUHAIRWE *et al.*, 1994).

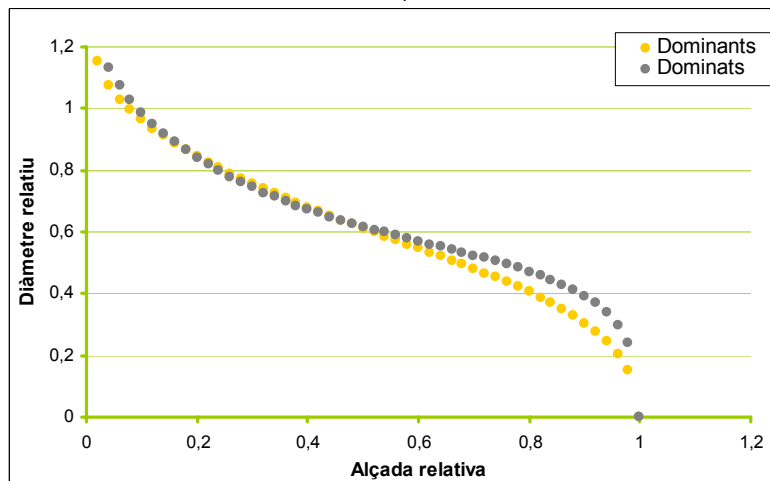


Figura 9. Perfils relatius del tronc de peus dominants i dominats de *Pinus sylvestris*

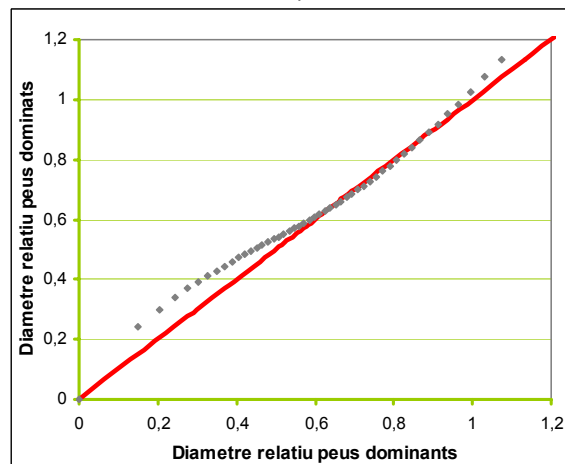


Figura 10. Diàmetres relatius per peus dominants i dominants per una mateixa alçada relativa

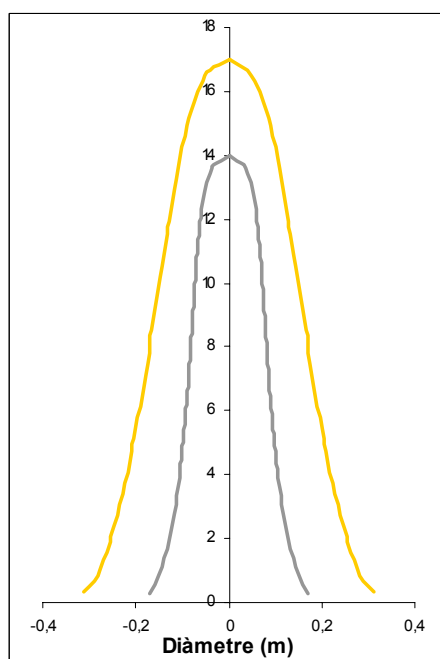


Figura 11. Perfil del tronc de peus dominants i dominats de *Pinus sylvestris*

#### 4.5. Comparació del model de perfil de tronc obtingut per *Pinus sylvestris* al Parc Comarcal del Castell de Montesquiú amb altres models per la mateixa espècie a la Península Ibèrica.

De les poques referències actuals a funcions de perfil de tronc ajustades per *Pinus sylvestris* a la Península Ibèrica cal destacar el treball portat a terme per Novo *et al.* (2003) investigadors del Departament de Enxeñeria Agroforestal de l'Escola Politècnica Superior de Lugo que van ajustar 21 funcions de perfil a una mostra de 1694 dades de diàmetres mesurats a diferents alçades a 163 arbres tipus de *Pinus sylvestris* de diferents edats i qualitats d'estació procedents de Galícia amb les característiques de la Taula 12.

Taula 12. Característiques del arbres tipus emprats per l'ajust de les funcions a Galícia, Novo *et al.* (2003)

Variable	Submostra per l'ajust (n=163)			
	Promig	Desviació típica	Màxim	Mínim
Diàmetre (cm)	23,34	5,96	36,50	6,60
Alçada (m)	11,03	3,92	20,30	3,20
Diàmetre/Alçada	2,22	0,39	3,17	1,40
Volum amb escorça (dm <sup>3</sup> )	272,83	192,93	805,81	15,42
Volum sense escorça (dm <sup>3</sup> )	236,54	173,66	726,05	13,08
Edad (anys)	34,04	8,96	48,00	10,00

El model de perfil que millor es va ajustar als perfils dels peus de *Pinus sylvestris* de Galícia va ser el de RIEMER *et al.* (1995) que té la següent formulació:

$$d = \frac{a_1 \cdot D}{1 - e^{a_3 \cdot (l,3-H)}} + \left( \frac{D}{2} - a_1 \cdot D \right) \cdot \left[ 1 - \frac{l}{1 - e^{a_2 \cdot (l,3-H)}} \right] + e^{-a_2 \cdot h} \cdot \left[ \frac{\left( \frac{D}{2} - a_1 \cdot D \right) \cdot e^{l,3-a_2}}{1 - e^{a_2 \cdot (l,3-H)}} \right] - e^{a_3 \cdot h} \cdot \left[ \frac{a_1 \cdot D \cdot e^{-a_3 \cdot H}}{1 - e^{a_3 \cdot (l,3-H)}} \right]$$



On els paràmetres ajustats prenen els següents valors:

$$a_1: 0,4621$$

$$a_2: 0,9268$$

$$a_3: 0,0818$$

Després de comparar el model de NEWHAM ajustat per les dades de peus dominats i dominants de *Pinus sylvestris* al Castell Comarcal del Castell de Montesquiú i el model de RIEMER *et al.* ajustat a les dades de la mateixa espècie per Galícia (Figura 12, Figura 13 i Figura 14) podem concloure que els dos models són molt semblants menys en la part apical del tronc on el model de RIEMER *et al.* per Galícia presenta una forma molt més cònica que el model de NEWHAM pel Castell de Montesquiú.

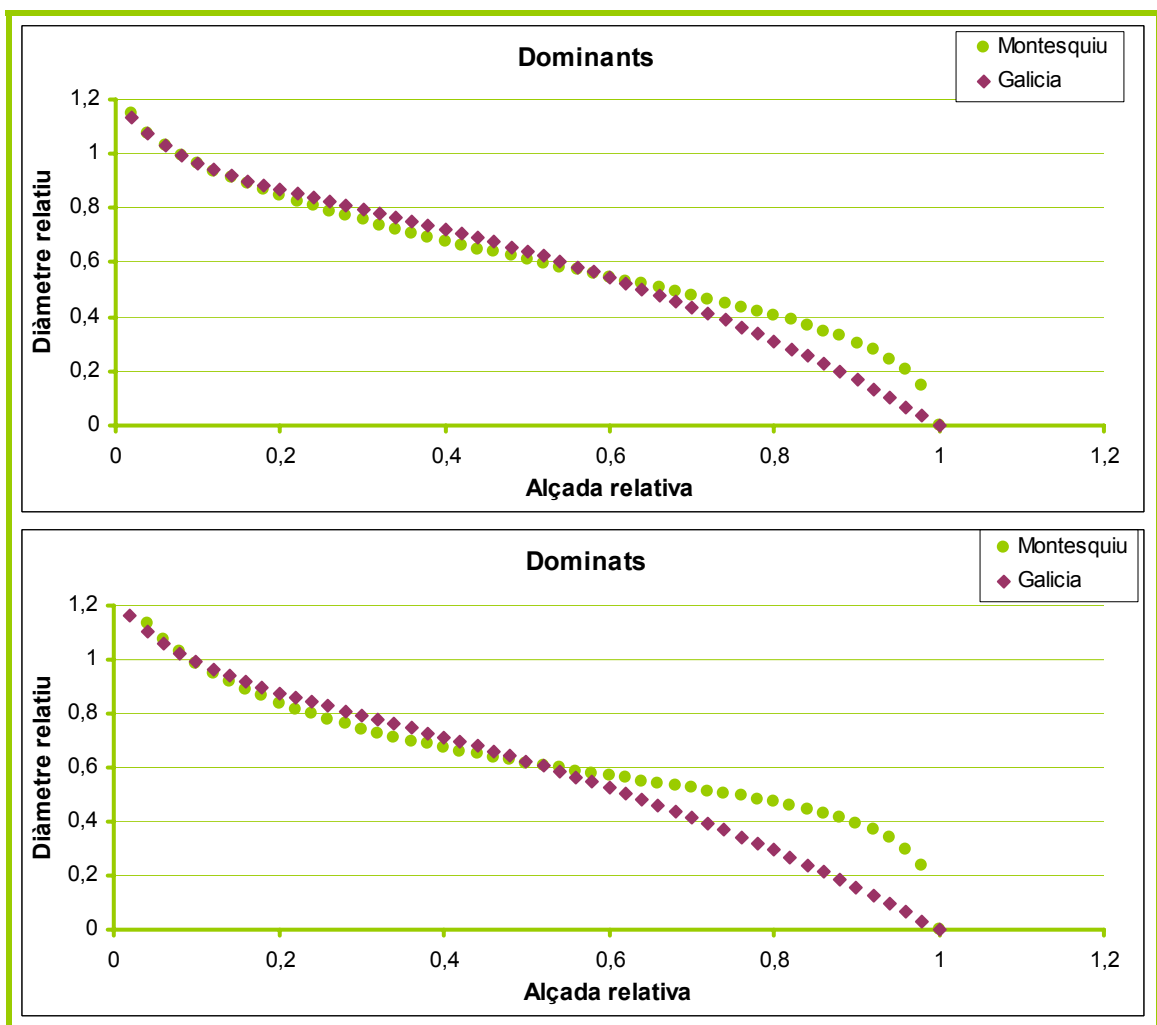


Figura 12. Comparativa entre el perfils relatius del tronc de *Pinus sylvestris* del Castell de Montesquiú i Galícia per peus dominants i dominats

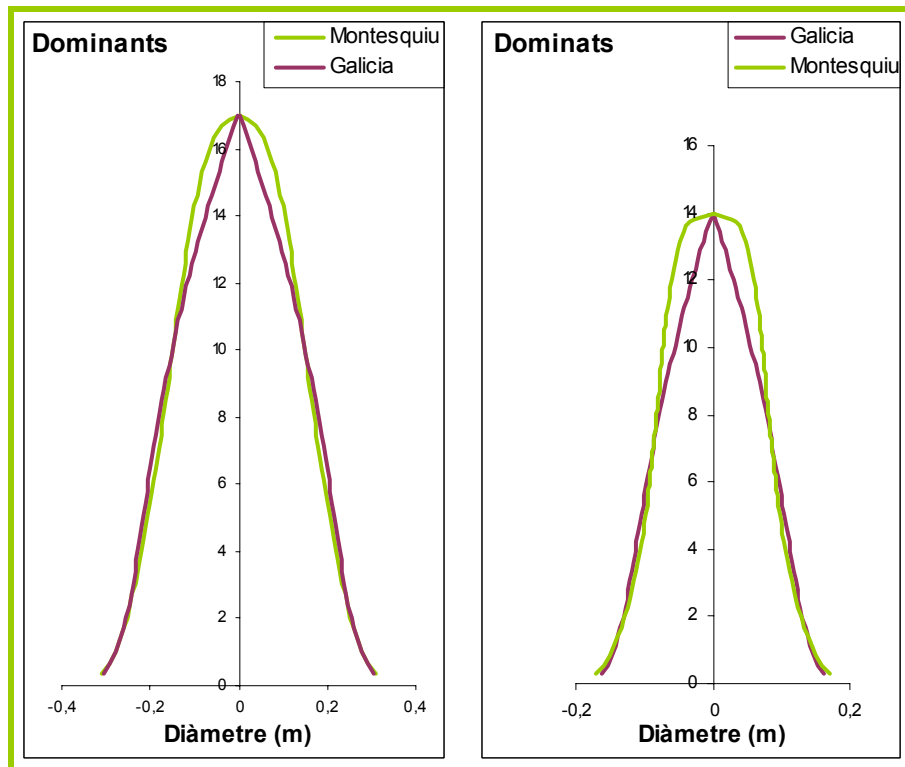


Figura 13. Comparativa entre el perfils del tronc de *Pinus sylvestris* del Castell de Montesquiú i Galícia per peus dominants i dominats

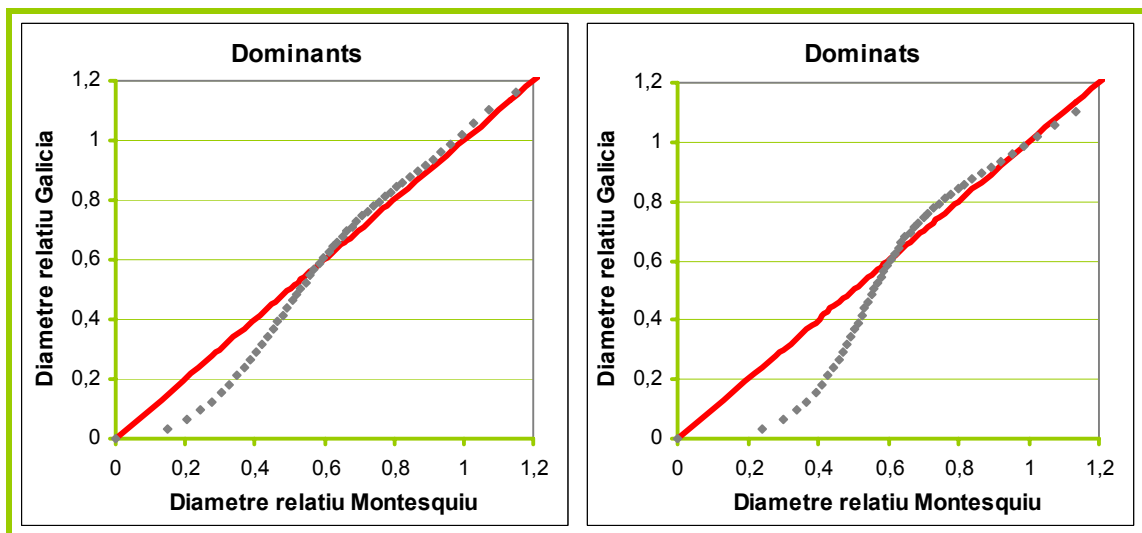


Figura 14. Comparativa entre Diàmetres relatius de *Pinus sylvestris* del Castell de Montesquiú i Galícia per peus dominants i dominats per una mateixa alçada relativa



## CONCLUSIONS



## 5. CONCLUSIONS

- De les funcions de perfil de tronc analitzades per peus de *Pinus sylvestris* al Parc Comarcal del Castell de Montesquiú (Ripollès) s'escull el model de NEWNHAM (1992) amb la següent formulació:

Per peus dominants:

$$d = D \cdot \left( \frac{H-h}{H-1,3} \right)^{e^{-\left( 0,977598 - 0,81752 \cdot \left( \frac{H-h}{H-1,3} \right) - 0,04628 \cdot \left( \frac{D}{H} \right)^2 + 0,000236 \cdot \left( \frac{H-h}{H-1,3} \right)^2 \cdot \frac{D}{H} - 0,03511 \cdot \frac{H}{\sqrt{h}} + 0,000123 \cdot \frac{D \cdot H}{h} \right)}$$

Per peus dominats:

$$d = D \cdot \left( \frac{H-h}{H-1,3} \right)^{e^{-\left( 1,425443 - 1,38494 \cdot \left( \frac{H-h}{H-1,3} \right) - 0,30693 \cdot \left( \frac{D}{H} \right)^2 + 0,00039 \cdot \left( \frac{H-h}{H-1,3} \right)^2 \cdot \frac{D}{H} - 0,02849 \cdot \frac{H}{\sqrt{h}} + 0,000225 \cdot \frac{D \cdot H}{h} \right)}$$

- Els troncs de peus dominats de *Pinus sylvestris* al Parc Comarcal del Castell de Montesquiú presenten una forma més cilíndrica que els peus dominants
- El perfil del troncs de *Pinus sylvestris* a Galícia ajustats amb el model de RIEMER *et al.* (1995) presenta una forma més cònica que el perfil del tronc per la mateixa espècie ajustats amb el model de NEWNHAM (1992) pel Castell de Montesquiú.















Taula 14. Fitxa de caracterització dasomètrica de les parcel·les d'inventari

**FITXA DE CARACTERITZACIÓ DASOMÈTRICA**

**1. Identificació de la parcel·la:**

Número de parcel·la:                      Coordenades UTM      X:                      Y:

Data:    Hora inici:    Hora finalització:

**2. Fisiografia de la parcel·la:**

Exposició:                      Pendent:    Descripció silvícola:

**3. Dasometria:**

Espècie	Diàmetre (mm)		Espècie	Diàmetre (mm)		Espècie	Diàmetre (mm)	

- Número de parcel·la:** El mateix que a la selecció de parcel·les
- Coordenades UTM:** Del centre de la parcel·la
- Data, Hora inici i Hora Finalització** de l'inventari dasomètric de cadascuna de les parcel·les
- Exposició i pendent:** Característiques fisiogràfiques de la parcel·la.
- Descripció silvícola** de la parcel·la
- Espècie**
- Diàmetre:** Dues mesures perpendiculars del diàmetre a 1,30 m d'alçada



Taula 15. Fitxa de caracterització dendromètrica dels peus abatuts.

<b>FITXA DENDROMÈTRICA</b>				
<b>1. Identificació de la parcel·la:</b>				
<b>2. Mesura d'arbres en peu:</b>				
CODI ARBRE	Diàmetres (mm)	Tipus (D, Abm, dbarr o dtall)	Alçada total (m)	Alçada de copa (m)
<b>3. Mesura d'arbres abatuts:</b>				
CODI ARBRE	Tipus (D o d)	Codi Trossa	Distància relativa (m)	Diàmetre (cm)

**Identificació de la parcel·la:** Número de la parcel·la

Mesures dels arbres en peu:

**Codi Arbre:** Número d'identificació de l'arbre

**Diàmetre:** Dues mesures perpendiculars del diàmetre a 1,30 m d'alçada

**Tipus:** Dominants (*D*), Peu amb el diàmetre mig quadràtic (*Abm*), Dominat a barrinar (*dbarr*) i dominat a tallar (*dtall*).

**Alçada total de l'arbre**

**Alçada de copa:** Distància des del terra fins la primera branca viva de l'arbre.

Mesures dels arbres abatuts:

**Codi Arbre:** Número d'identificació de l'arbre

**Tipus:** Dominant (*D*) o Dominat (*d*)

**Codi de trossa:** Identificació de cadascuna de les trosses de l'arbre

**Distància relativa:** Longitud des de la part més basal de la trossa fins al punt on es mesura el diàmetre



## ANNEX 2. DADES DE L'INVENTARI EL PTGMF DEL CASTELL DE MONTESQUIU

Taula 16. Dades de l'inventari del PTGMF del Castell de Montesquiu.

Rodals	Sup (ha)	AB (m <sup>2</sup> /ha)	Densitat (peus/ha)	Estructura	Espècies principals	Densitat (peus/ha)	(%)	Edat (anys)	AB (m <sup>2</sup> /ha)	(%)	Dmitja (cm)	Hmitja (m)	Ho (m)
Ib1	1,79	14,65	940	BI	Rm	477	51	-	8,05	55	14	9,10	11,70
					Pr	199	21	40	4,14	28	16	12,60	14,10
Ib2	17,84	26,21	892	MULTI	Rm	511	57	-	11,28	43	16	9,60	12,70
					Pr	239	27	50	12,80	49	24	15,00	18,90
Ic1	2,73	32,45	708	BI	Pr	541	77	50	29,42	91	25	16,20	19,00
					Rm	151	21	-	2,91	9	15	9,60	10,40
Ic2	16,29	17,47	752	MULTI	Rm	495	66	-	8,70	50	14	9,00	12,10
					Pr	239	32	45	8,57	49	20	14,30	17,40
Ic3	2,03	57,50	2268	MONO	Pr	2220	98	45	55,78	97	17	13,10	18,10
Ic4	2,71	25,73	1091	MONO	Rm	653	60	-	9,92	39	13	8,50	12,30
					Pr	438	40	45	15,81	61	20	14,30	18,10
IIa1	12,32	10,27	423	MULTI	Pr	151	36	50	5,78	56	22	11,00	11,70
					Rm	88	21	-	1,27	12	13	7,80	8,40
					BI	80	19	-	1,91	19	17	7,70	-
					An	72	17	-	1,06	10	13	6,50	-
IIb2					NO Pr								
IIc1	8,18	17,70	868	MULTI	Pr	199	23	50	8,58	48	21	10,50	12,50
					An	203	23	-	1,98	11	11	5,80	6,00
					Ab	159	18	-	2,14	12	12	6,10	7,10
					Ffg	123	14	-	1,72	10	3	-	-
IIe1					NO Pr								
IIe2	9,47	27,04	871	MULTI	Pr	521	60	50	18,41	68	20	10,20	12,80
					Rm	290	33	-	7,58	28	17	9,10	11,80
IIf	51,45	23,42	1055	MULTI	Pr	623	59	40	15,35	66	16	9,30	12,50
					Rm	338	32	-	6,99	30	15	8,60	10,80
IIg	21,62	32,77	1233	MULTI	Pr	517	42	60	18,52	57	21	10,80	11,80
					BI	358	29	-	8,11	25	16	7,40	9,50
					M	159	13	-	1,75	5	12	-	-
					An	127	10	-	2,27	7	15	7,10	7,60
IIIa1	4,12	20,34	860	MULTI	Pr	645	75	30	16,92	83	17	8,10	10,00
					AI	119	13	-	1,67	8	13	-	-
					Rm	88	10	-	1,69	8	15	7,80	7,80
IIIa2	6,60	20,41	955	MULTI	Rm	565	59	-	9,63	47	14	7,20	9,80
					AI	215	23	-	3,55	17	14	-	-
					Pr	175	18	30	7,23	35	22	8,90	9,50
IVa	8,27	15,05	825	MULTI	Rm	478	57	-	6,72	45	13	7,70	9,30
					Pr	283	34	40	7,73	51	18	11,00	13,10
IVb1					NO Pr								
IVb2	2,85	21,20	788	BI	Pr	605	77	40	17,56	83	18	11,10	13,40
					Rm	183	23	-	3,64	17	15	8,40	9,30
IVc	10,77	29,88	900	BI	Pr	692	77	60	27,27	91	21,56	12,10	13,20
					Rm	92	10	-	1,03	3	12	7,00	7,00
					Ab	88	10	-	1,20	4	13	7,00	7,00
IVd	25,63	20,08	962	MULTI	Pr	509	46	55	14,59	73	21	11,70	13,30
					Rm	164	20	-	2,24	11	13	8,00	8,50
					Ab	114	13	-	1,21	6	11	7,10	7,40
IVe	5,88	6,63	342	BI	Pr	80	23	-	3,25	49	22	12,10	12,10
					An	167	49	-	1,97	30	12	7,20	7,80
					Rm	95	28	-	1,41	21	13	7,90	7,90
Va2					NO Pr								
Va3					NO Pr								
Vb1	2,03	26,92	1003	MULTI	Rm	621	62	-	10,55	39	14	6,40	7,50
					Pr	326	32	65	15,78	59	24	11,20	12,40





Rodals	Sup (ha)	AB (m <sup>2</sup> /ha)	Densitat (peus/ha)	Estructura	Espècies principals	Densitat (peus/ha)	(%)	Edat (anys)	AB (m <sup>2</sup> /ha)	(%)	Dmitja (cm)	Hmitja (m)	Ho (m)
Vla2	3,93	29,14	876	BI	Pr	844	96	45	28,66	98	20	12,90	14,70
Vlb1	8,93	26,79	1090	MULTI	Rm	764	70	-	15,23	57	15	8,60	10,90
					Pr	310	28	40	11,44	43	20	12,80	13,60
Vlb2	4,51	28,34	445	MULTI	Pr	127	28	70	12,36	44	34	14,90	15,50
					Rm	167	37	-	10,30	36	25	10,70	13,80
					Ab	111	25	-	3,34	12	18	-	-
Vlb3					NO Pr								
VIIa1					NO Pr								
VIIa2					NO Pr								
VIIa3					NO Pr								
VIIc1	35,56	23,68	1095	MULTI	Rm	635	58	-	11,45	48	14	7,70	10,30
					Pr	310	28	50	10,41	44	19	10,50	13,20
VIIc2	7,73	15,38	676	MULTI	Rm	470	69	-	9,99	65	15	8,00	10,50
					Pr	119	18	60	3,77	25	19	10,30	14,20
					Fg	74	11	60	1,43	9	15	12,90	13,00
VIIc3	6,62	21,72	1409	MULTI	Fg	386	52	70	10,76	50	17	13,40	15,80
					Pr	107	15	70	6,21	29	26	12,40	12,60
					Rg	80	11	-	1,89	9	17	8,60	8,60
VIIc4	5,98	20,66	613	MULTI	Pr	438	71	60	16,55	80	20	10,80	14,00
					Rm	147	24	-	3,66	18	17	8,70	9,50
VIIc6					NO Pr								
VIIId					NO Pr								
VIIIa	11,74	17,02	645	MULTI	Fg	199	31	60	5,07	30	17	11,60	13,60
					Rg	139	22	-	3,30	19	16	8,50	10,20
					Pr	139	22	70	5,75	34	22	12,30	14,20
					Tp	68	10	-	1,25	7	14	7,20	7,20
VIIIb	4,87	22,02	812	BI	Rg	175	66	-	2,44	11	13	10,30	12,20
					Pr	533	21	60	18,77	85	20	11,50	15,80
VIIIc	59,11	19,86	709	MULTI	Rm	605	79	-	15,84	80	17	9,10	14,20
					Pr	103	13	60	3,20	16	19	11,00	11,60
VIIIId	7,02	24,17	1178	MULTI	Al	641	54	-	11,08	46	14	8,10	12,00
					Rm	330	28	-	5,43	22	14	7,10	10,20
					Pr	207	18	70	7,63	32	21	12,00	14,20
IXa	13,14	21,17	916	MULTI	Pr	541	59	60	15,37	73	18	12,40	15,50
					Bl	147	16	-	2,20	10	13	10,00	11,20
IXb	13,69	19,99	903	MULTI	Pr	326	36	60	13,31	67	22	6,80	7,60
					Rg	231	26	-	2,26	11	11	6,80	7,60
					Fg	151	17	60	2,19	11	13	11,80	13,40
					Bl	127	14	-	1,58	8	12	9,40	10,10
IXc	18,07	25,51	1064	MULTI	Pr	448	42	60	16,33	64	21	13,10	16,10
					Fg	175	16	60	3,53	14	15	13,10	15,70
					Rg	170	16	-	2,22	9	12	7,50	8,60
					Bl	139	13	-	2,21	9	14	10,20	10,80
IXd1					NO Pr								
IXd2					NO Pr								

Notes:

- Estructura MONO (Monoestratificada), BI (Biestratificada) i MULTI (Multiestratificada)
- Espècies principals: Alzina (*Al*), Roure Martinenc (*Rm*), Roure de fulla gran (*Rg*), Auró Blanc (*Ab*), Auro negre (*An*), Blada (*Bl*), Faig (*Fg*), Cirerer (*Cr*), Moixera de Pastor (*Mp*), Moixera (*M*), Tell de fulla petita (*Tp*), Carpí (*Cb*), Freixe de fulla gran (*Ffg*), Avet roig (*Pa*) i Pi roig (*Pr*)



### ANNEX 3. QUALITATS D'ESTACIÓ

Una de les premisses que van establir-se a l'hora de portar a terme la selecció de parcel·les d'inventari va ser "Mostrejar el màxim de qualitats d'estació existent a la finca" (Punt 3.1.2).

Com a priori no es pot conèixer la qualitat d'estació de cadascuna de les parcel·les la primera estimació va ser "pericial", es van seleccionar parcel·les que a priori presentaven molt diferent qualitat d'estació (amb el suport dels tècnics del parc, coneixedors de la realitat forestal del Parc) i sobre les dades inventariades (Alçada dominant i Edat) de les parcel·les seleccionades amb l'ajuda de les corbes de qualitat per *Pinus sylvestris* als Pirineus de GARCIA i TELLA (1986) és determinava el seu índex d'estació (Taula 17).

Aquest sistema permetia anar avaluant a mesura que es portava a terme la selecció de parcel·les si es mostrejaven el màxim de qualitats d'estació existents a la finca i corregint-ho si el resultat no fos el desitjat.

Taula 17. Índex de qualitat d'estació de les parcel·les inventariades

Nº de parcel·la	Alçada dominant (m)	Edad (anys)	Índex de qualitat
1	18,5	82	15
2	19,2	75	17,5
3	15	79	12,6
4	17,4	41	22
5	19,4	75	17,5
6	20,9	40	26
7	17,2	32	25
8	17,2	40	22,6
9	18,2	49	21
10	18	49	20,8
11	21,8	44	26
12	16,2	65	15,4
13	19,5	57	20
14	11,9	44	15,1
15	15,8	30	24,2
16	16,4	38	22,4
17	21,9	51	24
18	13,5	26	25
19	15,5	43	20,4
20	15,4	80	12,6
21	18,1	45	21,9
24	16	77	13,4
25	16,1	45	20,5
26	19,3	80	15,8



## ANNEX 4. CÀLCUL DE VARIABLES DE LA MASSA

A partir de les dades obtingudes a l'inventari dasomètric es van calcular un seguit de variables de massa com:

Àrea basimètrica (AB): Calculada a partir de la suma de les seccions de tots els peus de la parcel·la i extrapolada a la mesura per hectàrea.

Número de peus per hectàrea (Peus/ha): Extrapolant el nombre de peus de la parcel·la a dades per hectàrea.

I altres variables com és el diàmetre mig quadràtic (Dg) , sent aquest el diàmetre a partir del qual s'obté la secció mitja (AB dividit entre N).

Taula 18. Àrea Basimètrica, Densitat i diàmetre mig quadràtic per parcel·la d'inventari

Parcel·la	AB (m <sup>2</sup> /ha)	N (peus/ha)	Dg (mm)
1	29,55	1050,42	189,25
2	23,04	795,77	191,99
3	30,55	1368,73	168,58
4	40,05	1018,59	223,73
5	43,91	1336,90	204,49
6	41,83	1336,90	199,60
7	27,71	891,27	198,98
8	39,88	763,94	257,80
9	42,13	1018,59	229,49
10	43,84	827,61	259,72
11	66,24	1273,24	257,36
12	53,84	2132,68	179,29
13	41,69	986,76	231,94
14	39,91	1878,03	164,49
15	45,09	1145,92	223,82
16	35,19	1177,75	195,03
17	42,11	732,11	270,62
18	25,42	2164,51	122,29
19	47,81	1814,37	183,17
20	44,19	2228,17	158,90
21	50,45	1750,70	191,56
24	39,48	1305,07	196,25
25	45,58	1273,24	213,50
26	41,39	1050,42	224,00



## ANNEX 5. PROGRAMACIÓ DE SAS ©

Part de l'anàlisi estadístic realitzat al projecte es va portar a terme amb diferents procediments del paquet estadístic SAS © sent necessari la utilització dels següents programes:

### LOESS

Aquest programa realitza un ajust local quadràtic no paramètric per les dades procedents de peus dominats i un altre per les procedents de peus dominants amb un paràmetre suavitzat de 0,3 (RODRÍGUEZ, 2005).

```
proc sort data=sasuser.perfils;
by tipus;
run;

proc loess data=sasuser.perfils;
model Dr=Hr /degree=2 interp=cubic smooth = 0.3;
by tipus;
ods output OutputStatistics=ps30stats FitSummary=ps30summary;
run;
```

A mode d'exemple els programes següents han estat emprats per l'ajust del model, l'ajust del model tenint en compte l'estructura continua autorregressiva del error d'ordre 1 i ordre 2, i la validació creuada del model de perfil de tronc de NEWNHAM.

En els demés models estudiats els programes han estat molt similars i únicament han variat els paràmetres inicialitzadors (parms) i l'expressió matemàtica del model en si.

### AJUST DELS MODELS

```
proc sort data=sasuser.perfil;
by tipus;
run;

proc model data=sasuser.perfil;
if d=0 then delete;
by tipus;
parms b0 0.1 b1 0.1 b2 0.1 b3 0.1 b4 0.1 b5 0.1;
x=(ht-h)/(ht-1.3);
d=d130*(x**exp(-
(b0+b1*x+b2*((d130/ht)**2)+b3*(x**2)*(d130*ht)+b4*(ht/(SQRT(h)))
+b5*((d130*ht)/h)))));
fit d/ out=newnham outall printall converge=0.1;
run;
```

### AJUST DELS MODELS CAR (1)

```
proc sort data=sasuser.perfil;
by tipus;
run;

proc model data=sasuser.perfil;
if d=0 then delete;
if dist1=1000 then dist1=100;
if dist2=1000 then dist2=100;
by tipus;
parms b0 0.1 b1 0.1 b2 0.1 b3 0.1 b4 0.1 b5 0.1 p1 0.7;
x=(ht-h)/(ht-1.3);
```



```
d=d130*(x**exp(-
(b0+b1*x+b2*((d130/ht)**2)+b3*(x**2)*(d130*ht)+b4*(ht/(SQRT(h)))
+b5*((d130*ht)/h))))+
(p1**dist1)*zlag1(d-(d130*(x**exp(-
(b0+b1*x+b2*((d130/ht)**2)+b3*(x**2)*(d130*ht)+b4*(ht/(SQRT(h)))
+b5*((d130*ht)/h))))));
fit d/ out=newnhamCAR1 outa11 printa11 converge=0.1;
run;
```

## AJUST DELS MODELS CAR (1)

```
proc sort data=sasuser.perfil;
by tipus;
run;

proc model data=sasuser.perfil;
if d=0 then delete;
if dist1=1000 then dist1=100;
if dist2=1000 then dist2=100;
by tipus;
parms b0 0.1 b1 0.1 b2 0.1 b3 0.1 b4 0.1 b5 0.1 p1 0.7 p2 0.1;
x=(ht-h)/(ht-1.3);
d=d130*(x**exp(-
(b0+b1*x+b2*((d130/ht)**2)+b3*(x**2)*(d130*ht)+b4*(ht/(SQRT(h)))
+b5*((d130*ht)/h))))+
(p1**dist1)*zlag1(d-(d130*(x**exp(-
(b0+b1*x+b2*((d130/ht)**2)+b3*(x**2)*(d130*ht)+b4*(ht/(SQRT(h)))
+b5*((d130*ht)/h)))))+
(p2**dist2)*zlag2(d-(d130*(x**exp(-
(b0+b1*x+b2*((d130/ht)**2)+b3*(x**2)*(d130*ht)+b4*(ht/(SQRT(h)))
+b5*((d130*ht)/h))))));
fit d/ out=newnhanCAR2 outa11 printa11 converge=0.1;
run;
```

## VALIDACIÓ CREUADA

```
data ps;
set sasuser.dominants;
dd2=d;
T=Arbre;
if d=0 then delete;
if dr=0 then delete;
if s=0 then delete;
run;

proc model data=ps NOPRINT;
parms b1 0.1 b2 0.1 b3 0.1 b4 0.1 b5 0.1;
x=(ht-h)/(ht-1.3);
dd2=d130*(x**exp(-
(b0+b1*x+b2*((d130/ht)**2)+b3*(x**2)*(d130*ht)+b4*(ht/(SQRT(h)))
+b5*((d130*ht)/h)))));
fit dd2/ out=cross outpredict;
run;

%MACRO SPS;
%DO i = 1 %to 40;
DATA STPS;
set sasuser.dominants;
CROS=CROS+&i;
T=Arbre;
if d=0 then delete;
if dr=0 then delete;
if s=0 then delete;
IF T= &i THEN dd2=.;
ELSE dd2=d;
RUN;
```



```
proc model data=STPS NOPRINT;
by CROS;
parms b1 0.1 b2 0.1 b3 0.1 b4 0.1 b5 0.1;
      x=(ht-h)/(ht-1.3);
      dd2=d130*(x**exp(-
(b0+b1*x+b2*((d130/ht)**2)+b3*(x**2)*(d130*ht)+b4*(ht/(SQRT(h)))
+b5*((d130*ht)/h)))));
      fit dd2/ out=SIPS1 OUTPREDICT;

DATA SALIDA;
SET SIPS1;
IF _WEIGHT_ = 1 THEN delete;
RUN;
PROC APPEND BASE= cross DATA=SALIDA FORCE;
RUN;
%END;
%MEND;
%SPS;

quit;
```



## ANNEX 6. ANÀLISIS DE LA FUNCIÓ DE PERFIL DE TRONC DE NEWNHAM

El model d'ajust del perfil de tronc de NEWNHAM (1992) és un model d'exponent amb la següent equació:

$$d = D \cdot \left( \frac{H-h}{H-1,3} \right)^{e^{-\left( b_0 + b_1 \cdot \left( \frac{H-h}{H-1,3} \right) + b_2 \cdot \left( \frac{D}{H} \right)^2 + b_3 \cdot \left( \frac{H-h}{H-1,3} \right)^2 \cdot \frac{D}{H} + b_4 \cdot \frac{H}{\sqrt{h}} + b_5 \cdot \frac{D \cdot H}{h} \right)}}$$

Els models d'exponent variable són funcions de perfil exponencials, a les que el terme exponencial en si mateix és una funció polinòmica de diferents variables. Aquest tipus de models permeten, mitjançant una única funció descriure els canvis que es produeixen al perfil de tronc per les diferents seccions d'aquest (CASTEDO i ÀLVAREZ, 2000).

Segons FORSLUND (1982) les diferents seccions amb les que es pot descomposar un tronc poden ser representades per una funció potencial simple:

$$y = x_p$$

on:

y seria el diàmetre relatiu

x el quocient (H-h)/(H-1,30)

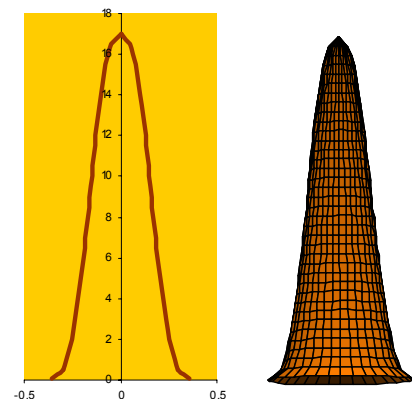
p una constant amb valor 0.5, 0.75 o 1 depenent de quina forma tingui la secció a que s'assimili un neiloide, un paraboloido o un con respectivament.

Els models d'exponent variable com el NEWNHAM deixen d'un costat el tractament de l'arbre per seccions, permetent que l'exponent p, sigui una funció en si mateix, creant una única expressió matemàtica per a tot el tronc (FORSLUND, 1990).

La funció de perfil de NEWNHAM té sis paràmetres (b<sub>0</sub>, b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub>, b<sub>3</sub>, b<sub>4</sub> i b<sub>5</sub>) a determinar mitjançant l'ajust. Per tal de conèixer el seu significat geomètric, i partint dels valors obtinguts en l'ajust de les dades de peus dominants del present projecte, és van introduir petites variacions sobre cadascun d'ells deixant els demés constants amb la intenció d'analitzar la repercussió sobre la gràfica de perfil i el model tridimensional del arbre.

La gràfica de perfil és la representació de la funció de perfil sobre un eix de coordenades on a les abscisses hi apareix l'alçada de l'arbre i a les ordenades el seu diàmetre. El model tridimensional de l'arbre sorgeix a partir de revolucionar sobre l'eix de les abscisses la gràfica de perfil (Figura 15)

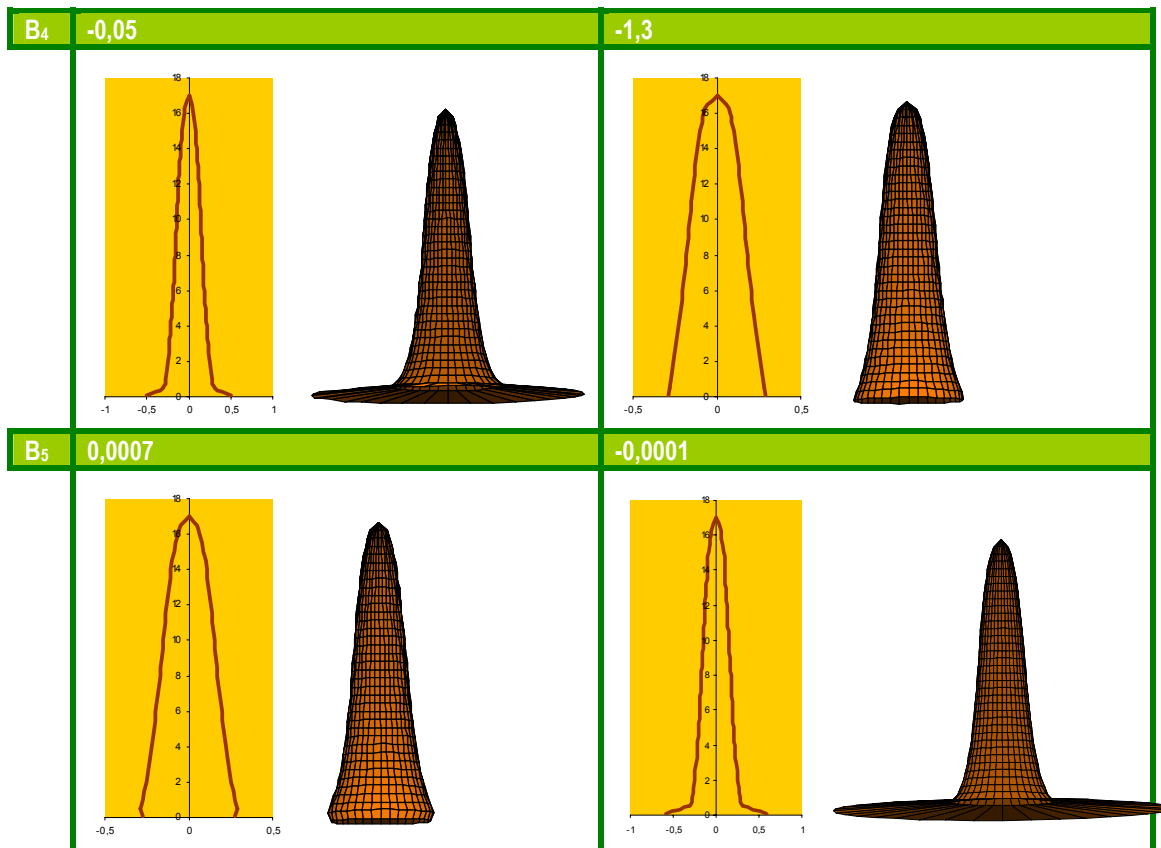
Figura 15. Gràfica de perfil i model tridimensional





	Valor extrem inferior	Valor extrem superior
<b>B<sub>0</sub></b>	0,7	1,3
<b>B<sub>1</sub></b>	-0,3	-1,3
<b>B<sub>2</sub></b>	-0,2	0,2
<b>B<sub>3</sub></b>	1	-0,3





Des de un punt de vista geomètric el significat dels diferents paràmetres és la següent:

- B<sub>0</sub>: Determina la pendent que forma la corba de perfil de l'arbre amb l'eix de les abscisses a la par més apical del tronc. Quan el valor del paràmetre augmenta, la pendent de la corba disminueix.
- B<sub>1</sub>: Determina la concavitat o convexitat de la part zona del tronc amb tipus dendromètric parabolòide. Quan major és B<sub>1</sub> més convexa es la corba.
- B<sub>2</sub>: Al igual que B<sub>0</sub> determina la pendent que forma la corba de perfil de l'arbre amb l'eix de les abscisses a la par més apical del tronc, encara de la relació es directa, a major valor del paràmetre la pendent de la corba augmenta.
- B<sub>3</sub>: Determina la concavitat o convexitat de la part del tronc amb tipus dendromètric neiloide (la zona més basal del tronc), a valor major de B<sub>3</sub> més convexitat.
- B<sub>4</sub> i B<sub>5</sub> determinen la pendent de la corba de perfil amb l'eix de les abscisses a la par més basal del tronc. Quan B<sub>4</sub> augmenta la pendent disminueix i quan B<sub>5</sub> augmenta la pendent augmenta.



## ANNEX 7. FOTOGRAFIES



Foto 1. Massa mixta de Pi roig i Roure Martinenc el bosc més comú al Parc Comarcal del Castell de Montesquiú

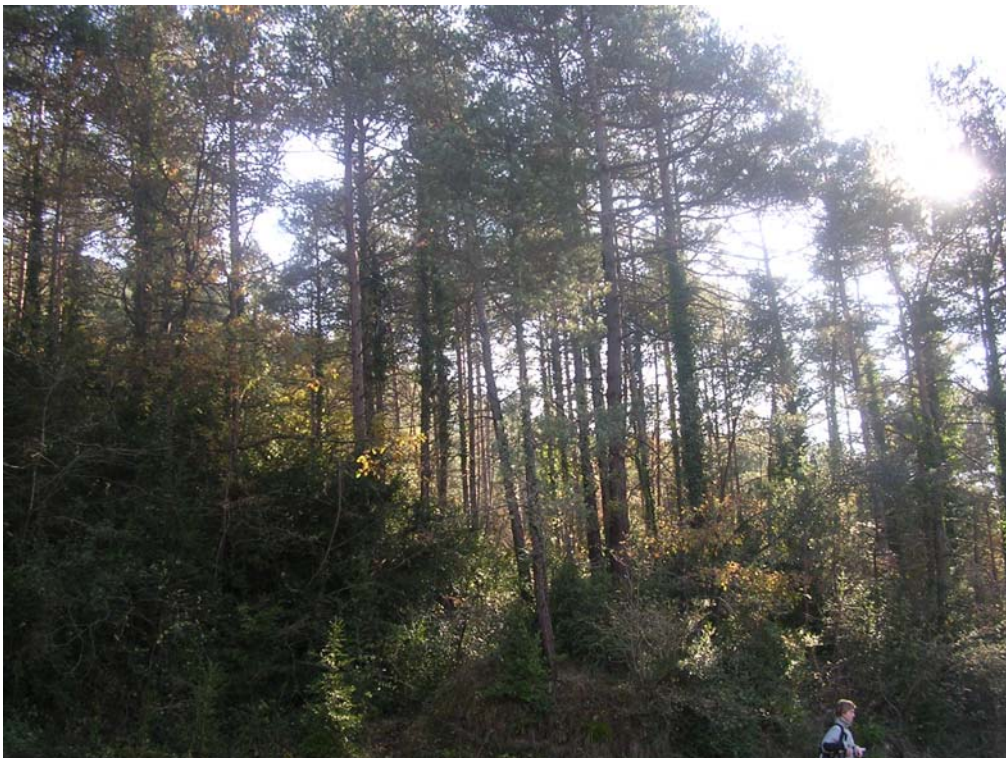


Foto 2. Interior d'una massa de Pi roig. Observis la baixa accessibilitat



Foto 3. Operaris abatent un dels peus seleccionats.



Foto 4. Operaris abatent un dels peus seleccionats.



Foto 5 Operaris desbrancant un peu abatut.



Foto 6 i 7: Operaris trossejant un dels peus de pi abatuts anteriorment i el peu un cop trossejat.



Foto 8: Preparació de la presa de mesures un cop ha finalitzat la feina dels operaris..



Foto 9: S'estén la cinta mètrica sobre la trossa a mesurar



Foto 10 i 11: Es mesura el diàmetre amb la forcípula sobre la part més basal de la trossa i al mig mesurant a quina distància es troba de la part basal.





## BIBLIOGRAFIA



## A

ÁLVAREZ J.G., RUIZ A.D., 1995. Dasometría. Introducción a las técnicas de modelización forestal. Universidad de Santiago de Compostela. 83 p.

## B

BADÍA M., RODRÍGUEZ F., BROTO M., 2001. Modelos del perfil del árbol. Aplicación al pino radiata (*Pinus radiata* D.Don.). Actas del III Congreso Forestal Español. Mesa 5. 478-484.

BURKHART H.E, GREGOIRE T., 1994. Forest Biometrics. Patil and Rao Eds. Handbook of Statistics. 12: 377-407.

## C

CANCINO, J. 2000. Función de ahusamiento para la especie *Pinus radiata* (D. Don), sector seco interior, VII Región, Chile. Tesis de Ingeniería Forestal. Talca, Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Forestales. Chile. 31 p.

CATALÁN G., (Ed.) 1991. Regiones de procedencia de *Pinus sylvestris* L., *Pinus nigra* ssp. *salzmannii* (Dunal) Franco. MAPA. Madrid. 31p., 33 .chas.

CASTEDO F., 2003. Modelo dinámico de crecimiento para las masas de *Pinus radiata* D.Don en Galicia. Simulación de alternativas selvícolas con inclusión del riesgo de incendio. Tesis Doctoral. Universidad de Santiago de Compostela.

CASTEDO F., ÁLVAREZ J.G., 2000. Construcción de una tarifa de cubicación con clasificación de productos para *Pinus radiata* D. Don en Galicia basada en una función del perfil del tronco. Invest. Agr. Sist. Recur. For. 9(2): 253-268.

CLUTTER J.L., ALLISON B.J., 1974. A growth and yield model for *P. radiata* in New Zealand. En: Growth Models for Tree and Stand Simulation. Fries, J., Proceedings of IUFRO meetings in 1973. Royal College of Forestry. Forest Research Notes, 30, 136-160.

## D

DIAZ, M. 2000. Desarrollo y evaluación de funciones de ahusamiento para *Pinus radiata* (D.Don) en la Comuna de Pichilemu. Tesis de Ingeniería Forestal. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ingeniería Forestal. Chile. 88 p.

## E

ESPINEL S., CANTERO A., SAEZ D. 1997. Un modelo de simulación para rodales de *Pinus radiata* en el País Vasco. Montes: Revista de Ámbito Forestal 48:34-38.





## G

GARCÍA J.L., 1981. Tablas de producción de densidad variable para *Pinus sylvestris* L. en el Sistema Ibérico. Comunicaciones INIA. Serie: Recursos Naturales, n\_10. 47p.

GARCÍA J.L., GÓMEZ J.A., 1984. Tablas de producción de densidad variable para *Pinus sylvestris* L. en el Sistema Central. Comunicaciones INIA. Serie: Recursos Naturales, n\_29. 36p.

GARCÍA J.L., TELLA G., 1986. Tablas de producción de densidad variable para *Pinus sylvestris* L. en el Sistema Pirenaico. Comunicaciones INIA. Serie: Recursos Naturales, n\_43. 28p.

GARCÍA O., 1995. Apuntes de mensura forestal I. Estática. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile, 65pp.

GRACIA C.A., ABRIL M., BARRANTES O., BURRIEL J.A., IBÁÑEZ J.J., SERRANO M.M. i VAYREDA J., 1992. Inventari Ecològic i forestal de Catalunya. DARP. Generalitat de Catalunya. Barcelona.

## J

JÜRGENS, J., 2000. Pla tècnic de gestió i millora forestal del Parc Comarcal del Castell de Montesquiú. Inèdit.

## K

KIVISTE A., ÁLVAREZ J.G., ROJO A., RUIZ A.D., 2002. Funciones de crecimiento de aplicación en el ámbito forestal. Monografías INIA: Forestal nº 4. 190pp. Madrid.

## L

LIZARRALDE I., BRAVO F., 2003. Crown and taper equations for Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in Northern Spain. In proceedings of IUFRO meeting: Decision Support for Multiple Purpose Forestry, April 23-25, 2003, Vienna (Austria)

LIZARRALDE I., BRAVO-OVIEDO A., BRAVO F., 2004. Assessment of opportunity costs of leaving Scots pine dead trees in Northern Spain. In proceedings of IUFRO meeting: International conference on Modeling Forest Production, April 19-22, 2004, Viena (Austria).

LÓPEZ C.A., GORGOSO J., CASTEDO F., ROJO A., RODRÍGUEZ R., ÁLVAREZ J.G., SÁNCHEZ F., 2003. A height-diameter model for *Pinus radiata* D. Don in Galicia (Northwest Spain). Ann. For. Sci. 60, 237-245.

## M

MANIN G., BARRIO M., DÍAZ-MAROTO I.J., 2001. Tarifa de cubicación con clasificación de productos para *Quercus robur* L. En el norte de la provincia de Lugo. Actas del III Congreso Forestal Español. Mesa 5. 592-598.



## N

NOVO N., CASTEDO F., ÁLVAREZ J.G., ROJO A., 2001. Funciones del perfil del tronco para *Pinus sylvestris* L. En Galicia. Actas del III Congreso Forestal Español. Mesa 4. 356-362

## O

ORTEGA A., MONTERO G., 1991. Evaluación de la calidad de estación en masas de *Pinus sylvestris* L. utilizando la relación altura-diámetro. *Montes*, 25: 51-55.

## P

PALAHÍ M., GRAU J.M., 2003. Preliminary site index model and individual-tree growth and mortality models for black pine (*Pinus nigra* Arn.) in Catalonia (Spain). *Invest. Agrar.: Sist. Recur. For.* (2003) 12 (1), 137-148.

PEÑA D., 2002. Regresión y diseño de experimentos. Edición. Alianza Universidad, Madrid, 744 pp.

PERSSON O.A., 1992. A growth simulator for Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in Sweden. Swedish University of Agricultural Sciences. Report 31. 205pp.

PITA A., 1964. Clasificación provisional de las calidades de *Pinus sylvestris* L. *An. Inst. For. Invest. Exp.*, 7-25

PITA A., 1965. Clasificación provisional de las calidades de estación en las masas de Pino laricio y Pino Carrasco en la Península Ibérica. *Anales IFIE* 10-Año 38:35-60

PRIETO A., TOLOSANA E., 1991. Funciones de perfil para la cubicación de árboles en pie con clasificación de producto., *Comunicaciones I.N.I.A., Rec. Nat.* 58: 1-45.

PRODAN M., PETERS R., COX F., REAL P., 1997. *Mensura Forestal*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), Costa Rica.

## R

RODRÍGUEZ F., 2005. Modelos de producción de las choperas del Valle del Cinca. Tesis Doctoral. ETSEA. UdL..

RODRÍGUEZ F., BROTO M., 2003. Cubica v1.2: Programa informático para cubicar y clasificar productos a partir de los datos procedentes de un inventario. *Montes: Revista de Ámbito Forestal*. 72: 33-38.

ROJO A., MONTERO G., 1996. El pino silvestre en la Sierra de Guadarrama. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Secretaría General Técnica. Madrid. 293 p.



## S

SÁNCHEZ F., RODRÍGUEZ R., ROJO A., ÁLVAREZ J.G., LÓPEZ C., GORGOSO J., CASTEDO F., 2003. Crecimiento y tablas de producción de *Pinus radiata* D. Don en Galicia. Invest. Agrar.: Sit. Recur. For. 12(2): 65-83.

SAS INSTITUTE INC 2001. SAS/ETS User's Guide, Version 8.0. SAS Publishing, USA

SAS INSTITUTE INC 2001. SAS/STAT User's Guide, Version 8.0. SAS Publishing, USA, 3884 pp