



UNIVERSITAT DE LLEIDA

ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA AGRÀRIA



DEPARTAMENT DE PRODUCCIÓ VEGETAL I CIÈNCIA FORESTAL

Projecte Final de Carrera
Enginyeria de Forest

CORBES DE QUALITAT PER A *Pinus sylvestris* L.
AL PARC COMARCAL DEL CASTELL DE MONTESQUIU

Autora: Montserrat Ricós Cruells

Tutor: Francisco Rodríguez Puerta

Co-tutor: Ricardo Blanco Ortíz

Lleida, febrer de 2006

ÍNDIX

1	OBJECTIUS	1
2	JUSTIFICACIÓ I ANTECEDENTS	2
2.1	Justificació del projecte	2
2.2	Corbes de qualitat de <i>Pinus sylvestris</i> a Espanya	3
3	INTRODUCCIÓ	4
3.1	Descripció de la zona d'estudi	4
3.1.1	Situació i extensió	4
3.1.2	Situació legal i administrativa	5
3.1.3	Relleu i geologia	5
3.1.4	Climatologia	5
3.1.5	Vegetació	6
3.2	Descripció de <i>Pinus sylvestris</i> L.	8
3.2.1	Corologia i taxonomia	8
3.2.2	Distribució del <i>Pinus sylvestris</i> L.	8
3.2.3	Característiques culturals	10
3.2.4	Descripció de l'espècie	10
3.2.5	Usos	11
3.2.6	Silvicultura	12
3.2.7	El <i>Pinus sylvestris</i> al Parc Comarcal del Castell de Montesquiú	12
3.3	Qualitat d'estació en masses forestals	14
3.3.1	Definició i utilitat	14
3.3.2	Mètodes d'avaluació de la qualitat d'estació	14
3.3.3	Índex de lloc	15
3.3.4	Corbes alçada dominant (H_0) – edat (t)	15
3.3.5	Mètodes per a l'obtenció de les dades	16
3.3.6	Tipus de corbes de qualitat	17
3.4	Taules de producció	19
3.4.1	Definició i utilitats	19
3.4.2	Tipus de taules de producció	19

4	MATERIALS I MÈTODES	21
4.1	Inventari	21
4.1.1	Selecció de rodals	21
4.1.2	Replanteig de parcel·les	23
4.1.3	Dades preses en l'inventari i material utilitzat	23
4.1.4	Selecció dels peus a barrinar i dels peus a tallar i dades preses	24
4.2	Elaboració de les dades	27
4.3	Anàlisi estadístic	29
4.3.1	Dades de partida	29
4.3.2	Ajust dels models	32
4.3.3	Estudi de l'asímtota dels models	35
4.3.4	Validació dels models	35
4.4	Corbes de qualitat per a <i>Pinus sylvestris</i> L. al Parc Comarcal del Castell de Montesquiú	37
4.5	Comparació amb altres corbes de qualitat per a <i>Pinus sylvestris</i> L.	38
4.6	Patrons de creixement: dominants <i>vs.</i> dominats	41
5	RESULTATS I DISCUSSIÓ	42
5.1	Patrons de creixement (corbes guia) dels peus dominants i dels peus dominats	42
5.1.1	Ajust dels models	42
5.1.2	Determinació de les mostres a utilitzar	45
5.1.3	Validació dels models	48
5.1.4	Patrons de creixement	48
5.2	Corbes de qualitat per a <i>Pinus sylvestris</i> L. al Parc Comarcal del Castell de Montesquiú	50
5.2.1	Edat de referència i corbes de qualitat	50
5.2.2	Corbes anamòrfiques	50
5.2.3	Corbes polimòrfiques proporcionals	51
5.2.4	Corbes polimòrfiques estrictes	52
5.2.5	Corbes de qualitat per a <i>Pinus sylvestris</i> al Parc de Montesquiú	54

5.3	Comparació amb altres corbes de qualitat per a <i>Pinus sylvestris</i> L.	56
5.3.1	Corbes de qualitat de la Sierra de Guadarrama	56
5.3.2	Corbes de qualitat del Sistema Ibèric	57
5.3.3	Corbes de qualitat dels Pirineus	58
5.3.4	Corbes de qualitat de la Sologne (França)	58
5.3.5	Conclusió general de les comparacions	59
5.4	Patrons de creixement: dominants vs. dominats	61
6	CONCLUSIONS	63
	BIBLIOGRAFIA	64
	EPÍGRAF	68
	ANNEXES	71

1 OBJECTIUS

En el projecte que es presenta s'han marcat els objectius que es descriuen a continuació:

- la determinació de les corbes de qualitat d'estació per a *Pinus sylvestris* L. a la finca del Parc Comarcal del Castell de Montesquiú,
- la comparació de les corbes que s'obtinguin per a aquesta zona amb les existents per al *Pinus sylvestris* L. en les principals àrees de distribució d'Espanya, per tal de comprovar si hi ha algun tipus de similitud que les faci aptes de ser utilitzades al parc, i
- l'estudi de l'evolució que han tingut les masses de pi roig en el parc en base dels patrons de creixement que segueix aquesta espècie, en funció de si la tipologia social que hi representa és la dominant o bé la dominada.

Aquest projecte , a més, ha de donar suport a la gestió que s'està duent a terme al Parc Comarcal de Castell de Montesquiú per part de la Diputació de Barcelona.

2 JUSTIFICACIÓ I ANTECEDENTS

2.1 Justificació del projecte

El projecte neix a partir de la proposta feta per la Diputació de Barcelona per a realitzar diversos estudis relacionats amb el *Pinus sylvestris* al Parc Comarcal del Castell de Montesquiu. Aquests estudis s'han proposat com a tres Projectes Final de Carrera i consisteixen en la obtenció de les corbes de qualitat d'estació, la modelització del creixement diametral i l'estudi del perfil del tronc.

El parc compta amb un Pla Tècnic de Gestió i Millora Forestal (aprovat el maig de 2000) on s'hi preveu una gestió de les seves masses forestals amb la finalitat de satisfer les necessitats dels seus habitants i de la indústria forestal local. El *Pinus sylvestris* representa l'espècie més abundant de la finca i de la seva gestió en sortiran un o més tipus de productes de major o menor qualitat, fet que en farà variar els beneficis econòmics.

La ubicació del parc en cotes inferiors als 800 metres fa que l'espècie estigui vivint als límits del seu àmbit ecològic i, per tant, la utilització de les diferents taules de producció i corbes de qualitat construïdes per les principals zones de distribució del *Pinus sylvestris* a Espanya pot donar alteracions importants a la producció prevista i, en conseqüència, pèrdues econòmiques considerables.

El conjunt dels tres projectes mencionats contribuirien a donar la informació necessària per a la construcció del que serien les taules de producció del *Pinus sylvestris* específiques per a la finca estudiada. Així, les corbes de qualitat aporten el creixement en alçada, la modelització diametral dóna el creixement en diàmetre i, finalment, la modelització del perfil del tronc aporta el creixement en volum.

2.2 Corbes de qualitat de *Pinus sylvestris* L. a Espanya

Les primeres corbes de qualitat a Espanya de que es tenen constància són les que va elaborar Pita durant els anys 60 des de l'*Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias* (I.F.I.E.) per les principals espècies aprofitables, entre elles el *Pinus sylvestris*.

Madrigal (1999) va editar un recull de les taules de producció que existeixen a Espanya per a diferents regions i per a diferents espècies. En elles s'hi adjunten les corbes de qualitat que s'hi relacionen. Per al *Pinus sylvestris* hi són representades les de les principals zones on es distribueix (Sierra de Guadarrama, Sistema Ibèric i Pirineus) i hi afegeix les corresponents a la regió de Sologne, a França, per considerar-les aptes d'aplicar a la Península en no disposar d'estudis sobre masses artificials:

- Rojo i Montero van construir, el 1996, les corbes de qualitat per la Sierra de Guadarrama (al Sistema Central) realitzant parcel·les a les forests de Cercedilla, Navacerrada i Valsaín. S'hi estableixen 5 qualitats d'estació, definides per alçades dominants de 29, 26, 23, 20 i 17 metres a l'edat de referència de 100 anys. Els autors consideren que també es poden utilitzar en masses naturals de tot l'àmbit de distribució de la Península, no essent recomanables per aquelles masses procedents de repoblació.
- García Abejón, l'any 1981, va elaborar corbes de qualitat pel al Sistema Ibèric amb parcel·les distribuïdes per Burgos, Cuenca, Guadalajara, Soria i Teruel. Es defineixen 4 qualitats d'estació amb índex de qualitat de 16, 13, 10 i 7 metres a l'edat de referència de 50 anys. Són les úniques referides exclusivament al Sistema Ibèric.
- García Abejón i Tella Ferreiro, el 1986, determinen les corbes de qualitat per als Pirineus amb dades preses a Huesca i Lleida. S'estableixen 3 classes de qualitat definides per alçades mitjanes de 16, 13 i 10 metres amb edat de referència als 50 anys.
- N. Decourt (recopilades a Vanneère, 1984) va construir les corbes de qualitat per Sologne, a França. S'hi defineixen 4 classes de qualitat per les alçades mitjanes de 24, 21, 18, 15 i 12 metres a l'edat de 50 anys. A falta de taules de producció per a masses artificials a la Península, és interessant incloure també aquí aquestes que es van elaborar per repoblacions.

3 INTRODUCCIÓ

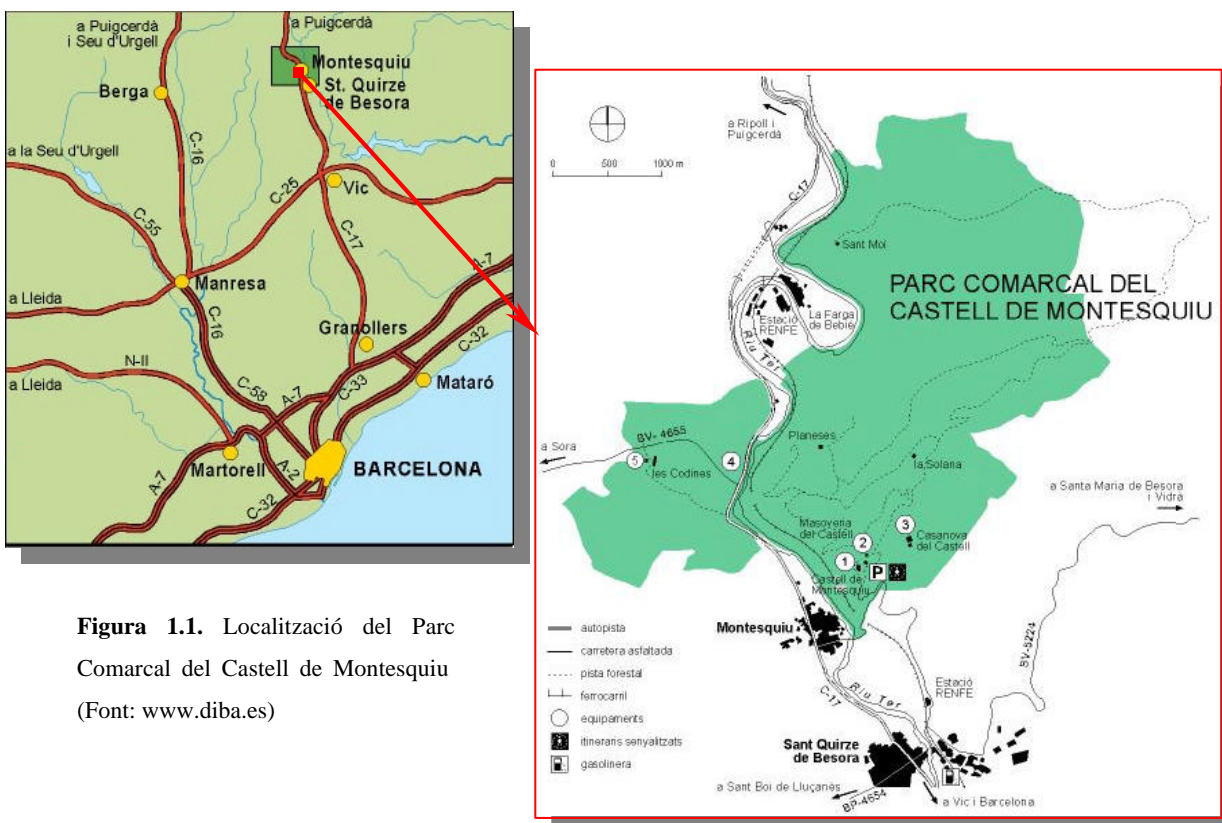
3.1 Descripció de la zona d'estudi

3.1.1 Situació i extensió

El Parc Comarcal del Castell de Montesquiu es troba situat al nord de la comarca d'Osona, província de Barcelona, limitant amb la comarca del Ripollès. Engloba part dels municipis de Montesquiu (majoritàriament), Sora, Sant Quirze de Besora i Santa Maria de Besora. Aquests municipis, juntament amb Vidrà, conformen la subcomarca del Bisaura. En total, la finca s'estén per una superfície de 564 ha distribuïdes en:

- Superfície no forestal: 42,86 ha
(conreus, edificis, etc.)
- Superfície forestal: 521,14 ha
 - Superfície poblada amb espècies forestals: 504,28 ha
 - Superfície poblades amb espècies no arbòries: 16,86 ha

S'hi accedeix per la carretera C-17, que uneix Barcelona amb Puigcerdà, des de Montesquiu o des de Sant Quirze de Besora, o bé per la carretera BV-4655 que porta a Sora. També s'hi pot arribar mitjançant el tren de la línia Barcelona - Puigcerdà des de l'estació Montesquiu - Sant Quirze.



3.1.2 Situació legal i administrativa

El Parc Comarcal del Castell de Montesquiú és de titularitat pública, propietat de la Diputació de Barcelona des de l'any 1936, tot i que la cessió no es va fer efectiva fins el 1972. És aquesta entitat la que des del Servei de Parcs Naturals, adscrit a l'Àrea d'Espais Naturals, gestiona aquest espai, en col·laboració amb els ajuntaments que formen part del Consell Coordinador, amb "el propòsit de fer-hi compatibles els valors naturals i culturals amb les activitats socio-econòmiques dels seus habitants i de posar a la disposició de la societat un marc idoni per a les activitats de lleure, educació ambiental i recerca", com posa de manifest el tríptic informatiu del Parc.

Com a eines de planificació, el parc compta amb el Pla Especial, aprovat el juliol de 1986 i modificat el 2 d'abril de 1998 (D.O.G. 02.07.98 núm.2672), el Pla d'Espais d'Interès Natural de la Generalitat de Catalunya, aprovat pel Decret 328/92 de 14 de setembre (D.O.G. 1.03.93 núm. 1714) i amb el Pla Tècnic de Gestió i Millora Forestal aprovat el maig de l'any 2000 per la Generalitat de Catalunya.

Cal esmentar l'existència d'una àrea de caça, la B – 10.178, la qual es troba sota la gestió de la Societat de Caçadors de Montesquiú.

3.1.3 Relleu i geologia

El parc queda ubicat als Prepirineus orientals, concretament al sector dels Subpirineus on el terreny és més suau i les elevacions són de menor altitud.

La finca oscil·la entre els 570m i els 858 m d'alçada, presentant tot un seguit de petites valls formades pels nombrosos torrents i rieres que tributen al Ter. El riu Ter voreja el límit nord del Parc i part de l'oest fins que el travessa de nord a sud, deixant-lo dividit en dues parts desiguals, més gran la banda est i molt més petita la part oest. Com a principals tributaris es poden citar les rieres de Vallfogona, la de les Dous i la de la Solana pel marge esquerre, amb vessants d'elevada pendent i majoritàriament d'orientació oest, i la riera de Sora pel marge dret.

Els materials que conformen la zona són margues i gresos amb estrats calcaris interposats. No es fa patent cap fenomen erosiu a destacar (JÜRGENS, 2000).

3.1.4 Climatologia

Les dades meteorològiques es prenen de forma diària a l'estació automàtica del Castell de Montesquiú, situada a 672 m, i se'n tenen series completes de més de 30 anys. Segons la classificació d'Allué, la zona es troba dins d'un clima centreeuropeu o atlàntic d'hiverns freds,

equivalent al clima temperat fred marítim o mediterrani d'alta muntanya (submediterrani) de Miller (JÜRGENS, 2000).

Amb unes temperatures mitges anuals que oscil·len entre els 9 i 11 °C (*Enciclopèdia Comarcal de Catalunya*), la zona es caracteritza per tenir els hiverns freds i els estius moderats.

La pluviometria anual es situa sobre els 747 mm, però amb variabilitat d'un any a l'altre. És important comentar l'absència d'un període àrid a l'estiu, doncs els mesos de maig a setembre són força plujosos. A més, durant l'estiu hi predominen els vents de component sud – est, de llevant, la qual cosa fa que la humitat ambiental es mantingui a uns nivells suficients per a que es pugui condensar a les nits.

3.1.5 Vegetació

La vegetació que es troba en tota la zona és la característica de l'estatge montà de la Catalunya submediterrània. Per les condicions del clima, el parc es troba dins del domini del roure martinenc (*Quercus humilis*). Amb tot, l'espècie més abundant a la finca, degut a la gestió que s'hi ve donant i a la plasticitat ecològica de l'espècie, és el pi roig (*Pinus sylvestris*).

El roure martinenc va acompanyat de diverses aceràcies com l'auró blanc (*Acer campestre*), l'auró negre (*Acer monspessulanum*) i la blada (*Acer opalus*) i de rosàcies com la pomera (*Pyrus malus*), la moixera de pastor (*Sorbus torminalis*), la moixera (*Sorbus aria*) i el server (*Sorbus domestica*). En zones més humides, hi apareixen també el tell de fulla petita (*Tilia cordata*), l'om (*Ulmus minor*) i, de forma puntual, el carpí (*Carpinus betulus*). A prop de les rieres, al ser zones més fresques, el roure martinenc forma boscos mixtes acompanyat del tell de fulla gran (*Tilia platyphyllos*), el freixe de fulla gran (*Fraxinus excelsior*) i el bedoll (*Betula pendula*).



Figura 1.2. Vessant de solana a la zona anomenada La Solana (Foto: Óscar García)

El pi roig apareix sobretot a les obagues, en busca de la necessària humitat del sòl. Forma boscos mixtes amb el roure martinenc o amb el faig i rarament se'l pot trobar com a massa monoespecífica.



Figura 1.3. Vessant d'obaga al Bac del Castell (Foto: Óscar García)

Al parc també hi ha presència de fagedes. Aquestes es troben en les obagues més fresques i van acompanyades del tell de fulla petita, el roure de fulla gran (*Quercus petraea*), la moixera de pastor, la moixera, la blada i l'auró blanc. També hi han peus puntuals d'auró negre.

Per últim, cal comentar la presència de dues espècie protegides a Catalunya segons l'Ordre del 5 de novembre de 1984: el grèvol (*Ilex aquifolium*) i el teix (*Taxus baccata*).

3.2 Descripció de *Pinus sylvestris* L.

3.2.1 Corologia i taxonomia

El *Pinus sylvestris* L. es troba dins de les Gimnospermes, família de les PINACEAE, subfamília Pinoideae, gènere *Pinus* (RUIZ DE LA TORRE, 1979; ROMO, 1997). Tot i que rep altres nomenclatures, a Catalunya se'l coneix com a pi roig fent referència a les tonalitats rogenques que prenen les parts altes del tronc i a les bases de les branques al descamar-se l'escorça. A la taula 1.1 s'han apuntat els noms comuns més freqüents per a aquesta espècie en diferents regions.

Taula 1.1. Noms comuns del *Pinus sylvestris* (CASTROVIEJO et al., 1986; RUIZ DE LA TORRE, 1984)

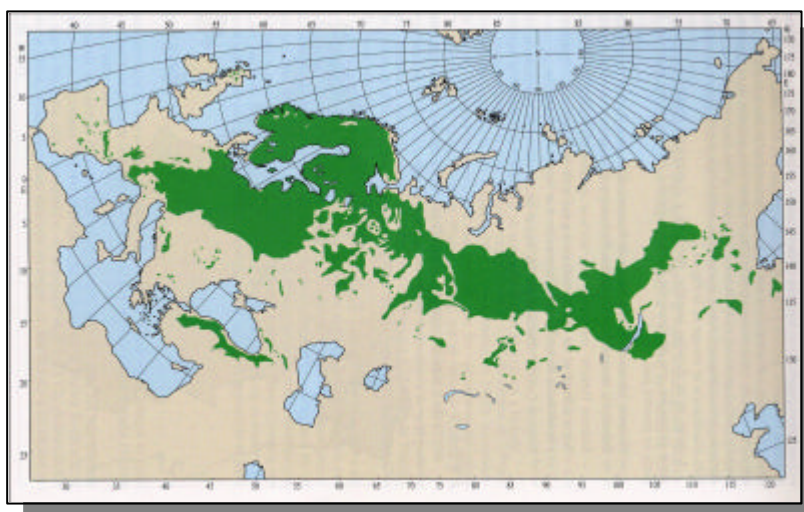
Català	Pi roig, pi bord, rojalet, pi rojal, pi blancal
Castellà	Pino albar, pino silvestre, pino de Valsaín, pino serrano, pino común, pino rojal, pino royano, pino blanquillo
Euskera	Pinu gorria, ler gorria
Gallec	Pino bravo
Portuguès	Pinheiro – silvestre, pinheiro – da – casquinha, pinheiro – da – riga
Francès	Pin commun, pin silvestre
Anglès	Wild pine, Scotch pine
Alemanys	Weiss föhre, wald kiefer

A Espanya, per la seva àmplia distribució, s'han descrit diverses varietats de pi roig. Es troba, així, la varietat *pyrenaica* Svob als Pirineus, la varietat *iberica* Svob als sistemes Central i Ibèric, la varietat *catalaunica* Gaussen al nord – est de Catalunya i la varietat *nevadensis* Christ a Sierra Nevada (ROMO, 1997).

3.2.2 Distribució del *Pinus sylvestris* L.

Segons Ruiz de la Torre (1979), el *Pinus sylvestris* és una espècie de molt àmplia distribució geogràfica per tot Europa i Àsia. Se'l troba des dels Països Escandinaus, conformant el límit de la vegetació arbòria, fins a Sierra Nevada i muntanyes del sud de Pèrsia i des de Galícia fins a la costa sud de Yakutsia. Les masses més extenses se situen a Sibèria, Rússia, Alemanya i Polònia.

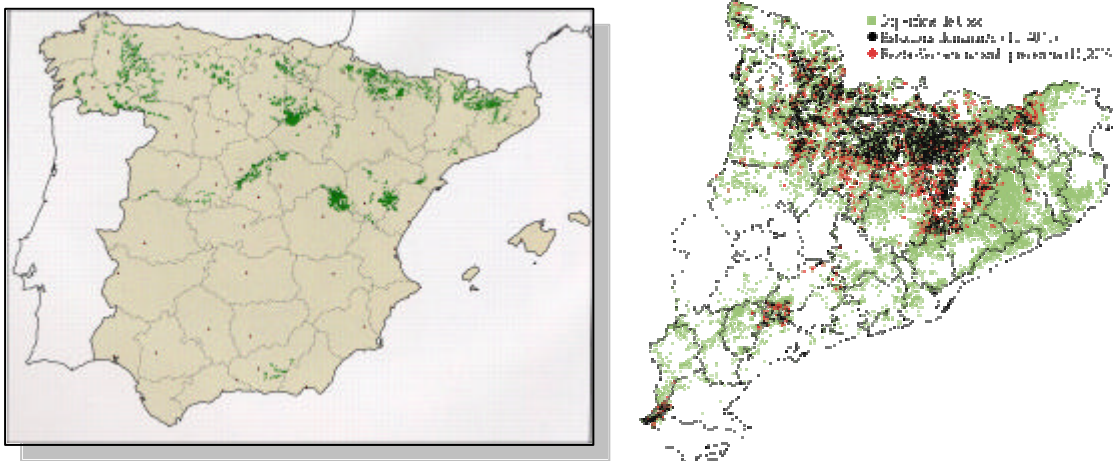
Figura 1.3. Distribució del *Pinus sylvestris* a nivell mundial (CRITCHFIELD i LITTLE, a ROJO i MONTERO, 1996)



A Espanya, existeixen 3 grans zones de distribució: Pirineus, Sistema Central i Sistema Ibèric. Apareix formant masses pures o bé mixtes amb pi negre, avet o faig. Ha estat una espècie molt utilitzada en repoblacions, sobretot en les zones de Galícia, paratges de la Meseta Nord i a Sierra Nevada.

Dins de Catalunya, Pascual (1999) presenta el pi roig com una espècie de caràcter europeu que s'endinsa als boscos de roure martinenc substituint-lo a mesura que va desapareixent per l'acció antròpica. Forma boscos naturals als 1600 m, penetrant a l'estatge subalpí on es barreja amb el pi negre (*Pinus uncinata*). Als Països Catalans, el pi roig es troba en algunes valls pirinenques (des de la Val d'Aran i l'Alta Ribagorça fins al Berguedà), a Andorra, als Ports de Tortosa – Besseit i a l'Alt Maestrat.

Figura 1.4. Distribució de *Pinus sylvestris* a la Península Ibèrica (CEBALLOS, a ROJO i MONTERO, 1996) i concretament a Catalunya (font: *internet*)



Cal esmentar que el pi roig ha estat i és una de les espècies més utilitzades en les repoblacions forestals a tota la Península, fet que ha contribuït notablement que en l'actualitat ocupi més d'un milió d'hectàrees de superfície. Segons dades de l'Anuari d'estadística agroalimentària, durant el 2001 es van repoblar amb aquesta espècie poc més de 4.000 ha a tot Espanya. (*Anuari 2002*).

3.2.3 Característiques culturals

El pi roig presenta una gran amplitud ecològica que ve donada per la gran extensió de la seva àrea natural i per la seva diversitat morfològica.

El podem trobar per sobre dels 500 m d'altitud, preferentment entre els 800 i 1600 m, i podent superar els 2000 m. A Espanya és una espècie de muntanya que busca orientacions d'obaga excepte als Pirineus, on se'l troba principalment a les solanes. A la Península, el pi roig es considera una espècie de llum o mitja llum, és a dir, de temperament intolerant a la falta de llum.

Accepta una àmplia oscil·lació tèrmica anual superant els 18°C la mitjana entre les isotermes de gener i agost, podent arribar als 36°C de màxim i fins a uns mínims de -20°C. En quant a precipitacions, requereix entre els 600 i 1700 mm anuals, superant els 100 mm durant els mesos d'estiu (RUIZ DE LA TORRE, 1979). A Espanya és un dels pins amb més exigència d'humitat del sòl, després del *Pinus uncinata*.

Indiferent al tipus de substrat, aconsegueix un millor desenvolupament sobre formacions arenoses, fresques i profundes i sobre les silícies, sobretot granítiques. No obstant, se'l pot trobar sobre terrenys pobres i superficials, jugant el paper d'espècie protectora del sòl contra l'erosió gràcies a l'anclatge que li proporcionen les potents arrels secundàries que desenvolupa.

3.2.4 Descripció de l'espècie

El pi roig és un arbre de 30 m d'alçària (KREMER, 1996; PASCUAL, 1999) i que pot arribar als 35 – 40 m, diàmetres normals de 100 cm i 500 – 600 anys d'edat (RUIZ DE LA TORRE, 1979; ROMO, 1997). Presenta un port cònic piramidal de jove deformant-se amb l'edat fent-se més asimètric. El tronc és dret, cilíndric i recte, amb una bona poda natural de les branques baixes quan creix en espessor de massa. L'escorça, gris o marró grisós de joves, es va tornant color cendra, amb escames color rogenc al terç superior del fust i a la base de les branques, fet que dona nom a l'espècie.

Les acícules són curtes, agrupades en parells a l'extrem de les branques, rígides, punxents, de 3 a 6 cm i de color verd glauc o blavós. Apareixen pel maig i es desprenen a la tardor. Resten a l'arbre durant 3 – 4 anys (ROMO, 1997), podent aguantar-hi durant 5 anys (RUIZ DE LA TORRE, 1979).

Les inflorescències masculines es disposen en espigues denses a la part baixa dels brots. Són de color groguenc, tot i que se'n poden trobar de color púrpura – violàcies. Les flors apareixen al maig i juny.

Les pinyes són petites, de 3 – 4 per 2 – 3 cm, solitàries o en grups de 2 o 3, còniques, curtament pedunculades, pèndules. Al madurar són de color marró fosc, quasi negre i fins a 8 cm de longitud. Les escames són allargades amb plaques lleugerament bombades. L'època de floració és durant l'abril i el maig, els pinyons maduren la tardor de l'any següent i es disseminen a la primavera. El pi roig és una espècie anyívola, d'una periodicitat d'entre 2 i 5 anys, freqüentment de 3 anys. La llavor fèrtil comença cap als 40 anys de l'edat de l'individu.

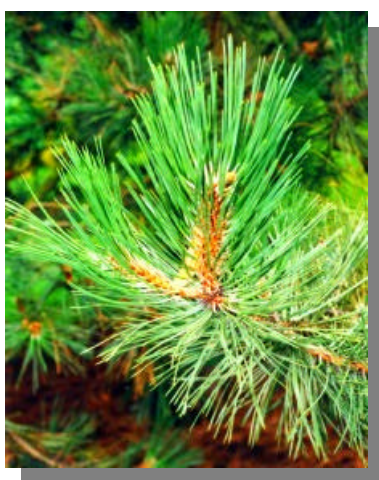


Figura 1.4. Detalls del *Pinus sylvestris* (font: internet)

3.2.5 Usos

El tronc recte i lliure de branques i, per tant, de nusos fan de la fusta del pi roig una de les de major qualitat d'Espanya. És molt apreciada en fusteria, construcció, ebenisteria i serradores. S'ha utilitzat en màstils d'embarcacions, pals de telèfons i telègrafs, travesses de ferrocarrils, tarimes, mostradors i fusteria vista de luxe. No se n'aprofita la resina (RUIZ DE LA TORRE, 1979; TOLOSANA *et al.*, 2000).

La llenya ha estat utilitzada com a combustible de consum domèstic i la pinassa com a dieta del bestiar durant els hiverns. Els pinyons són comestibles, però són massa petits per al seu aprofitament (de 3 – 5 mm de llarg per 2 – 3 mm d'ample), doncs se'n necessitarien grans quantitats. Els brots joves es consideren balsàmics en medicina popular i es fan servir en els tractaments de malalties de les vies respiratòries, així com a diürètics en forma d'infusió.

Les masses de pi roig són d'elevat valor estètic pel contrast del seu fullatge verd – glauc amb els tons ataronjats del tronc.

3.2.6 Silvicultura

Com s'ha comentat anteriorment, el pi roig és considerada una espècie de llum (de mitja llum en les regions més continentals), és a dir, de temperament intolerant a la falta de llum. Necessita, doncs, espais lliures de coberta per a regenerar de manera natural.

Regenera de llavor i es tracta, majoritàriament, com a massa regular o semirregular amb edats de maduresa d'entre els 80 i 120 anys. En general, a aquestes pinedes se'ls practiquen dues clares prèvies a les tallades de regeneració, les quals solen ser per aclarida progressiva de 2 o 3 fases (TOLOSANA *et al.*, 2000).

Montero (a ROJO i MONTERO, 1996) aprofundeix més i distingeix tres grans zones segons l'altitud en la que es desenvolupen les masses de pi roig i en les que se'ls practica una silvicultura específica. Així, en les zones amb altituds superiors als 1800 m, amb masses poc denses i d'elevat interès protector, les pràctiques silvícoles són escasses o fins i tot nul·les i la ordenació sol anar dirigida a l'aprofitament de les pastures. Les masses situades entre els 1600 i 1800 m són també de baixa densitat i d'elevat interès protector i presenten una estructura pròxima a la irregular, amb la qual cosa els tractaments que se'ls aplica són les tallades de policia. Finalment, les masses situades entre els 800 i 1600 m són denses, monoespècífiques o mixtes, d'estructura regular i, per tant, són en aquestes que se'ls practica les tallades d'aclarida progressiva esmentades abans per Tolosana (2000). Aquest mètode ha estat substituït en ocasions per les tallades arreu amb reserva de 30 – 40 arbres mare que s'extrauen de cop una vegada garantida la regeneració al cap de 5 – 6 anys.

Rojo i Montero (1996) comenten que en les masses joves procedents de regeneració natural se'ls apliquen esbrossades de regeneració seguides de lleugeres aclarides i de podes dels millors exemplars, mentre que en rems procedents de regeneració artificial creixen en elevat espessor i únicament se'ls practiquen aclarides per extraure els peus més dèbils i malformats i esbrossades o neteges de matolls que s'hagin pogut instal·lar. El que sempre es practiquen són aclarides baixes i moderades entre els 20 i 40 anys o quan l'alçada dominant supera 10 – 11 m, en funció de la qualitat d'estació i del sistema de regeneració.

3.2.7 El *Pinus sylvestris* al Parc Comarcal del Castell de Montesquiú

Dins del parc, el pi forma, majoritàriament, boscos mixtos amb el roure martinenc (*Quercus humilis*) i presenta com a espècies acompanyants la moixera (*Sorbus aria*), la moixera de pastor (*Sorbus torminalis*), la blada (*Acer opalus*) o el faig (*Fagus sylvatica*).

El sotabosc és dens, causa directa de la baixa densitat de pins i roures, fent que el bosc sigui quasi impenetrable. A les obagues està conformat bàsicament de boix (*Buxus sempervirens*), mentre que a les solanes hi predominen els esbarzers (*Rubus ulmifolius*).

La presència abundant del pi roig a la finca no és més que el resultat de la gestió que se li ha vingut practicant, afavorint-lo en front al roure martinenc. El motiu ha estat que la fusta del pi és una de les més ben considerades a la Península i, per tant, proporciona més guanys econòmics.

Dels roures s'aprofitava les llenyes, la qual cosa provoca una disminució del seu vigor i una major entrada de llum al sòl afavorint la regeneració d'espècies intolerants a la falta de llum com és el pi roig.

Són masses d'estructura regular que s'han conformat de forma natural després de dècades sense practicar-hi cap tipus d'aprofitaments. No ha estat fins a l'elaboració del Pla Tècnic de Gestió i Millora Forestal que no s'hi ha efectuat cap tractament silvícola des de fa almenys 40 anys, segons expliquen els operaris del parc. En aquest document hi han planificades diverses actuacions en funció de l'edat natural que tingui la massa, tant a nivell de tractaments de millora (aclarides i podes) com de regeneració. En aquest cas, es recomana realitzar aclarides progressives per bosquets i així permetre que espècies amb diferents graus de tolerància a la llum puguin regenerar.

La finalitat d'aquests aprofitaments és atendre la demanda del mercat actual obtenint productes de diàmetres aptes per a la construcció i la fusteria i aconseguir, al final, un millor resultat econòmic.

3.3 Qualitat d'estació en masses forestals

3.3.1 Definició i utilitats

La qualitat d'estació forestal es pot definir com la capacitat productiva (SERRADA, a AISA, 2000), poder productiu o virtualitat productiva (MACKAY, a IVARS, 2004) d'un lloc per a una espècie forestal determinada, de tal manera que dues masses són de la mateixa qualitat quan la combinació de les energies del sòl i del vol originen, durant la seva vida, productes iguals tant quantitativa com qualitativament.

Segons Serrada (a AISA, 2000), l'avaluació de la qualitat d'estació, des del punt de vista de gestió forestal, és important a efectes de:

- comparar diferents estacions entre si,
- comprovar possibles limitacions en el creixement o producció de la massa,
- imposar limitacions als tractaments i poder comparar els resultats d'aquests en diferents estacions,
- preveure i comparar les produccions futures de la massa forestal en diferents zones,
- poder avaluar l'evolució en el temps de la qualitat d'estació en un mateix lloc.

I es que la qualitat d'estació d'una massa és una de les eines més importants per a dur a terme una correcta gestió d'aquesta i és la base per a l'elaboració de les taules de producció. En aquest cas es fa necessari la construcció d'una taula per cada qualitat, doncs la producció varia completament en cada estació.

3.3.2 Mètodes d'avaluació de la qualitat d'estació

La qualitat d'una determinada estació i per a una espècie concreta es pot avaluar directament, a través de medicions repetides al llarg del temps, o bé a través d'indicadors productius indirectes (ORTEGA i MONTERO, 1988).

L'avaluació directa és un procés llarg i costós, doncs es tractaria de comptabilitzar el volum existent i l'extret en les intervencions silvícoles i la mortalitat natural que es produeixi. Per tant, és un mètode que no s'utilitza.

Dintre dels indicadors indirectes, es pot establir una divisió entre:

- Mètodes basats en factors intrínsecs o mètodes dendromètrics: es basen en la medició de paràmetres dendromètrics característics de la massa (alçada dominant o mitjana, creixement, volum total al final del torn, àrea basal, etc.)

- Mètodes basats en factors extrínsecs: s'utilitzen factors ecològics abiòtics (clima, edafologia, fisiografia, etc.) o es basen en la vegetació existent al lloc.

La fertilitat d'estació no es coneix al detall (característiques edafològiques, climàtiques, etc. del rodal), però una bona mesura de la productivitat forestal en la que ens podem guiar és l'alçada dominant ja que és sensible a les condicions ambientals entre les diferents qualitats d'estació (RODRÍGUEZ, 2005). Una reafirmació d'això és el que diu la llei d'Eichhorn ampliada segons la qual la producció d'una massa és només funció de la fertilitat de l'estació expressada per la seva alçada dominant i, per tant, independent de l'acció del silvicultor. La utilització de l'alçada dominant condueix al càlcul de l'Índex d'Estació o Índex de Lloc i les corbes d'alçada dominant (H_0) – edat (t).

3.3.3 Índex de Lloc

L'índex de lloc es defineix com l'alçada dominant aconseguida per un rodal ben poblat a una determinada edat, anomenada edat típica, de referència o base. És una bona eina per a la classificació de la qualitat d'estació.

L'edat de referència s'escull de forma arbitrària, per conveniència, i no per cap criteri biològic. No hi ha un únic criteri definit. Hi ha autors que agafen l'edat pròxima a la meitat del torn, mentre que altres opten per agafar l'edat a que finalitza el torn o bé al finalitzar el creixement en alçada de l'espècie. L'elecció de l'edat de referència pròxima al final del torn o a la ralentització del creixement presenta l'avantatge de que no es produiran grans canvis en la posició de les corbes. Escollir l'edat pròxima a la meitat del torn implica una estimació més precisa de l'índex de lloc per a masses joves (RODRÍGUEZ, 2005).

Per últim, cal esmentar la importància que té una bona elecció de l'edat de referència, doncs ens pot conduir cap a una elecció equivocada de la classificació de les qualitats.

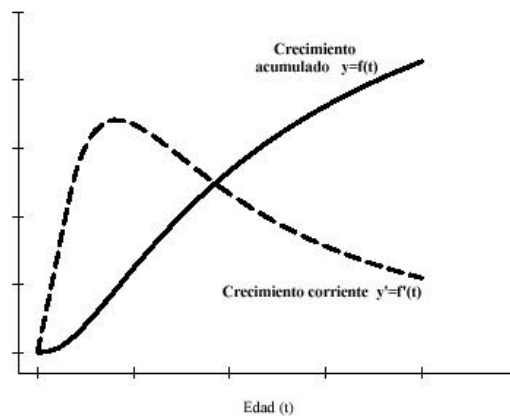
3.3.4 Corbes alçada dominant (H_0) – edat (t)

Les corbes de qualitat s'obtenen de la relació que s'estableix entre l'edat i l'alçada dominant de la massa. Les funcions de creixement que s'utilitzen descriuen el canvi de tamany que es produeixen en les plantes al llarg del temps expressant els dos factors antagònics que controlen el creixement: la tendència intrínseca cap a un creixement il·limitat i les restriccions i limitacions imposades pel medi exterior i la pròpia condició d'ésser viu.

Independentment de l'espècie que s'estudiï, el patró de creixement que segueixen les funcions de creixement és el d'una corba sigmoide (en forma de S). Aquest tipus de corba ha de representar els dos factors oposats exposats abans i, per tant, les funcions a aplicar han de presentar:

- Asíntota horitzontal: sigui quin sigui el creixement inicial en les diferents espècies, el creixement en alçada tendeix a disminuir en arribar a la maduresa, tendint a zero al anar-se morint.
- Punt d'inflexió: representa aquesta tendència a la disminució del creixement en alçada en arribar a la maduresa.
- Comportament lògic: els models han de presentar un comportament sempre creixent i han de passar per l'origen de coordenades.

Figura 1.5. Representació gràfica del creixement de les plantes ($y=f(t)$) junt a la seva primera derivada, representant el creixement corrent (RODRÍGUEZ, 2005).



3.3.5 Mètodes per a l'obtenció de les dades

Les dades per a la construcció de les corbes de qualitat es poden obtenir a partir de tres tipus de mètodes: parcel·les temporals, parcel·les permanents i reconstrucció dels patrons de creixement en alçada a partir de l'anàlisi del tronc.

La utilització de parcel·les temporals consisteix en prendre dades de parcel·les distribuïdes per tot el territori d'estudi representant totes les qualitats d'estació en totes les classes d'edat. És un mètode en que només cal entrar a la parcel·la una sola vegada però, per contra, no garanteix la bona representació de les dades ja que en la majoria dels casos manquen edats en les millors estacions, doncs són les que primer es tallen.

Les parcel·les permanents permeten tenir controlat l'evolució de l'alçada al llarg del temps donant unes bones bases de dades per a la construcció de les corbes de qualitat (CLUTTER, a RODRÍGUEZ, 2005). No obstant, les dades només estaran disponibles després d'un llarg període de temps i hauran suposat un elevat cost d'instal·lació i manteniment.

La reconstrucció dels patrons de creixement en alçada a través de l'anàlisi del tronc és una opció intermitja entre les anteriors ja que s'utilitzen parcel·les temporals però s'obtenen les sèries de creixement en alçada al llarg dels anys. Té l'elevat cost de tallar els arbres, però s'obtenen unes bones dades al moment. Aquest mètode pressuposa que els arbres dominants en el moment de prendre les dades ho han estat sempre. Un aspecte que cal considerar és que s'han de comptar els anells de creixement a l'alçada dels verticils i que, si això no és possible, s'ha d'aplicar algun mètode de correcció.

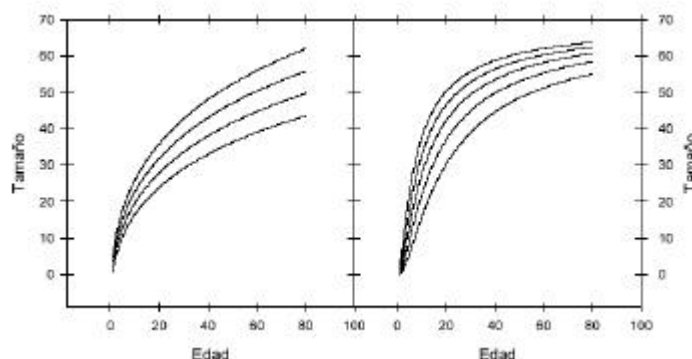
Les dades extretes de parcel·les temporals són independents, donant errors també independents, mentre que en els altres dos casos les dades tenen dependència temporal, la qual cosa comporta que els errors no són independents ni normalment distribuïts (RODRÍGUEZ, 2005). Són variats els autors i també són variades les mesures que s'han proposat per pal·liar l'autocorrelació dels residus.

3.3.6 Tipus de corbes de qualitat

Les corbes de qualitat relacionen el creixement en alçada amb el temps. Però aquesta relació es pot establir de dues maneres diferents donant lloc a dos tipus de corbes: anamòrfiques i polimòrfiques. Aquestes últimes es poden dividir altre cop en dos: proporcionals i estrictes.

Les corbes anamòrfiques són les primeres que es van començar a utilitzar a causa de la facilitat per construir-les i perquè es poden utilitzar dades procedents de parcel·les temporals. Són corbes proporcionals entre si i que difereixen per un canvi en el valor de l'asímtota del model utilitzat en funció als diferents índex d'estació. Aquest fet provoca que totes les corbes presentin un mateix patró de creixement, però culminant el creixement a diferents alçades.

Figura 1.6. Sèrie de corbes de creixement anamòrfiques, a l'esquerra, i polimòrfiques proporcionals, a la dreta (RODRÍGUEZ, 2005).



En les corbes polimòrfiques es fan necessàries sèries de creixement i, per tant, les dades han de provenir o bé de parcel·les permanents o bé de l'anàlisi del tronc. Són les més costoses de desenvolupar, però s'ha demostrat que la forma de la corba està correlacionada amb la qualitat de

l'estació, els estimadors no són esbiaixats per totes les edats i qualitats d'estació i es redueixen els errors en les estimacions (RODRÍGUEZ, 2005).

Les corbes polimòrfiques proporcionals tenen una asímptota comú i la seva proporcionalitat va lligada a un canvi d'escala en l'eix de l'edat, doncs es construeixen modificant el paràmetre del model que fa referència a la taxa de creixement, fent avançar o retrocedir en el temps el punt on es dona la inflexió de la sigmoide. La variació d'aquest valor també es troba en relació amb l'índex d'estació. En aquest cas, els creixements en totes les estacions culminen per a una mateixa alçada diferint entre ells el moment en que ho fan. Aquest tipus de corbes només es pot aplicar amb valors d'asímtota suficientment elevats per tal que es puguin representar totes les classes de qualitat.

Les corbes polimòrfiques estrictes mostren diferents patrons de creixement per a les diferents estacions. Això passa perquè s'utilitzen models particulars per cada índex d'estació. No hi ha cap tipus de proporcionalitat entre elles fent més complex el seu maneig, però donen resultats més exactes perquè es particularitzen els patrons de creixement per cada estació.

3.4 Taules de producció

Donat que les corbes de qualitat d'estació són la base de les taules de producció, sembla interessant donar-hi una pinzellada i explicar breument què són, quines variables inclouen, la utilitat que tenen i els tipus que es poden trobar.

3.4.1 Definició i utilitats

Les taules de producció són quadres numèrics que tracten de xifrar l'evolució amb l'edat de les variables d'una massa forestal coetània o regular d'una espècie determinada en un àmbit geogràfic determinat, per a diferents classes de qualitat d'estació i per als diferents règims silvícoles aplicables a la massa (MADRIGAL, 1999).

Inclouen variables d'entrada (alçada dominant, edat), variables de la massa forestal abans i després del tractament silvícola efectuat (densitat, diàmetre mig quadràtic, àrea basal, volum aprofitable, volum unitari de l'arbre mig), variables de la massa extreta (a les anteriors se li afegeix el volum extret acumulat en les diferents aclarides) i variables de massa total (volum total amb escorça, creixements anuals mitjà i corrent, àrea basal total).

Són varies les utilitats que tenen aquestes taules de producció. Madrigal (1999) les explica en 6 punts:

1. Classificació de les unitats últimes d'inventari segons classes de qualitat, per a l'agregació a altres equiproductives.
2. Estimació del creixement corrent de les unitats últimes d'inventari (a partir de l'edat i la qualitat). S'utilitzen factors de correcció (AB real/AB taula).
3. Estimació ràpida de volums d'una massa, conegudes l'edat i la qualitat i també amb el factor de correcció anterior.
4. Model del règim d'aclarides (mai com a model rígid)
5. Referència per a raonar i discutir torns de màxima renda en espècie, tecnològics i financers.
6. Si es considera que les taules són un model de forest normal, es poden usar per la discussió de la possibilitat.

3.4.2 Tipus de taules de producció

Ja des de mitjans del segle passat es van iniciar les elaboracions de taules de producció i des d'aleshores han anat evolucionant seguint diversos camins. Actualment es disposa de varis tipus de taules de producció:

- *Taules de producció d'existències normals o de producció normal.* Són les primeres que es van començar a elaborar a l'Estat Espanyol. Són taules d'espessor complet (tangència de capçades) que utilitzen l'espai de manera total i eficaç buscant la màxima producció i la màxima utilització dels recursos. Es basen en la construcció de parcel·les permanents durant diversos anys on es fan 4 – 5 inventaris i es trien edats escalonades, de tal manera que en el seu conjunt i després de 20 o 25 anys es cobreix tot el cicle productiu d'una espècie determinada.
- *Taules de producció de silvicultura mitja observada.* Es van començar a fer a partir dels anys 50 – 60 basant-se en un inventari únic de parcel·les d'experimentació que han de cobrir totes les edats o classes d'edats i les classes de qualitat d'estació de l'espècie estudiada en una àrea definida. A partir de les dades de l'inventari es calculen les relacions matemàtiques entre les variables que intervenen en les taules. Aquestes reflecteixen la silvicultura que realment s'està aplicant, la qual ha vingut essent d'aclarides prudents o moderades i que només permeten l'elecció d'un torn. Segueixen dos principis: la llei d'Eichhorn ampliada (relació directa entre la producció i l'alçada dominant – o mitja –, independentment de la qualitat d'estació) i la llei experimental d'Assman (constància de la productivitat total – en àrea basal i volum – dins d'un ampli règim d'aclarides).
- *Taules de silvicultura de referència.* S'elaboren a partir de les anteriors, oferint una alternativa silvícola que consisteix, normalment, en una intensificació de les aclarides.
- *Taules de producció de silvicultura variable.* Apareixen a principis dels anys 80 i representen diverses opcions silvícoles. Generalment inclouen diferents règims d'aclarides per a cada qualitat. En la seva construcció, s'utilitza una metodologia similar a la de les taules de silvicultura mitja però agrupant parcel·les segons tractaments.

Més recentment, han aparegut altres tipus de taules que pretenen determinar la intervenció que es precisa per a aconseguir un objectiu determinat. Són les *taules de silvicultura a la carta*, també anomenades *taules de gestió i aprofitaments a la carta*.

Aquest model, però, ha perdut interès davant l'aparició de models de simulació o de creixement gràcies a la millora de les tècniques estadístiques i la potència dels mitjans informàtics de càlcul. La simulació pretén predir la producció en funció de diversos tractaments i no es fa necessària la utilització d'un número fixa de qualitats. L'evolució de la densitat queda, fins a cert punt, lliure i se solen incloure efectes de les operacions culturals.

4 MATERIALS I MÈTODES

El present estudi s'ha dut a terme de forma paral·lela a dos estudis més que s'han realitzat a la mateixa zona, el Parc Comarcal del Castell de Montesquiú, i per a la mateixa espècie, el pi roig. El treball de camp s'ha efectuat conjuntament i les dades obtingudes han servit per als tres projectes finals de carrera.

Aquest fet ha estat determinant a l'hora d'escollir el tipus d'inventari a realitzar i el protocol a seguir així com a la presa d'algunes variables que en aquest estudi en particular no són necessàries per a l'obtenció dels resultats buscats: les corbes de qualitat.

Pel mateix raonament exposat, s'ha escollit la reconstrucció dels patrons de creixement en alçada d'arbres individuals en base a l'anàlisi del tronc, permetent la utilització de parcel·les temporals i l'obtenció de corbes anamòrfiques i polimòrfiques al disposar de series de creixement en alçada al llarg del temps.

4.1 Inventari

Per a la realització de l'inventari es compta amb dos tipus de parcel·les: les permanents i les temporals. Les parcel·les permanents impliquen la realització de medicions repetides sobre un mateix individu al llarg del temps mentre que les temporals es distribueixen per tot l'àmbit geogràfic d'estudi i s'inventarien una sola vegada obtenint la informació necessària en menor temps. Aquestes últimes (parcel·les temporals) són les que s'han realitzat en aquest estudi.

Bravo i Lizarralde (2004) expliquen que per a la determinació de les corbes de qualitat d'estació es precisa de masses pures de l'espècie a estudiar i, a més, han de complir una sèrie de característiques. Davant d'aquestes premisses, el disseny de mostreig és el d'un inventari dirigit en que l'elecció de les parcel·les s'ha guiat pel Pla Tècnic de Gestió i Millora Forestal, les indicacions del Tècnic i el Guarda del parc i pel protocol establert pels autors mencionats adaptant-lo a les nostres condicions.

4.1.1 Selecció de rodals

Abans d'anar a camp, es va fer un estudi de la zona mitjançant la cartografia i les fitxes on es descriuen les unitats d'actuació del Pla Tècnic de Gestió i Millora Forestal (JÜRGENS, 2000). En base a aquesta informació (Annex 2), per definir quines zones del parc eren les més interessants per establir-hi les parcel·les, es van aplicar i ajustar a les nostres condicions els criteris definits dins el protocol de Bravo i Lizarralde (2004):

- a) la massa presenti el *Pinus sylvestris* com a espècie principal,
- b) la seva àrea basal representi, almenys, el 60% del total,
- c) l'edat de la massa sigui de 20 anys o més,
- d) el rodal disposi d'una superfície suficient per a ubicar-hi una parcel·la,
- e) els límits de la parcel·la han d'estar a un mínim de 10 metres de qualsevol element del terreny que pugui causar efecte límit (camins, línies elèctriques, clarianes, etc.),
- f) inexistència d'actuacions silvícoles o danys importants per incendis o altres perturbacions en els últims 5 anys, i
- g) evitar aquells rodals on s'ha practicat selecció negativa.

Interessa, a més, treballar amb el més ampli rang de variabilitat de qualitat d'estació possible per tal de tenir-les totes representades i obtenir uns resultats el més fidels possibles a la realitat de la zona. Per tant, un cop a camp l'Enginyer de Forest i el Guarda del parc van anar indicant les zones on millor es donaven totes aquestes condicions.

Per poder identificar les qualitats d'estació i comprovar que s'abraçaven totes les possibles, es va procedir a calcular gràficament l'índex de lloc de les parcel·les que s'anaven seleccionant. L'índex de lloc (a la bibliografia es pot trobar com a *índice de sitio* o *índice de estación*, o bé *site index* en terminologia anglosaxona) és una eina de classificació de la qualitat d'estació i es defineix com l'alçada dominant d'un arbre a una edat de referència, també anomenada edat base o típica. Una més àmplia informació sobre aquest paràmetre es pot trobar al punt 1.3.3. (pàg. 14) d'aquest mateix projecte.

Per determinar l'índex de lloc, es va mesurar l'alçada total d'un arbre dominant, amb Vèrtex[®], i es va perforar a la base del tronc amb una berrina *Pressler* per tal de saber la màxima edat de l'arbre. L'arbre dominant es va escollir per observació directa d'entre els peus més gruixuts de l'interior de la parcel·la i amb capçada que rebés llum per dalt i parcialment pels laterals. Amb aquestes dues dades, alçada dominant i edat, es va calcular l'índex de lloc agafant com a referència les corbes de qualitat per a *Pinus sylvestris* pels Pirineus (GARCÍA i TELLA, 1986) i prenent una edat típica de 60 anys.

Es van seleccionar 24 rodals dels quals s'anotaven les coordenades UTM (X, Y, Z) del centre mitjançant GPS (*Geographic Positionement System*), s'identificaven amb números correlatius segons s'avança en la selecció i es feia una breu descripció de l'accés. Com a centre de parcel·la s'agafava, generalment, un arbre o un arbust i se li lligava una cinta plàstica amb el número corresponent. La ubicació de les parcel·les i les seves característiques es recullen a l'annex 4.

4.1.2 Replanteig de parcel· les

En un primer moment, l'inventari estava dissenyat per a fer parcel· les circulars concèntriques, imitant el II Inventari Nacional Forestal. És el mètode a que es tendeix actualment i es basa en el principi del relascopi: a més distància del centre, més gruixuts són els arbres inventariables. L'inventari hagués consistit en formar subparcel· les de 15, 10 i 5 metres de radi i inventariar arbres de 225, 125 i 75 mm de diàmetre normal, respectivament. Però davant les condicions físiques del terreny (abrupte i d'elevada pendent), el dens sotabosc de boixos i esbarzers i del temps material de que es disposava, es va optar per parcel· les circulars convencionals de radi 10 m.



Figura 3.1. Parcel· la d'inventari (Foto: Óscar García)

Les parcel· les circulars eviten l'efecte límit, al contrari que les quadrades o rectangulars (PARDÉ i BOUCHON, a ROMÀ, 2002), i són més fàcils d'identificar en posteriors inventaris, ja que només cal conèixer el centre. En principi, el centre ja s'havia fixat en la selecció de rodals però en alguns es va haver de modificar per assegurar els 10 metres de distància de qualsevol pertorbació de la massa que pogués alterar-ne el creixement (MADRIGAL *et al.*, 1999).

4.1.3 Dades preses en l'inventari i material utilitzat

Un cop seleccionades les parcel· les, amb el Vèrtex[®] s'identifiquen els peus dels límits i es mesuren tots els arbres inventariables de l'interior. Són arbres inventariables els que superen els 75 mm de diàmetre normal. Al moment de mesurar la distància amb el Vèrtex[®] es va corregir la pendent posicionant el vèrtex a la mateixa alçada que l'emissor, fixat a l'arbre o arbust central de la parcel· la.

Aunós i Rodríguez (a RODRÍGUEZ, 2005) van determinar l'elevada precisió que ofereix aquest instrument en xoperes i durant aquest treball de camp s'ha pogut comprovar el seu bon funcionament en la medició de distàncies i alçades, fins i tot a través d'una vegetació tan espessa com la present a la zona d'estudi. Cal considerar el detall que quan les motoserres estan en funcionament el vèrtex deixa de rebre senyal, segurament degut a les interferències que produeixen les vibracions a les ones que emet l'emissor.

Figura 3.2. Vèrtex utilitzat per mesurar distàncies i alçades.



Les variables que es prenen en l'inventari són:

- Número de parcel·la: es correspon al número assignat en el moment de la selecció del rodal.
- Coordenades UTM (x, y, z), adquirides amb el GPS i contrastades sobre el mapa topogràfic.
- Pendent, en percentatge, mesurat a camp i sobre el mapa topogràfic.
- Exposició, observada a camp i sobre mapa topogràfic.
- Descripció silvícola de la massa.
- Espècie (*Esp.*). S'inventarien tots els peus inventariables situats a l'interior de la parcel·la. Només així es poden conèixer les relacions de competència a que està sotmesa la massa i l'àrea basal que suposa el pi roig (criteri de selecció de parcel·les).
- Diàmetre normal (D_n), en mil·límetres. És el diàmetre a 1,30 m del terra. S'ha mesurat el diàmetre en creu amb forcípula mil·limètrica de braç mòbil per després treure'n el promig. Un dels diàmetres es correspon al que està en la direcció del centre de la parcel·la i el segon és el perpendicular.

4.1.4 Selecció dels peus a barrinar i dels peus a tallar i dades preses

De les 24 parcel·les inventariades, se'n van descartar quatre per a aquesta fase: la 1, la 2, la 14 i la 20. La parcel·la 14 es va eliminar perquè, un cop realitzat l'inventari diametral, es va observar una manca de regularitat de la massa. Per manca de temps, es van haver d'excloure les altres tres

agafant com a criteri la similitud de l'índex de lloc amb altres parcel·les on ja s'havia entrat a tallar i barrinar.

D'entre els peus inventariats de *Pinus sylvestris* de cada parcel·la, es seleccionen dos individus dominants i un de dominat per a ser abatuts i trossejats i, per altra banda, dos peus d'àrea basal promig i un individu dominat (diferent a l'anterior) per a ser perforats. Es considera que amb aquest nombre d'individus es tindrà una mostra suficientment gran com per fer els tres projectes proposats.

Es consideren arbres dominants aquells que presenten capçades per damunt del nivell general i que reben llum per dalt i parcialment pels laterals i com a arbres dominats aquells que presenten capçades més petites i es troben dins del nivell general de les capçades rebent poca llum per dalt i pràcticament gens pels laterals (BRAVO i LIZARRALDE, 2004). Els peus d'àrea basal promig són els que tenen el diàmetre quadràtic mig, valor que s'extreu de les dades de l'inventari realitzat.

Els arbres objecte de ser abatuts se'ls marca amb esprai (de color groc o vermell si és dominant i de color blanc o verd si és dominat). A l'alçada de 1,30 metres (punt on es tallarà la primera trossa) i se'ls assigna un número (senar si és dominant i parell si és dominat). Se'ls mesura l'alçada total (*Ht*) i l'alçada de capçada (*Hc*), en metres, amb el Vèrtex[®] quan l'arbre està en peu i amb cinta mètrica un cop abatut i abans de desbrancar i trossejar. La primera trossa arriba fins al 1,30 m del terra (diàmetre normal) i a partir d'aquesta es continua trossejant cada 2 metres, aproximadament, i fins a 70 mm en punta. Per no perdre la referència, a cada una de les trosses se li assigna una lletra.



Figura 3.3. Arbre abatut i trossejat i mesurament de les trosses amb cinta mètrica (Foto: Óscar García)

Es defineix l'alçada total com aquella que té l'arbre des de la seva base fins la punta de la capçada. L'alçada de la capçada és la que té l'arbre des de la seva base fins on s'insereix el primer conjunt de branques que ocupen tres quartes parts de la circumferència de l'arbre i representin la base d'una capçada contínua (BRAVO i LIZARRALDE, 2004).

Un cop trossejat l'arbre, es mesuren la longitud de les trosses, en metres, amb la cinta mètrica i els diàmetres de les testes i del centre de les trosses, en mil límetres, mitjançant la forcípula. En aquest cas, només s'ha pres una sola mesura dels diàmetres per la dificultat que presentava giravoltar la trossa. De cada testa se'n treu una fotografia digital (amb resolució de 300 x 300 ppp) per tal de comptar, posteriorment a laboratori, els anells (l'edat) per a cada alçada.

Als arbres objecte de ser perforats també se'ls assigna un número (senar si és de diàmetre quadràtic mig i parell si és dominat), correlatius als anteriors. Se'ls mesura l'alçada total (Ht) i l'alçada de capçada (Hc), en metres, amb Vèrtex[®], i el diàmetre en creu a l'alçada de pit, en mil límetres, amb la forcípula.

Les perforacions es fan amb barrina *Pressler* de 40 cm x 5 mm de diàmetre interior a l'alçada d'1,30 m del terra. La direcció que s'agafa és a l'atzar per tal de controlar els efectes d'excentricitat en el creixement radial del conjunt de la mostra (ROLLAND *et al.* a ROMÀ, 2002).

Figura 3.4. Utilització de la barrina *Pressler* (Foto: Óscar García)



De totes aquestes dades, per a l'obtenció de les corbes de qualitat només seran necessàries les longituds de les trosses i les fotografies digitals.

4.2 Elaboració de les dades

L'estudi de les corbes de qualitat es fonamenta en la relació alçada dominant – edat. Per tant, el que ens interessaran seran les dades extrems dels arbres dominants de la massa per a obtenir les corbes de qualitat del Parc del Castell de Montesquiú i per a comparar el model que segueixen amb les d'altres zones de pi roig que s'han fet estudis.

No obstant, forma part dels objectius d'aquest projecte comparar els patrons de creixement entre els arbres dominants i els dominats. Es tindran, doncs, dos blocs de dades que es tractaran seguint el mateix procediment.

Les dades anotades a les fitxes de camp s'introdueixen en una fulla de càlcul de tal manera que quedin reflectides les parcel·les, el codi de l'arbre, el codi de la trossa i l'alçada. És el moment de completar la informació amb la variable explicativa dels models de creixement: l'edat.

A través de les fotografies digitals de les testes de les trosses i mitjançant el programa *Paint* del sistema operatiu *Windows*® 98, es van comptant el número d'anells que tenen els arbres per a cada alçada. Es considera la base de la primera trossa com a edat 0 anys i es calcula per cada trossa l'edat que té. La fórmula a aplicar serà:

$$E_i = a - a_i$$

on E_i és l'edat a l'alçada i , a és el número d'anells a la base de la primera trossa i a_i és el número d'anells a l'alçada i .

Al moment de comptar els anells a través de fotografies, hi juguen factors com la resolució de les fotografies, la llum, la quantitat de resina que ha tret l'arbre o les marques de les dents de la serra. En aquest projecte s'han seguit tres regles per a determinar si el número d'anells comptats és correcte:

1. el número d'anells ha de seguir una seqüència lògica al llarg del tronc, és a dir, el número d'anells ha de disminuir a mesura que l'alçada de l'arbre augmenta,
2. dins d'una mateixa parcel·la els arbres no poden presentar molta variació d'edat (són parcel·les d'estructura de massa regular), i
3. gràficament, dins de cada parcel·la els arbres han de seguir un mateix patró de creixement.

Hi ha, però, un factor a considerar. La reconstrucció dels patrons de creixement en alçada d'arbres individuals en base a l'anàlisi del tronc com a mètode de presa de dades suposa que el creixement anual en alçada s'acaba al punt on es talla la trossa. Aquesta suposició és errònia ja que la fi del creixement primari pot ocórrer en qualsevol punt entre dos talls sense poder saber-se exactament a

quina alçada passa. Aquest error es pot salvar si es talla just al punt on s'insereixen els verticils, però això no sempre és possible i, per tant, es fa necessari aplicar algun tipus d'interpolació. Dyer y Bailey (a GARCÍA, 1995) van trobar que un bon mètode per a la correcció és el que va proposar Carmean.

El "mètode de Carmean" suposa un increment anual constant en alçada entre dos nivells successius amb els talls efectuant-se al centre de l'increment. Per aplicar aquest concepte, es divideix la distància entre dos talls successius entre el nombre d'anells obtenint un increment mig k (GARCÍA, 1995). Expressat matemàticament és:

$$\Delta k = \frac{h_{i+1} - h_i}{n_i - n_{i+1}}$$

on h_{i+1} i h_i són les dues alçades consecutives i n_i i n_{i+1} són el nombre d'anells successius. Les alçades estimades sobre el nivell del tall inferior són, aleshores, $k/2$, $k/2+k$, $k/2+2k$,... Per tant, l'alçada observada queda corregida aplicant:

$$H_i = h_{i-1} + \frac{k}{2} + (n_i - n_{i-1} - 1)k$$

on H_i és l'alçada estimada amb la correcció al punt i , h_{i-1} és l'alçada observada a la secció inferior del tall i , n_i i n_{i-1} són el nombre d'anells entre aquests dos talls i k és l'increment anual entre ells.

4.3 Anàlisi estadístic

4.3.1 Dades de partida

Les dades obtingudes de l'anàlisi del tronc, donen lloc a dues bases de dades. Per una banda, la procedent de l'estudi de 40 peus dominants i, per l'altra, la procedent de l'anàlisi de 20 peus dominats. Les dues mostres, però, segueixen el mateix tractament estadístic per tal d'obtenir els patrons de creixement o corbes guia.

La taula 3.1. mostra els estadístics descriptius de les variables edat (expressada en anys) i alçada (expressada en metres) dels individus dominants i dominats sobre els que s'han obtingut les mostres.

Taula 3.1. Estadístics descriptius de les variables edat i alçada dels peus dominants i dominats, on N representa el nombre d'individus seleccionats per a l'estudi del fust.

	DOMINANTS (N = 40 peus)		DOMINATS (N = 20 peus)	
	Edat (anys)	Alçada dominant (m)	Edat (anys)	Alçada dominant (m)
Màxim	87	21,9	83	18,2
Mínim	30	12,7	26	10,2
Mitja	53	16,6	48	13,6
Desviació típica	15,9	2,1	13,8	1,9

Dels peus dominants s'obté una primera mostra formada per 324 parells de dades alçada – edat i serveix per a l'obtenció de les corbes de qualitat del parc. Dels individus dominats, per la seva banda, aporten 130 parells de dades alçada – edat que s'utilitzen per a extreure el patró de creixement que segueixen els individus dominats i comparar-lo amb la pauta que presenten els peus dominants.

En les figures 3.5. i 3.6. es representen gràficament la relació dels parells de dades alçada – edat (en metres i anys) per als peus dominants i els peus dominats, respectivament.

Figura 3.5. Relació gràfica dels parells de dades alçada (m) – edat (anys) per a la mostra de peus dominants

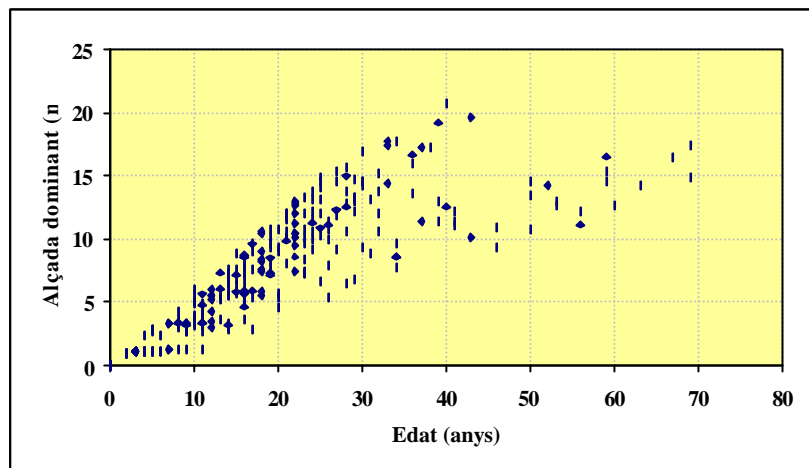
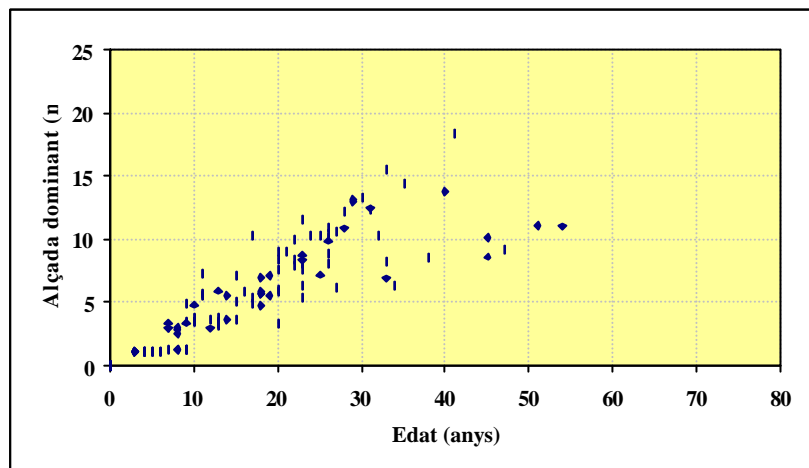


Figura 3.6. Relació gràfica dels parells de dades alçada (m) – edat (anys) per a la mostra de peus dominants



En les figures es pot veure com el gràfic es va obrint a mesura que creixen els individus i, sobretot en els peus dominants, per sobre dels 45 anys s'hi observa una significativa falta de dades en la direcció dels punts que tendeixen a reflectir un ritme de creixement en alçada més elevat en el temps.

La causa d'aquest fet s'ha d'anar a buscar en la silvicultura que s'ha aplicat a la zona en temps passats: la selecció negativa. Aquesta pràctica consisteix en anar a buscar uns productes concrets i, en aquest cas, es buscaven els pins amb unes majors dimensions per tal de treure'n un major rendiment econòmic. Tot i que no es disposa de dades de la quantitat de producte extret, se sap que en el moment en que la finca va passar a mans de la Diputació de Barcelona es van realitzar aprofitaments en els quals s'entrava en les parcel·les de millor qualitat, on el creixement en alçada és més ràpid, i es deixaven sense actuar en aquelles altres parcel·les on les condicions de creixement no eren tant favorables.

Davant aquest major nombre de dades referents a parcel·les de qualitat inferior, s'ha de tenir en compte que podrien donar lloc a patrons de creixement amb valors per sota dels reals. Aquest fet té rellevància en l'estudi de les corbes de qualitat ja que podrien quedar no reflectides totes les qualitats existents i es tendria a subestimar les qualitats que realment hi ha a la finca donant peu a considerar unes produccions inferiors de les masses de pi roig.

Per aquest motiu, s'han assajat els models de creixement en base a dues mostres: una agafant totes les dades i l'altra eliminant les dades que es corresponen a edats superiors als 45 anys. En aquest últim cas, es treballa amb una mostra de 266 parells de dades alçada – edat en peus dominants i 107 parells de dades per a la mostra de dominats. Les figures 3.7. i 3.8. són la representació gràfica dels parells de dades alçada – edat en que no es consideren edats superiors als 45 anys i on s'observa un més bon equilibri de la informació que es té de totes les qualitats d'estació presents a la finca.

Figura 3.7. Relació gràfica dels parells de dades alçada (m) – edat (anys) per a la mostra de peus dominants sense considerar edats superiors als 45 anys.

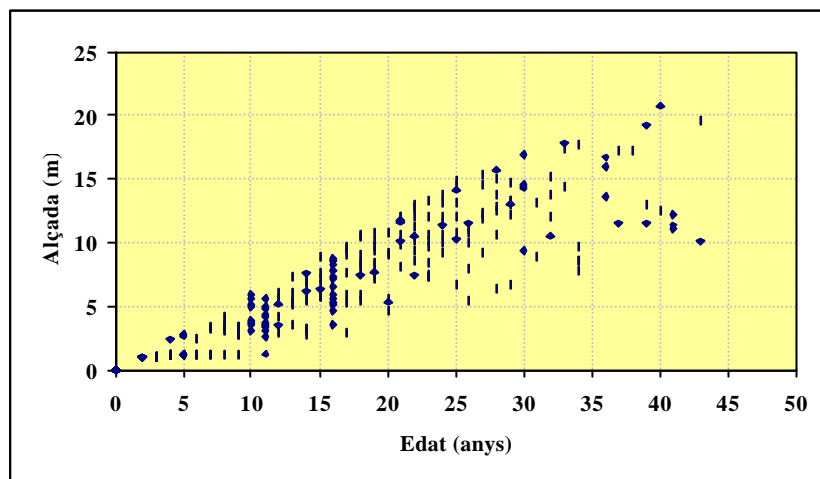
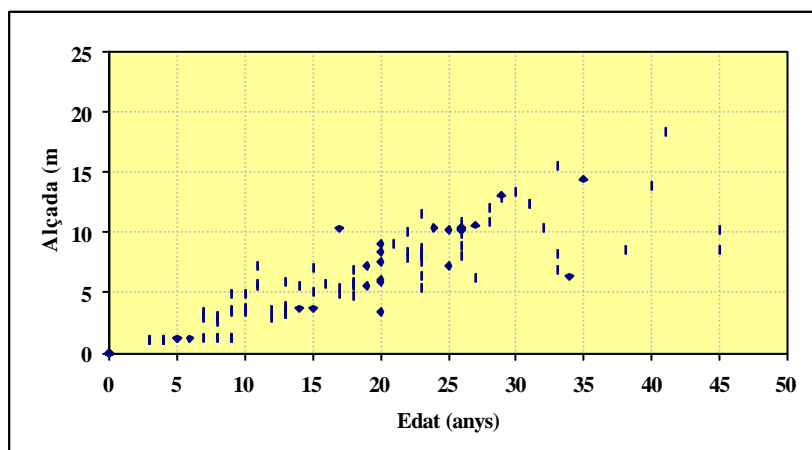
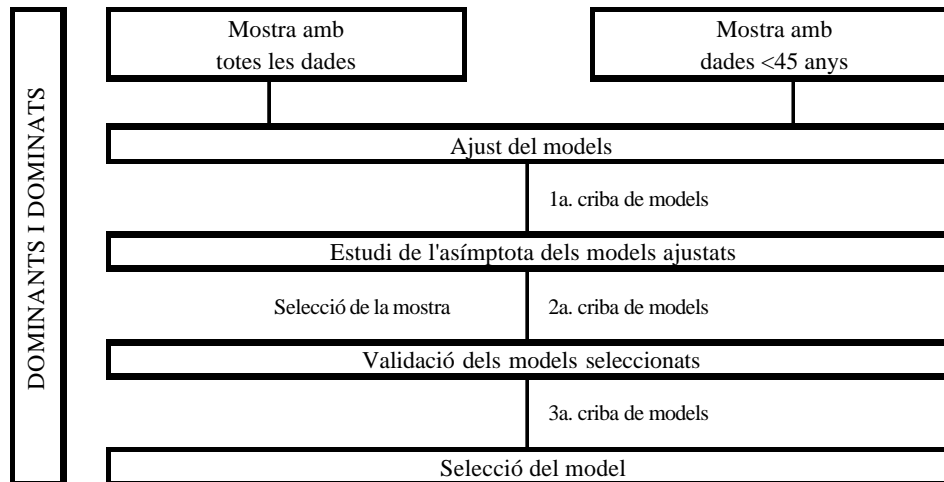


Figura 3.8. Relació gràfica dels parells de dades alçada (m) – edat (anys) per a la mostra de peus dominants sense considerar edats superiors als 45 anys.



Per tal de tenir la màxima informació al moment d'escollir la base de dades, a part d'estudiar els estadístics i els gràfics de residus dels models obtinguts en la fase d'ajust i per cada base de dades, també es representen gràficament les corbes guia per cada funció de creixement (annex 6) i es calculen les seves asímptotes. El procés a seguir fins a l'obtenció dels patrons de creixement serà el següent:



4.3.2 Ajust dels models

El mètode a utilitzar per a l'elaboració de les corbes de qualitat és el de la corba guia (ALDER, a RODRÍGUEZ, 2005). Consisteix en obtenir la corba promig que millor s'ajusta a la relació dels parells de dades alçada dominant – edat. A partir d'aquesta, determinant l'edat típica i el nombre de qualitats que es volen treure, es construeixen les corbes de qualitat d'estació donant diferents valors al paràmetre referent a l'asímtota o bé al referent a la taxa de creixement segons es vulguin obtenir corbes anamòrfiques o bé corbes polimòrfiques, respectivament.

Kiviste (2002) descriu fins a 74 funcions de creixement diferents utilitzades en modelització forestal de les quals s'han escollit per estudiar aquelles que compleixen les característiques bàsiques de les funcions de creixement: tenir un punt d'inflexió, tenir una asímtota horitzontal, presentar un comportament lògic i seguir una base biològica. En total han estat 20 els models escollits i la seva formulació es presenta a la taula 3.2., juntament amb les restriccions que han de complir els paràmetres a estimar. En tots els models, la y representa l'alçada, la t és la variable explicativa edat i les a , b , c i d són els paràmetres a estimar.

Es tracta, tots ells, de models no lineals que s'han tractat amb el procediment estadístic NLIN i MODEL del paquet estadístic SAS/STAT™ (2001) i SAS/ETS™ (2001), respectivament. NLIN ajusta pel mètode de mínims quadrat ordinaris, mentre que MODEL ho fa pel mètode de màxima

versemblança. La raó per la qual s'han utilitzat els dos mètodes no és altre que obtenir una major informació dels paràmetres.

Taula 3.2. Formulació de les funcions de creixement estudiades i restriccions que han de complir els paràmetres a estimar (KIVISTE, 2002)

Model	Fórmula	Restriccions	Model	Fórmula	Restriccions
Hossfeld I (modificada)	$y = \frac{t^2}{(a+bt)^2}$	$a > 0$	Hossfeld II	$y = \frac{t(a+bt^2)}{c+t^3}$	$c > 0$
Strand	$y = \left(\frac{t}{a+bt}\right)^3$	$a > 0$ $b > 0$	Smalian	$y = \frac{t}{a+bt+ct^2}$	$a > 0$ $c > 0$
Hossfeld IV	$y = \frac{t^c}{(a+bt^c)}$	$a > 0$ $c > 1$	Todorovic I	$y = \frac{t^3}{a+bt+ct^2+dt^3}$	$d > 0$
Levakovic I	$y = a\left(\frac{t^c}{b+t^c}\right)^d$	$a > 0$ $b > 0$ $c > 0$ $d > 0$	Todorovic II	$y = \left(\frac{t^2}{a+bt+ct^2}\right)^d$	$a > 0$ $c > 0$ $d > 0$
Levakovic II	$y = a\left(\frac{t}{b+t}\right)^c$	$a > 0$ $b > 0$ $c > 1$	Gemesi	$y = e^{t/a+bt} - 1$	$a > 0$ $b > 0$
Levakovic III	$y = a\left(\frac{t^2}{b+t^2}\right)^c$	$a > 0$ $b > 0$ $c > 0$	Todorovic VII	$y = a\left(\frac{t}{bt+1}\right)^{c/(1+t)}$	$a > 0$ $b > 1$ $c > 0$
Mitscherlich I (Richards – Chapman)	$y = a(1 - e^{-bt})^c$	$a > 0$ $b > 0$ $c > 0$	Thomasius I	$y = a[1 - e^{-bt(1-e^{-ct})}]$	$a > 0$ $b > 0$ $c > 0$
Weibull II	$y = a(1 - e^{-bt^c})$	$a > 0$ $b > 0$ $c > 1$	Thomasius II	$y = a[1 - e^{-bt(1-e^{-ct})}]^d$	$a > 0$ $b > 0$ $c > 0$ $d > 1$
Todorovic III	$y = a(1 - e^{-bt^c})^d$	$a > 0$ $b > 0$ $c > 0$ $d > 0$	Kövessy	$y = a\left(\frac{1-e^{-bt}}{b} - \frac{1-e^{-ct}}{c}\right)$	$a > 0$ $c > b$
Bass	$y = \frac{a(1 - e^{-bt})}{1 + ce^{-bt}}$	$a > 0$ $b > 0$ $c > 0$	Van der Vliet	$y = a\left[1 - \left(1 + \frac{2t}{b} + \frac{2t^2}{b^2}\right)e^{-2t/b}\right]$	$a > 0$ $b > 0$

Les corbes de qualitat donen residus heterocedàstics per definició, doncs en la pressa de dades s'han de mesurar diferents parcel·les amb la màxima variabilitat d'estació entre elles (BRAVO i LIZARRALDE, 2004), la qual cosa suposa una gran variabilitat en el creixement en alçada dels individus. Per tant, tot i la possibilitat de poder corregir la heterocedasticitat dels residus mitjançant ponderació dels models, s'ha desestimat en aquest estudi.

Per avaluar la bondat d'ajust dels models, s'han analitzat gràfica i numèricament els seus residus, és a dir, la diferència entre l'alçada observada (y_i) i l'alçada estimada (\hat{y}_i) de cada individu i , i s'ha calculat el biaix mig per avaluar la desviació del model respecte als valors observats, l'error absolut mig (*ecm*) i l'arrel de l'error quadràtic mig (*recm*) per analitzar la precisió de les estimacions. També s'han calculat el criteri d'informació d'Akaike (*AIC*) i el criteri Bayesià d'informació (*BIC*), com a estadístics de selecció.

Peña (2002) considera que el criteri bayesià selecciona models més parsimoniosos (amb menor nombre de paràmetres) que AIC. Entre aquests dos criteris, la diferència es troba en l'objectiu que persegueixen: mentre BIC selecciona el model correcte amb màxima probabilitat *a posteriori*, AIC tracta d'obtenir el model que proporcioni millors prediccions d'entre els existents.

Taula 3.3. Formulació dels estadístics calculats amb les abreviacions utilitzades

ESTADÍSTIC	ABREVIACIÓ UTILITZADA	FORMULACIÓ
Biaix	-	$\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)}{n}$
Error absolut mig	<i>eam</i>	$\frac{\sum_{i=1}^n y_i - \hat{y}_i }{n}$
Arrel de l'error quadràtic mig	<i>recm</i>	$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n - p}}$
Criteri d'informació d'Akaike	<i>AIC</i>	$n \cdot \ln \mathbf{s}^2 + 2(p + 1)$
Criteri Bayesià d'informació	<i>BIC</i>	$n \cdot \ln \mathbf{s}^2 + p \cdot \ln(n)$

on, n és el número d'observacions, p és el número de paràmetres del model i \mathbf{s}^2 és el promig de quadrats d'error del model.

Com a estadístic de bondat d'ajust, s'ha estudiat el coeficient de determinació ajustat (R^2_{adj}), el qual representen la part de la variança explicada pel model tenint en compte el número de paràmetres. Essent \bar{y}_i el promig de les alçades mesurades, la seva formulació és:

$$R^2_{adj} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2} \cdot \left(\frac{n-1}{n-p} \right)$$

Els models presenten varis paràmetres a estimar i aquest fet pot donar lloc a una existència de colinealitat entre ells i, conseqüentment, causar inestabilitat en l'algorisme iteratiu afectant a la precisió de les estimacions, és a dir, que petits canvis en les dades comportin canvis significatius als paràmetres. Tot i que interessa treballar els models de manera predictiva, s'ha considerat interessant avaluar la colinealitat entre els paràmetres del model mitjançant l'índex de màxima condició (*IC*) o arrel quadrada del quocient del major valor propi de la matriu de covariances entre el mínim valor propi:

$$IC = \sqrt{\frac{I_{\max}}{I_{\min}}}$$

on I representa l'autovalor de la matriu de covariances. Es considera que si el valor de IC es troba pròxim a 10, existeix una colinealitat dèbil i si és superior a 100 les estimacions es poden veure afectades. Belsley (a PEÑA, 1993) situa en 30 el límit per considerar una elevada colinealitat, entre 10 i 30 la colinealitat és moderada i per sota de 10 la matriu està ben definida.

Un altre estadístic que s'ha utilitzat és el de Hougaard, definit per primer cop per Ratkovsky el 1990. Aquest estadístic comprova la linealitat dels paràmetres analitzant l'asimetria de la seva distribució. Quan el valor absolut de l'estadístic és inferior a 0,1, el paràmetre té un comportament aproximadament lineal i entre 0,1 i 0,25 ho és raonablement. Superior a 0,25 l'asimetria és evident i per damunt de la unitat la no – linealitat del paràmetre és considerable, la qual cosa significa que pot ser esbiaixat i difícilment interpretable.

4.3.3 Estudi de l'asímtota dels models

L'ajust de models i el càlcul d'estadístics únicament ens permet descartar aquells models que no expressen el creixement en alçada dels individus de les mostres. En cap moment, però, poden aportar informació referent a quina és la millor mostra a utilitzar per determinar l'evolució dels individus al llarg del temps, així com tampoc quin de tots ells és el que millor expressa aquest creixement en alçada.

Cal que hi intervingui algun paràmetre que faci referència a un criteri biològic i que doni informació d'acord amb l'espècie estudiada en concret. El paràmetre que s'ha considerat és l'asímtota de la funció.

L'asímtota indica a quina alçada l'individu estabilitza el seu creixement. Caldrà tenir present, doncs, les dimensions que són pròpies del *Pinus sylvestris*. Per un altre costat, en la representació gràfica de les corbes guia s'hi pot veure expressat el comportament de les funcions de creixement, és a dir, si aquesta estabilització del creixement primari es va a buscar més o menys aviat en el temps.

El valor de l'asímtota i les corbes guia són els factors determinants al moment de seleccionar el tipus de mostra i el model que millor determina el creixement.

4.3.4 Validació dels models

Per aconseguir una millor selecció del model, s'ha dut a terme un procés de validació a través del procediment MODEL del paquet estadístic SAS/ETS™ (2001). Hi ha tres maneres de dur a terme una

validació de models. Una d'elles queda directament descartada doncs es tracta de validar una mostra independent en el temps i en l'espai, i de la qual no es disposa. Els altres dos mètodes són per validació creuada (*cross – validation*) i per fragmentació de la mostra (*split sample*). Ambdós estimen l'error del model, però la diferència rau en que *cross – validation* utilitza la mostra sencera i *split sample* la fragmenta en dues sub-mostres, una per la fase d'ajust i l'altre per la de validació.

En el present projecte s'han validat els models mitjançant validació creuada (*leave – one – out cross – validation*), o del residus eliminats, al ser una tècnica més robusta que la fragmentació de la mostra (*split sample*). El procés consisteix en ajustar el model n vegades (essent n el nombre total d'observacions) i en cada ajust s'elimina una observació i es calcula el valor previst pel model.

En el cas que ens ocupa, l'observació fa referència a la parcel·la. Això és així perquè els parells de dades alçada- edat per un mateix arbre estan relacionades i, al mateix temps, s'ha pogut observar que, dins de cada parcel·la, els peus tenen una mateixa classe d'edat i aconseguen uns creixements en alçada similars. Per tant, es tindran 20 observacions i el programa ajustarà el model 20 vegades, o sigui que el mètode de validació es podria denominar com a validació creuada per parcel·la (*leave-one-stand-out cross-validation*).

Finalment, per avaluar la bondat de la validació creuada s'han analitzat els residus gràfica i numèricament utilitzant, com a estadístics, l'arrel de l'error quadràtic mig (*recm*) i el criteri Bayesià d'informació (*BIC*) per ser els que millor informació donen del comportament del model. Es fa necessari modificar una mica la fórmula matemàtica del *recm* ja que en aquesta ocasió els residus s'obtenen de la diferència entre l'alçada observada (y_i) i l'alçada prevista quan s'elimina l'observació i -èsima ($\hat{y}_{i(i)}$):

$$recm = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_{i(i)})^2}{n - p}$$

Aquests estadístic permet comprovar la robustesa del model per comparació amb els valors obtinguts durant l'ajust. Per tal que el model sigui vàlid, han de donar resultats similars. Per contra, si existeix una diferència molt gran, del doble o el triple, es suggereix que falta mostra.

4.4 Corbes de qualitat per a *Pinus sylvestris* L. al Parc Comarcal del Castell de Montesquiú

Un cop obtinguda la funció que millor explica el creixement en alçada del peus dominants, s'han de substituir les variables pels valors de la nostra base de dades i es forma així la corba guia a partir de la qual en sortiran les corbes de qualitat d'estació.

En aquest projecte s'han estudiat els dos tipus de corbes possibles: anamòrfiques i polimòrfiques, i dintre d'aquestes les dues variants que hi ha, les proporcionals i les estrictes. En el cas de les corbes anamòrfiques, es donen diferents valors al paràmetre que fa referència a l'asímtota en funció als índexs d'estació establerts a una edat tipus. En les corbes polimòrfiques proporcionals se segueix el mateix procés però el que varia aquí és el paràmetre que es refereix al creixement.

L'índex de lloc no és més que l'alçada dominant a una determinada edat i , per tant, en la funció del model seleccionat només cal aïllar el paràmetre buscat substituint la variable alçada dominant (H_0) per l'índex de lloc corresponent i la variable edat (E) pel valor establert com a edat de referència. Són els nous valors del paràmetre obtinguts els que s'apliquen a la funció de creixement per construir les corbes de cada classe de qualitat.

L'edat de referència i el nombre de qualitats s'han establert segons les dades que es tenen i els resultats que s'han obtingut. Per tant, queda explicat al capítol de "Resultats i discussió".

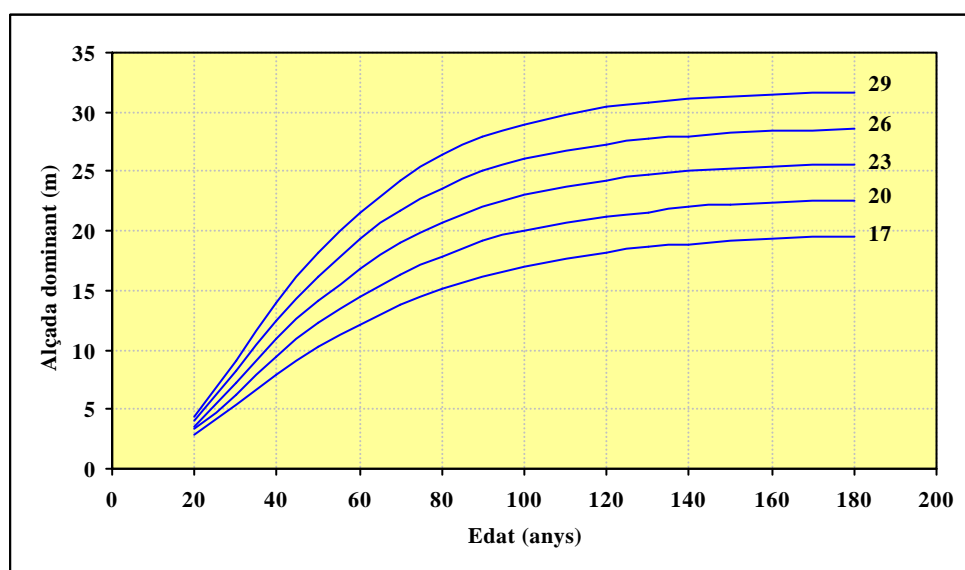
En les polimòrfiques estrictes, s'ha de dur a terme un nou ajust dels models en funció a les qualitats d'estació provisionals establertes en base a les dades de camp (annex 3). Les funcions de creixement a ajustar són únicament aquelles que també han servit en l'anterior fase de validació. De cada model es calcula els estadístics dels residus (biaix, ecm , $recm$, BIC , AIC i R^2_{adj}), així com l'estadístic de Hougaard i l'índex de màxima condició (IC) dels paràmetres estimats. Per cada qualitat es selecciona el model que millor s'ajusta i es procedeix a construir la corba sigmoide corresponent amb els parells de dades alçada dominant – edat.

4.5 Comparació amb altres corbes de qualitat per a *Pinus sylvestris* L.

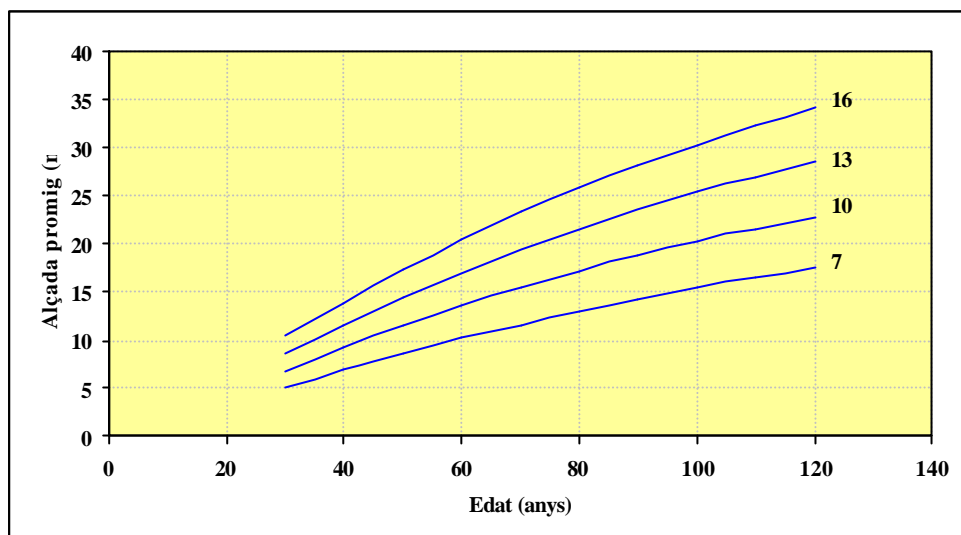
El segon objectiu marcat en aquest estudi és el de comparar les corbes de qualitat que s'obtinguin amb les existents per al *Pinus sylvestris* per a altres regions i, així, comprovar si hi ha algun tipus de relació que les faci susceptibles d'aplicar en altres zones de distribució de l'espècie.

Com a base de comparació s'utilitzaran les que recull Madrigal (1999) i que es corresponen a les principals àrees de distribució del pi roig a la Península: Sierra de Guadarrama, Sistema Ibèric i Pirineus. Així mateix, hi afegeix les corresponents a la regió de Sologne, a França, per considerar-les aptes d'aplicar a la Península en no disposar d'estudis sobre masses artificials:

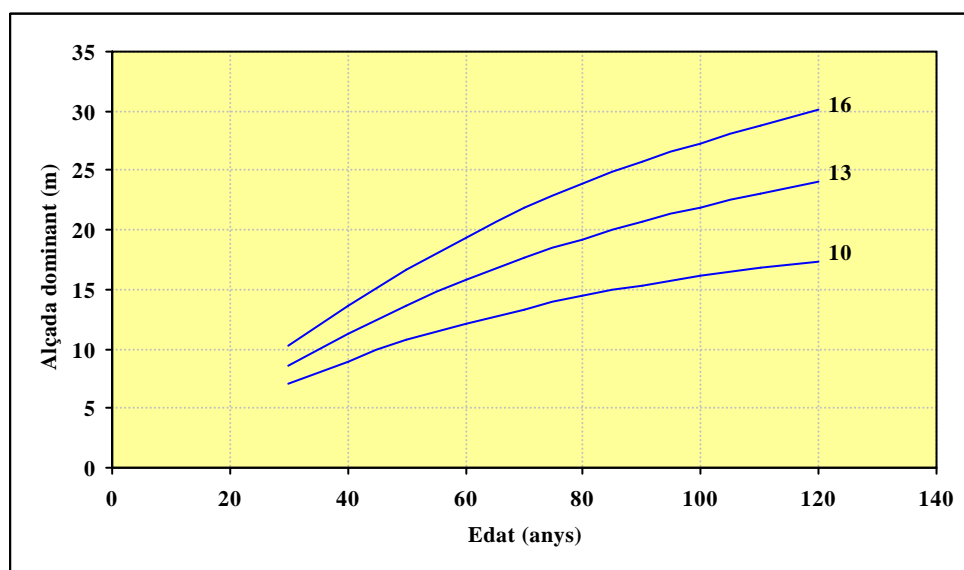
- Rojo i Montero van construir, el 1996, les corbes de qualitat per la Sierra de Guadarrama (al Sistema Central) realitzant parcel·les a les forests de Cercedilla, Navacerrada i Valsaín. S'hi estableixen 5 qualitats d'estació, definides per alçades dominants de 29, 26, 23, 20 i 17 metres a l'edat de referència de 100 anys. Els autors consideren que també es poden utilitzar en masses naturals de tot l'àmbit de distribució de la Península, no essent recomanables per aquelles masses procedents de repoblació.



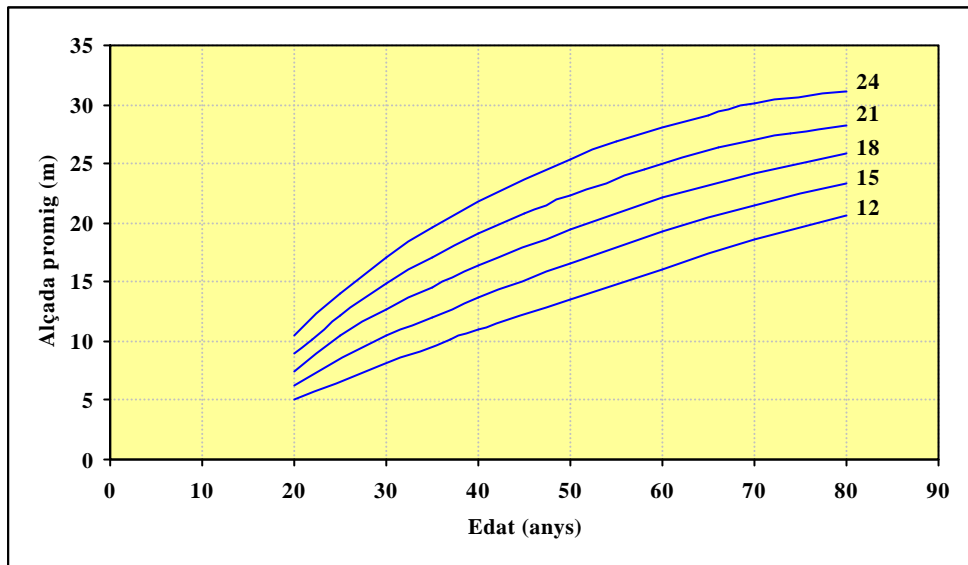
- García Abejón, l'any 1981, va elaborar corbes de qualitat pel al Sistema Ibèric amb parcel·les distribuïdes per Burgos, Cuenca, Guadalajara, Soria i Teruel. Es defineixen 4 qualitats d'estació amb índex de qualitat de 16, 13, 10 i 7 metres a l'edat de referència de 50 anys. Són les úniques referides exclusivament al Sistema Ibèric.



- García Abejón i Tella Ferreiro, el 1986, determinen les corbes de qualitat per als Pirineus amb dades preses a Huesca i Lleida. S'estableixen 3 classes de qualitat definides per alçades mitjanes de 16, 13 i 10 metres amb edat de referència als 50 anys.



- N. Decourt (recopilades a Vanneère, 1984) va construir les corbes de qualitat per Sologne, a França. S'hi defineixen 4 classes de qualitat per les alçades mitjanes de 24, 21, 18, 15 i 12 metres a l'edat de 50 anys. A falta de taules de producció per a masses artificials a la Península, és interessant incloure també aquí aquestes que es van elaborar per repoblacions.



Per contrastar les corbes, es fa de forma gràfica, sobreposant les que s'han obtingut en aquest projecte amb les que s'han proposat per altres zones. Prèviament, però, s'han de portar les nostres corbes a l'índex d'estació que es correspon a l'edat de 40 anys per cada qualitat segons les taules de producció de cada autor per tal de treballar a una mateixa escala.

4.6 Patrons de creixement: dominants vs dominats

Les funcions de creixement descriuen l'evolució del tamany d'un individu al llarg del temps. En les plantes, sigui quina sigui l'espècie, aquestes pautes queden representades, gràficament, per corbes sigmoides (en forma de S). El seu creixement és el resultat de la interacció de dos factors oposats: per una banda hi ha la tendència intrínseca cap a un creixement il·limitat i, per l'altra, les restriccions que imposa l'entorn i la pròpia condició d'ésser viu.

Tot i la complexitat de factors que regeixen el creixement, es considera la competència espacial com un dels principals. La competència no s'ha de considerar únicament en sentit negatiu (limitació de recursos: aigua, nutrients, sòl, llum, etc.), sinó també en sentit positiu (protecció i adaptació mútua al medi).

A l'interior de la massa s'estableixen tipologies socials que, a grans trets, es divideixen en arbres dominants i arbres dominats. Cada un d'ells ha seguit una pauta de creixement pròpia que li ha vingut condicionada, entre altres factors, per aquestes interaccions de competència.

Per tal d'observar quina ha estat l'evolució d'aquestes interaccions dins les masses de pi roig de la finca, s'han comparat els patrons de creixement dels individus, segons si són peus dominants o bé peus dominats. Per fer-ho, es sobreposen les corbes guia de cada una de les bases de dades, que s'han extret en la primera part d'aquest capítol, i es calculen les seves asímptotes i el moment en que es donen els punts d'inflexió de les corbes sigmoides.

L'asímtota de la funció explica la culminació del creixement en alçada, mentre que el punt d'inflexió és el punt on es dona la màxima velocitat de creixement de les corbes.

5 RESULTATS I DISCUSSIÓ

5.1 Patrons de creixement (corbes guia) dels peus dominants i dels peus dominats

Les dades de partida són les obtingudes de l'anàlisi del tronc de 40 arbres dominants i 20 de dominats, seleccionats previ inventari de 20 parcel·les repartides per la finca.

Quan aquestes dades es representen gràficament, es constata una evident manca de dades d'alçades dels individus de major ritme de creixement a partir dels 45 anys, sobretot en els peus dominants. Davant aquest fet, s'estudien dues bases de dades en la qual en una d'elles no es consideren els parells de dades amb edats superiors als 45 anys, tant per a peus dominants com per a dominats, i s'analitzen les asímptotes de cada un dels models.

5.1.1 Ajust dels models

Aquest procés permet una primera selecció d'entre els 20 models assajats rebutjant aquells que no compleixen algunes de les condicions que li són requerides. En la taula 4.1. s'enumeren els models que han estat descartats en l'estudi, i els motius que ho han ocasionat, per cada una de les mostres.

Taula 4.1. Relació de funcions de creixement rebutjades per cada una de les mostres i motius que hi han conduït.

MOTIUS \ MOSTRA	DOMINANTS	DOMINANTS (<45 anys)	DOMINANTS	DOMINANTS (<45 anys)
No convergència	Levakovic II Kövessy	Kövessy	-	-
Model no significatiu	-	-	Levakovic I Todorovic III	Todorovic III
Paràmetres no significatius	Hossfeld II Todorovic II Todorovic VII Thomasius I Thomasius II Levakovic I Todorovic III	Hossfeld II Todorovic I Todorovic II Todorovic VII Thomasius I Thomasius II Levakovic I Levakovic II Levakovic III Todorovic III	Hossfeld II Todorovic I Todorovic II Thomasius I Thomasius II Kövessy Hossfeld IV Levakovic II Levakovic III	Hossfeld II Todorovic I Todorovic II Thomasius I Thomasius II Kövessy Hossfeld IV Levakovic I Levakovic II
No compliment de restriccions	-	-	Todorovic VII	Todorovic VII

En les taules 4.2. i 4.3., es mostren les funcions de creixement no rebutjades amb els paràmetres estimats de cada model ajustat per la mostra en que s'inclouen totes les dades i la mostra on s'han

eliminat les dades corresponents a edats superiors a 45 anys, respectivament, tant per peus dominants com pels dominats. Sota de cada estimador, entre parèntesi, s'inclou l'índex de Hougaard per avaluar el seu comportament lineal. També es donen els estadístics per a l'avaluació de la bondat de precisió i d'ajust (*biaix*, *ecm*, *recm* i R^2_{adj}), l'estadístic per avaluar la colinealitat (*IC*) dels paràmetres estimats i els estadístics de selecció (*AIC* i *BIC*). A l'annex 5 hi han representats els gràfics de residus per tots els models i per cada mostra.

Taula 4.2. Models utilitzats, paràmetres estimats i estadístics d'ajust, precisió, selecció de models, índex de colinealitat (*IC*) i Hougaard (entre parèntesi), per les mostres de dominants i dominats on es consideren totes les dades.

MODEL	a	b	c	d	IC	biaix	eam	recm	R^2_{ADJ}	AIC	BIC	
DOMINANTS (n = 324)	Hossfeld I	2,6427 (0,0678)	0,2043 (0,0201)	-	-	4,2972	-0,059	1,648	2,178	0,79	445,2	450,5
	Strand	2,5791 (0,0677)	0,3534 (0,0117)	-	-	4,3344	-0,011	1,626	2,152	0,80	438,2	443,5
	Hossfeld IV	41,5513 (1,7230)	0,2995 (-0,0042)	2,2832 (0,2206)	-	49,8482	0,098	1,556	2,070	0,81	417,1	426,1
	Levakovic III	16,3946 (0,2509)	278,3 (0,7448)	1,1027 (1,0982)	-	18,4818	0,064	1,556	2,077	0,81	419,1	428,0
	Mitscherlich I	14,7907 (0,2503)	0,0918 (0,2134)	2,7347 (0,5971)	-	12,2903	0,081	1,546	2,063	0,81	415,2	424,1
	Weibull II	14,1983 (0,2047)	0,00447 (3,6072)	1,8188 (0,2035)	-	23,5392	0,068	1,513	2,041	0,82	409,1	418,0
	Bass	14,1821 (0,1747)	0,1466 (2,9664)	8,7554 (0,7747)	-	11,9696	0,035	1,483	2,027	0,82	405,3	414,3
	Smalian	2,9039 (0,1420)	-0,0611 (-0,1165)	0,00144 (0,1339)	-	23,8560	-0,049	1,538	2,078	0,81	419,5	428,4
	Todorovic I	-70,0205 (0,5922)	40,8911 (0,1453)	-1,3282 (-0,1326)	0,0812 (0,1402)	26,9501	0,054	1,495	2,039	0,82	410,7	423,3
	Gemesi	2,6622 (0,0703)	0,3059 (0,0261)	-	-	4,3100	-0,127	1,698	2,223	0,78	455,8	461,1
Van der Vliet	14,2623 (0,0794)	11,9266 (3,0941)	-	-	3,0941	0,134	1,557	2,063	0,81	413,3	418,6	
DOMINATS (n = 130)	Hossfeld I	3,0771 (0,1504)	0,2152 (-0,00696)	-	-	4,7977	-0,028	1,459	1,937	0,76	148,4	151,8
	Strand	2,8638 (0,1545)	0,3694 (-0,0197)	-	-	4,7600	0,012	1,461	1,926	0,76	147,2	150,6
	Mitscherlich I	12,7718 (0,8479)	0,0771 (0,2755)	2,1852 (0,9183)	-	14,5648	0,045	1,437	1,896	0,77	144,7	150,8
	Weibull II	12,0148 (0,7255)	0,00632 (1,0953)	1,6864 (0,2552)	-	22,8481	0,054	1,409	1,876	0,77	142,4	148,5
	Bass	12,0338 (0,5530)	0,1296 (0,1839)	6,5168 (1,21)	-	12,9421	0,035	1,378	1,863	0,78	140,8	147,0
	Smalian	4,22349 (0,2961)	-0,1312 (-0,2501)	0,00277 (0,2536)	-	32,3513	0,033	1,332	1,831	0,79	136,9	143,0
	Gemesi	3,2617 (0,1501)	0,3109 (0,0039)	-	-	4,9011	-0,088	1,482	1,964	0,75	151,4	154,8
	Van der Vliet	11,7049 (0,2076)	11,7789 (0,1519)	-	-	3,4087	0,161	1,470	1,909	0,77	145,2	148,6

Taula 4.3. Models utilitzats, paràmetres estimats i estadístics d'ajust, precisió, selecció de models, índex de colinealitat (IC) i Hougaard (entre parèntesi), per les mostres de dominants i dominats fins als 45 anys.

MODEL	a	b	c	IC	biaix	eam	recm	R ² _{ADJ}	AIC	BIC	
DOMINANTS (n = 266)	Hossfeld I	3,1873 (0,0858)	0,1765 (-0,0177)	-	5,7170	0,037	1,654	2,193	0,81	420,8	426,0
	Strand	3,0549 (0,08516)	0,3287 (-0,0206)	-	5,6235	0,086	1,629	2,163	0,81	413,5	418,7
	Hossfeld IV	16,6864 (1,7521)	0,2098 (-0,0027)	1,8896 (0,2078)	64,3699	0,190	1,545	2,066	0,81	390,1	398,9
	Mitscherlich I	16,8843 (0,8862)	0,0689 (0,0939)	2,1483 (0,5943)	21,8963	0,172	1,533	2,057	0,81	387,6	396,4
	Weibull II	15,2536 (0,8569)	0,00563 (0,6907)	1,6948 (0,0961)	29,6842	0,155	1,493	2,029	0,81	380,3	389,0
	Bass	14,8667 (0,5611)	0,1324 (0,0440)	7,3895 (0,7636)	15,9591	0,122	1,464	2,015	0,81	376,7	385,4
	Smalian	3,4866 (0,1810)	-0,1091 (-0,1464)	0,00233 (0,1364)	42,6173	0,041	1,512	2,059	0,81	388,1	396,8
	Gemesi	3,2757 (0,0888)	0,2753 (-0,0175)	-	5,8968	-0,031	1,707	2,242	0,80	431,4	436,6
	Van der Vliet	14,7036 (0,1623)	12,2971 (0,1124)	-	3,9849	0,223	1,538	2,053	0,81	384,6	389,7
DOMINATS (n = 107)	Hossfeld I	3,4035 (0,1613)	0,1983 (-0,0349)	-	5,4415	0,008	1,409	1,886	0,77	138,8	142,1
	Strand	3,1376 (0,1666)	0,3550 (-0,0450)	-	5,3343	0,046	1,432	1,887	0,77	138,9	142,2
	Levakovic III	16,3471 (1,3315)	759,4 (2,2920)	0,7420 (1,2419)	21,9537	0,020	1,399	1,880	0,77	139,0	145,0
	Mitscherlich I	14,6398 (1,6222)	0,0591 (0,1494)	1,8437 (0,8746)	22,2203	0,031	1,405	1,881	0,77	139,1	145,1
	Weibull II	13,2212 (1,5428)	0,00756 (0,9233)	1,5683 (0,1355)	26,9818	0,039	1,394	1,871	0,77	138,0	144,1
	Bass	12,9000 (1,0718)	0,1137 (0,0250)	5,4689 (1,1377)	16,4596	0,025	1,368	1,860	0,78	136,7	142,7
	Smalian	4,1704 (0,3366)	-0,1246 (-0,2801)	0,00261 (0,2687)	37,7138	0,031	1,342	1,843	0,78	134,8	140,8
	Gemesi	3,6504 (0,1590)	0,2914 (-0,0270)	-	5,6414	-0,053	1,406	1,908	0,77	140,2	143,5
	Van der Vliet	12,0898 (0,2862)	12,1869 (0,2011)	-	3,8971	0,186	1,475	1,926	0,76	142,2	145,6

Els paràmetres estimats presenten, en general, un comportament pròxim a la linealitat en els models biparamètrics (Hossfeld I, Strand, Gemesi i Van der Vliet), mentre que en els models més complexos (3 o 4 paràmetres) sempre hi ha, almenys, un dels paràmetres amb una asimetria evident i, en alguns casos, l'estadístic de Hougaard arriba a superar la unitat. Són les funcions de Bass i Levakovic III, en els individus dominats amb edats inferiors a 45 anys, que tenen 2 i 3 dels seus paràmetres (respectivament) amb una no – linealitat considerable. Aquest és un tret significatiu que els paràmetres són esbiaixats i, per tant, difícilment interpretables.

Referent a la colinearitat dels paràmetres, és acceptable en tots els models, obtenint millors resultats en les funcions biparamètriques on el valor màxim és de 5,89. Sempre el de Hossfeld IV és el que obté valors més allunyats de l'òptim en el cas dels individus dominants, i el de Smalian en el cas d'individus dominats. En cap cas, però, es tene n índexs de màxima condició més grans a 100.

Els estadístics calculats únicament es poden comparar dins de cada una de les mostres utilitzades, ja que depenen del tamany d'aquesta. Així, s'observen sempre uns estadístics de precisió amb valors no molt allunyats entre ells per als diferents models. L'estadístic de precisió (R^2_{adj}) explica bé la variabilitat dels models, amb valors al voltant del 80% en els individus dominants i del 77% en els dominats. Pel que fa als criteris de selecció (*AIC* i *BIC*), tendeixen a escollir els models triparamètrics en detriment als de menor nombre de paràmetres.

5.1.2 Determinació de les mostres a utilitzar

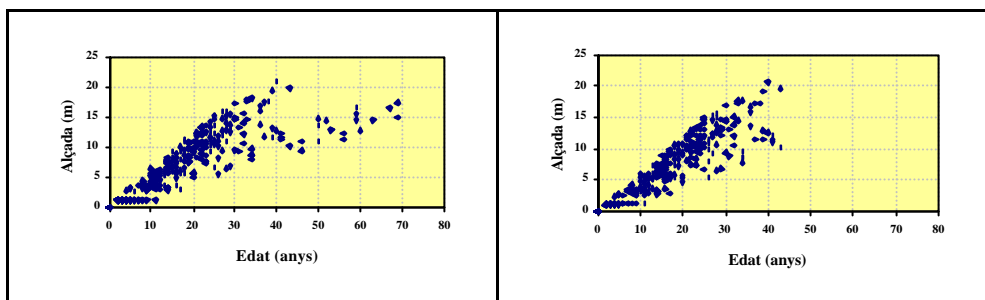
Per determinar quina mostra de dominants i de dominats cal utilitzar per l'estudi de les corbes de qualitat, no ens podem basar en les estadístics ja que aquests són funció del tamany de la mostra. Cal que s'utilitzi algun paràmetre que sigui significatiu per determinar si existeix algun canvi substancial segons si es consideren totes les dades o no.

L'asímtota de la funció explica la culminació del creixement en alçada i és un paràmetre que es pot comparar entre els dos tipus de mostres. La manca de dades, a partir dels 45 anys d'edat, en els individus procedents de parcel les de millor qualitat d'estació pot influir en el valor que pren aquest paràmetre allunyant-lo del que es tindria amb el mateix nombre d'informació per a totes les classes de qualitat.

Per altra banda, en el moment d'escollir el model que millor expressa el creixement, convé que aquest punt culminant estigui en relació amb les característiques de l'espècie que s'estudia, així com també que la funció tingui un comportament d'acord al *Pinus sylvestris*. Aquestes dues premises són les que ens conduiran, finalment, a la selecció del model que determina la pauta de creixement del individu.

Per tal de contrastar els valors que pren l'asímtota, segons si es rebutja o no l'excés de dades de parcel les de pitjor qualitat, a la taula 4.4. se'n detalla la seva relació per a cada un del models assajats per a les dues mostres de dominants i es fa el mateix a la taula 4.5. per a les dues mostres d'individus dominats. La informació necessària sobre el comportament de les funcions s'adjunta a l'annex 6 on s'hi presenten les corbes guia que en resulten.

Taula 4.4. Asímptotes dels models assajats per a la mostra en que es consideren totes les dades i per a la que es rebutgen valors d'edat superiors als 45 anys, per a peus dominants.



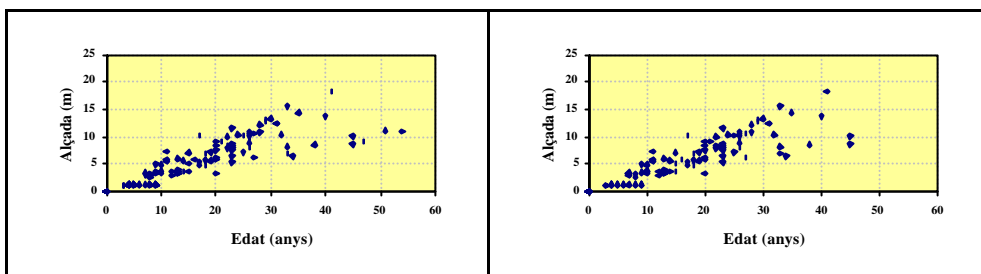
Model	Asímptota	Totes les dades	Dades 45 anys
Hossfeld I	$\lim_{t \rightarrow \infty} y = 1/b^2$	23,9587	32,1004
Strand	$\lim_{t \rightarrow \infty} y = 1/b^3$	22,6569	28,1579
Hossfeld IV	$\lim_{t \rightarrow \infty} y = 1/b$	3,3389	4,7664
Levakovic III	$\lim_{t \rightarrow \infty} y = a$	16,3946	-
Mitscherlich I	$\lim_{t \rightarrow \infty} y = a$	14,7907	16,8843
Weibull II	$\lim_{t \rightarrow \infty} y = a$	14,1983	15,2536
Bass	$\lim_{t \rightarrow \infty} y = a$	14,1821	14,8667
Smalian	$\lim_{t \rightarrow \infty} y = 0$	0,0000	0,0000
Todorovic I	$\lim_{t \rightarrow \infty} y = 1/d$	12,3153	-
Gemesi	$\lim_{t \rightarrow \infty} y = e^{1/b} - 1$	25,2861	36,8035
Van der Vliet	$\lim_{t \rightarrow \infty} y = a$	14,2623	14,7036

Per als peus dominants (taula 4.4.) es comprova que Smalian i Hossfeld IV no s'ajusten a les nostres dades. Mentre que el primer presenta una asímptota de valor 0 (en el gràfic de la corba guia s'observa com els individus decreixen en arribar una determinada edat, fet incoherent en les espècies arbòries), en el segon pren uns valors molt inferiors als que es pot esperar de la nostra espècie.

Comparant la resta de models, no es pot parlar de variacions importants del valor del paràmetre en la majoria de models: amb una variació encara no superior a 2 metres trobem Mitscherlich I i Weibull II i, amb una variació en l'asímptota despreciable (per sota d'1 metre), els models de Bass i Van der Vliet. Levakovic III i Todorovic I no es poden comparar ja que s'han rebutjat per a la mostra en que no es consideren valors superiors als 45 anys d'edat. A més, en tots aquests models l'asímptota pren valors molt inferiors als que li són propis al *Pinus sylvestris*.

La sensibilitat del paràmetre sí que es fa patent en els models de Gemesi, Hossfeld I i Strand on, a més, l'asímtota pren valors més pròxims a la realitat de l'espècie en qüestió (al voltant del 30 metres d'alçada).

Taula 4.5. Asímtotes dels models assajats per a la mostra en que es consideren totes les dades i per a la que es rebutgen valors d'edat superiors als 45 anys, per a peus dominats.



Model	Asímtota	Totes les dades	Dades 45 anys
Hossfeld I	$\lim_{t \rightarrow \infty} y = 1/b^2$	21,5931	25,4305
Strand	$\lim_{t \rightarrow \infty} y = 1/b^3$	19,8385	22,3519
Levakovic III	$\lim_{t \rightarrow \infty} y = a$	-	16,3471
Mitscherlich I	$\lim_{t \rightarrow \infty} y = a$	12,7718	14,6398
Weibull II	$\lim_{t \rightarrow \infty} y = a$	12,0148	13,2212
Bass	$\lim_{t \rightarrow \infty} y = a$	12,0338	12,9000
Smalian	$\lim_{t \rightarrow \infty} y = 0$	0,0000	0,0000
Gemesi	$\lim_{t \rightarrow \infty} y = e^{1/b} - 1$	23,9399	29,9295
Van der Vliet	$\lim_{t \rightarrow \infty} y = a$	11,7049	12,0898

En els individus dominats (taula 4.5.), s'observa quelcom semblant que anteriorment. Els models amb asímtota més sensible a la variació de la mostra i amb valors més propis de l'espècie són els de Gemesi, Hossfeld I i Strand. Amb una variació de poc més d'1 metre trobaríem Mitscherlich I i Weibull II i amb una diferència despreciable, els models de Bass i Van der Vliet. Smalian s'ha de rebutjar per no tenir significat biològic (asímtota 0) i Levakovic III no és comparable ja que no presenta paràmetres significatius quan s'assaja prenent tots els parells de dades mesurats.

En tots els casos, dominants i dominats, es comprova que en els models de Gemesi, Hossfeld I i Strand, quan no es prenen les dades d'edats superiors als 45 anys, presenten una tendència a obtenir uns valors d'asímtota més elevats i més propers als que pot aconseguir el *Pinus sylvestris*, una espècie que creix fins als 30 – 35 metres d'alçada. Agafant, doncs, com a premisa aquest criteri

biològic, és més adequat treballar amb les mostres en que no es tenen en consideració els parells de dades amb edats superiors als 45 anys.

5.1.3 Validació dels models

Mitjançant validació creuada per parcel la (*leave – one – stand – out – cross – validation*) de les funcions seleccionades anteriorment (Hossfeld I, Strand i Gemesi), s’ha calculat l’arrel de l’error absolut mig (*recm*) per tal de verificar la robustesa del model (per comparació amb el valor obtingut en la fase d’ajust) i el criteri bayesià d’informació (*BIC*) per tal de seleccionar el model més parsimoniós. Els resultats són els que mostra la taula 4.6, per a individus dominants i per a dominats.

Taula 4.6. Models utilitzats i estadístics calculats en la fase de validació, per als individus dominants pels dominats.

Model	DOMINANTS		DOMINATS	
	recm	BIC	recm	BIC
Hossfeld I	2,293	479,6	1,886	142,1
Strand	2,265	472,6	1,936	147,7
Gemesi	2,340	490,2	2,053	160,2

De la taula es desprèn que la diferència dels valors dels estadístics respecte a l’anterior fase d’ajust no és superior al doble fet que suposa que no hi ha una manca de mostra. Per altra banda, la comparació de l’arrel de l’error quadràtic mig (*recm*) dona fe de la robustesa dels tots els models.

5.1.4 Patrons de creixement

La validació, però, no és determinant per escollir la funció de creixement. Com s’ha comentat anteriorment, en el moment d’escollir el model que millor expressa el creixement, convé que el punt culminant estigui en relació amb les característiques de l’espècie que s’estudia, així com també que la funció tingui un comportament d’acord al *Pinus sylvestris*.

La corba guia és la corba promig que millor s’ajusta a la relació dels parells de dades alçada dominant – edat. D’entre els models de Gemesi, Hossfeld I i Strand, és en aquest últim on s’obté un valor de l’asímtota (alçada a la que culmina el creixement primari) molt pròxim al propi de l’espècie (amb 28,16 m en els peus dominants i 22,35 m en els dominats), però sense patir una sensibilització del paràmetre tant dràstica com en els altres quan no es consideren les dades de més de 45 anys. Per altra banda, el comportament de la funció s’ajusta molt a les dades que es tenen de l’inventari.

Les corbes de creixement o corbes guia pels parells de dades alçada – edat (expressades en metres i anys, respectivament) queden formulades segons model de Stand, tant per als peus dominants com per als dominats, de la següent manera:

Taula 4.7. Formulació de les corbes guia, per als individus dominants i dominats, segons model de Strand.

	Paràmetres	Formulació
Dominants	a = 3,0549 b = 0,3287	$H = \left(\frac{E}{3,0549 + 0,3287 \cdot E} \right)^3$
Dominats	a = 3,1376 b = 0,3550	$H = \left(\frac{E}{3,1376 + 0,3550 \cdot E} \right)^3$

on H és l'alçada (en metres) i E és l'edat (en anys). Al punt 4.4 es porta a terme la comparació entre aquests dos comportaments de desenvolupament com a resposta a les interaccions de competència existents a l'interior de la massa. Les figures 4.1. i 4.2. representen les corbes guia (línia vermella) ajustades pels parells de dades (punts blaus) referents als individus dominants i dominats, respectivament, de les parcel·les inventariades.

Figura 4.1. Corba guia (línia vermella) obtinguda ajustant els parells de dades alçada dominant – edat (punts blaus) amb el model de Strand

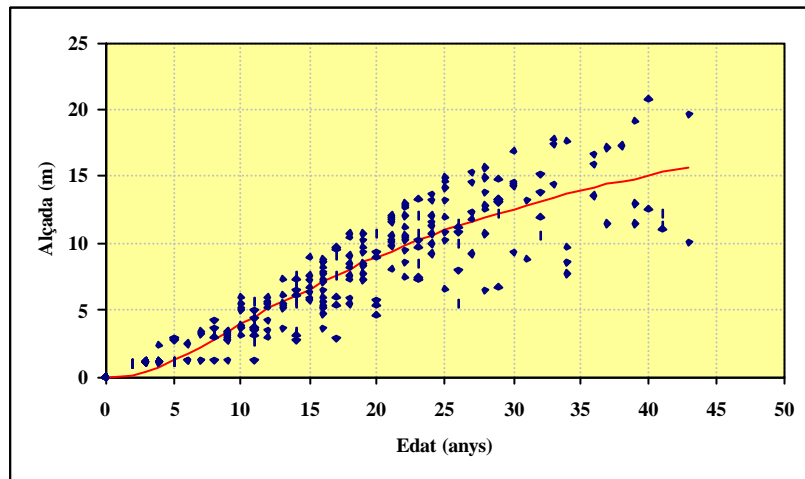
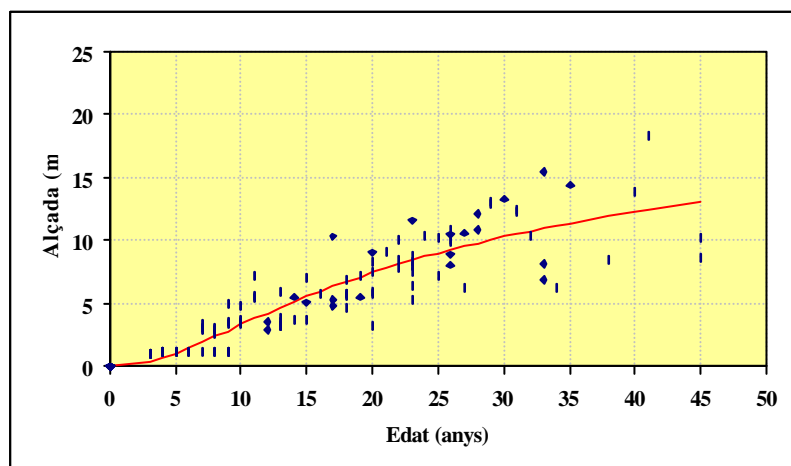


Figura 4.2. Corba guia (línia vermella) obtinguda ajustant els parells de dades alçada dominant – edat (punts blaus) amb el model de Strand.



5.2 Corbes de qualitat per a *Pinus sylvestris* L. al Parc Comarcal del Castell de Montesquiú

Les corbes de qualitat d'estació per al *Pinus sylvestris* L. es construeixen en base a la corba guia obtinguda a partir de les dades referents als peus dominants. En aquest projecte s'analitzen tots els tipus de corbes possibles: anamòrfiques, polimòrfiques proporcionals i polimòrfiques estrictes.

5.2.1 Edat de referència i nombre de qualitats

El primer que s'ha de plantejar és l'edat que es pren de referència i el número de qualitats que es volen treure. L'elecció de l'edat es veu condicionada pel fet que el màxim es troba en 45 anys. Per no prendre de referència aquest límit, es consideren els 40 anys com els més adients. És una edat pròxima a la meitat del torn de l'espècie, tot i que encara no hi ha arribat, i ens conduirà a obtenir unes corbes de qualitat amb una estimació més precisa de l'índex de lloc per les masses joves.

Estudiant el núvol de punts a l'edat de 40 anys (figura 4.1.), s'observa com les alçades dominants dels arbres oscil·len entre 20,74 i 12,56 metres. Donat aquest ampli rang, sembla adient definir 4 classes de qualitat esglaonades de 3 en 3 metres. Si s'optés per 3 classes de qualitat donaria un rang massa ampli d'alçades dominants per cada qualitat d'estació. Els índex de lloc a l'edat de referència prenen els valors de 21, 18, 15 i 12 metres representant les qualitats I, II, III i IV, respectivament.

5.2.2 Corbes anamòrfiques

Per la representació de les corbes de tipus anamòrfic s'ha de trobar el valor del paràmetre que fa referència a l'asíptota, que en el model de Strand correspon al paràmetre b , en funció a l'índex de lloc (IS) a l'edat de referència. Deixant el paràmetre a constant i substituint els valors de l'índex de lloc a l'edat de 40 anys (E_r), s'obté que:

$$b = \left(\frac{1}{IS} \right)^{\frac{1}{3}} - \frac{a}{E_r}$$

$$b = 0,286087624 \text{ quan } IS = 21$$

$$b = 0,305198914 \text{ quan } IS = 18$$

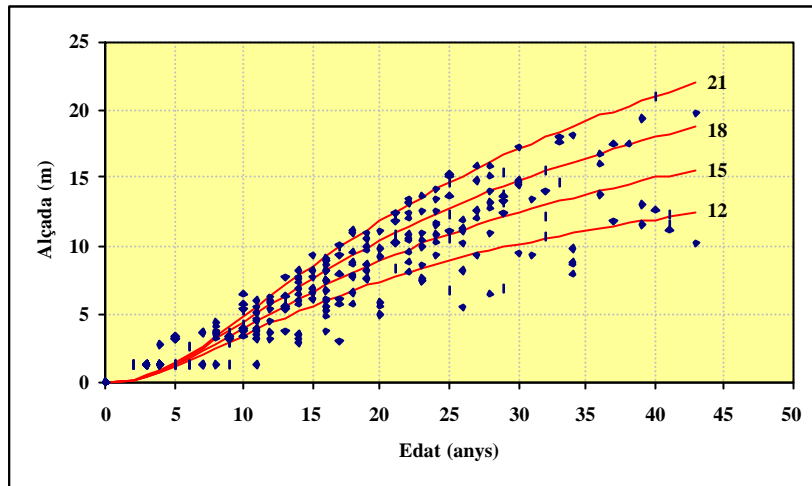
$$b = 0,329107633 \text{ quan } IS = 15$$

$$b = 0,360417732 \text{ quan } IS = 12$$

Amb aquests valors s'entra a la fórmula de la corba guia i queden determinades les alçades dominants per cada qualitat i per cada edat. A la figura 4.3. s'hi representen amb línies vermelles les corbes de qualitat anamòrfiques que en resulten juntament amb els parells de dades alçada dominant – edat (punts blaus) extretes de les parcel·les estudiades. Al gràfic es mostra com les

corbes sigmoides s'ajusten a les dades. Tot i que per a les qualitats d'estació més baixes queden molts punts per sota, a mesura que s'augmenta l'edat es van ajustant més les dades a la corba d'índex d'estació 12 (qualitat IV).

Figura 4.3. Corbes de qualitat anamòrfiques (línies vermelles), a partir del model de Strand, i valors d'alçada dominant – edat de les parcel·les estudiades (punts blaus).



5.2.3 Corbes polimòrfiques proporcionals

Per determinar les corbes de qualitat de tipus polimòrfic proporcional, s'ha de seguir el mateix procediment que anteriorment però fent variar el paràmetre que fa referència al creixement, és a dir, el que fa variar el moment en que es dona el punt d'inflexió de les corbes sigmoides en funció als índexs d'estació. Aquest tipus de corbes només es poden utilitzar quan es disposa d'una asímptota suficientment elevada, fet que es dona en el nostre cas.

El model de Strand, per un valor constant de b , és el paràmetre a el que està relacionat amb el creixement. Els valors que pren en funció a l'índex d'estació són:

$$a = \frac{E_r}{IS^{1/3}} - E_r \cdot b$$

$$a = 0,362404973 \text{ quan } IS = 21$$

$$a = 1,126856567 \text{ quan } IS = 18$$

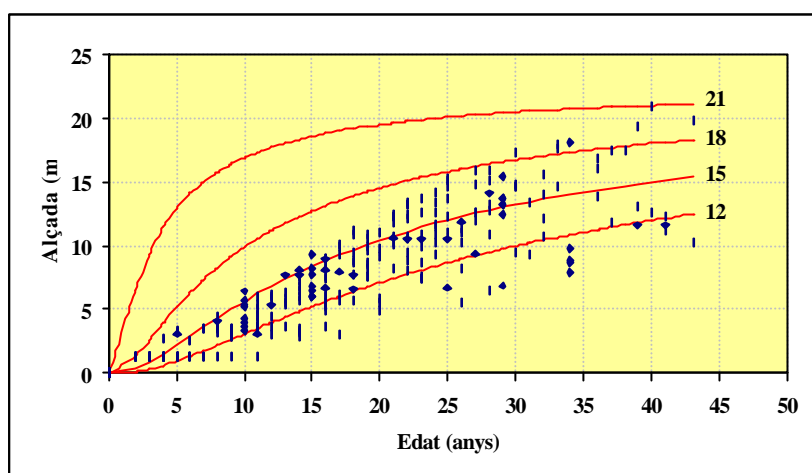
$$a = 2,083205322 \text{ quan } IS = 15$$

$$a = 3,335609295 \text{ quan } IS = 12$$

La figura 4.4. mostra les corbes resultants pels quatre índex d'estació (21, 18, 15 i 12 metres) i es comprova com no s'ajusten als parells de dades alçada – edat, doncs per a les millors qualitats ni tan sols s'apropen al núvol de punts i s'hi observa una tendència a aconseguir l'asímptota a poc

més de 22 metres d'alçada, valor per sota del que pot arribar a aconseguir el *Pinus sylvestris*. Per tant, es desestima utilitzar aquest tipus de corbes de qualitat a la nostra finca.

Figura 4.4. Corbes de qualitat polimòrfiques proporcionals (línies vermelles), a partir del model de Strand i fent variar el paràmetre a , i valors d'alçada dominant – edat de les parcel·les estudiades (punts blaus).



5.2.4 Corbes polimòrfiques estrictes

En la construcció de les corbes de qualitat de tipus polimòrfic estricte, a partir dels models validats (Hossfeld I, Strand i Gemesi) s'ha efectuat un nou ajust però en base a les qualitats provisionals establertes a camp (annex 4), tal com s'explica a "Materials i mètodes". Els valors dels seus paràmetres per cada una de les qualitats, amb el corresponent valor de Hougaard i els diferents estadístics calculats, els mateixos utilitzats anteriorment, són els que es mostren a la taula 4.8.

Taula 4.8. Paràmetres estimats, estadístics d'ajust, precisió, selecció de models, índexs de colinealitat (IC) i índexs de Hougaard (entre parèntesi) dels models ajustats i per cada una de les qualitats estimades a camp.

Qualitat	Model	a	b	IC	biaix	ecm	recm	R ² adj	AIC	BIC
I	Hossfeld I	3,5922 (0,0531)	0,1363 (-0,0045)	6,0012	0,044	0,890	1,066	0,96	15,2	18,3
	Strand	3,5355 (0,0541)	0,2851 (-0,0078)	5,9308	0,101	0,905	1,084	0,96	18,3	21,4
	Gemesi	3,5929 (0,0554)	0,2393 (-0,0044)	6,1548	-0,036	0,903	1,078	0,96	17,2	20,3
II	Strand	2,9787 (0,1265)	0,3340 (-0,0424)	5,8431	0,052	1,381	1,815	0,83	146,0	149,6
	Gemesi	3,2421 (0,1288)	0,2785 (-0,0378)	6,1926	-0,058	1,365	1,834	0,83	148,5	152,1
III	Hossfeld I	3,2358 (0,2235)	0,2027 (-0,0428)	5,2143	-0,034	1,213	1,588	0,85	34,3	35,4
	Strand	3,0401 (0,2108)	0,3565 (-0,0410)	5,1191	0,005	1,214	1,570	0,85	33,5	34,6
	Gemesi	3,4022 (0,2463)	0,2990 (-0,0540)	5,4099	-0,092	1,242	1,626	0,84	35,9	37,0

IV	Strand	3,6858 (0,3662)	0,3837 (-0,1390)	5,5378	0,190	0,867	1,141	0,86	7,2	6,9
	Gemesi	4,8935 (-0,1056)	0,3008 (-0,1056)	6,1381	0,096	0,732	1,017	0,89	3,3	2,9

El model de Hossfeld I no ha resultat significatiu per a la classe de qualitat I i s'han obtingut valors dels paràmetres que incomplien les restriccions marcades pel model en el cas de la qualitat IV. En tots els altres casos, s'han ajustat correctament les tres funcions de creixement obtenint-se unes estimacions dels paràmetres pròximes a la linealitat (índexs de Hougaard inferiors a 0,25, excepte en el model de Strand per a la qualitat IV) i amb una inexistència de correlació entre els paràmetres ($IC < 10$).

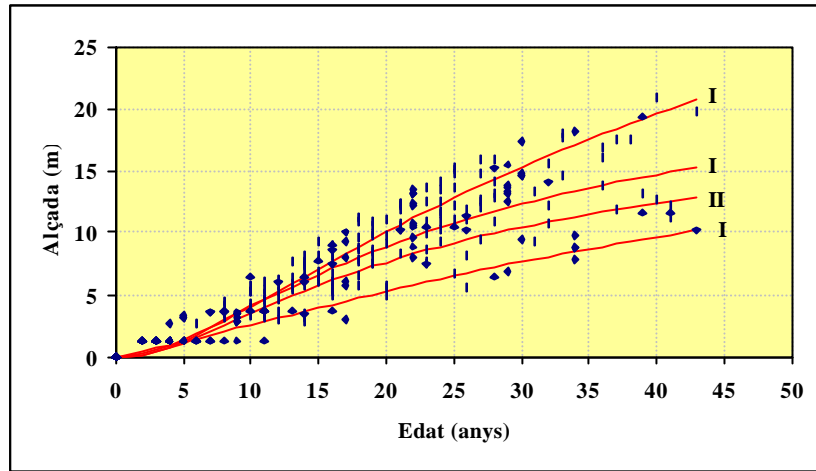
En base als estadístics resultants, s'ha realitzat una ordenació per rangs per a cada una de les classes de qualitat d'estació d'on s'extreu que els models que millor ajusten i seva formulació és:

Qualitat I:	Hossfeld I (mod.)	$H = \frac{E^2}{(3,5922 + 0,1363 E)^2}$
Qualitat II:	Strand	$H = \left(\frac{E}{2,9787 + 0,3340E} \right)^3$
Qualitat III:	Strand	$H = \left(\frac{E}{3,0401 + 0,3565 E} \right)^3$
Qualitat IV:	Gemesi	$H = e^{\left(\frac{E}{4,8935 + 0,3008E} \right) - 1}$

Al gràfic 4.5. queden representades les corbes sigmoïdes (en línies vermelles) que en resulten de l'aplicació d'aquestes funcions als parells de dades alçada dominant – edat (punts blaus) per cada classe de qualitat.

De la gràfica resultant, s'observa que a mesura que avança el temps (majors edats) s'incrementa la diferència del ritme de creixement entre la primera i la segona qualitat i, fins i tot, aquesta última s'aproxima molt a la de tercera classe. Es dona una falta de dades que es correspondrien a una segona qualitat, situada en una posició intermitja entre l'actual I i II. A més, aquest tipus de corbes tenen una maneig més complex al aplicar-se una funció de creixement diferent per cada qualitat.

Figura 4.5. Corbes de qualitat polimòrfiques estrictes (línies vermelles), a partir dels models de Hossfeld I (modificat) per a la classe de qualitat I, Strand per a les qualitats II i III i Gemesi per a la qualitat IV, i valors d'alçada dominant – edat de les parcel·les estudiades (punts blaus).



5.2.5 Corbes de qualitat per a *Pinus sylvestris* al Parc de Montesquiu

En vista, doncs, de tots aquests resultats, les corbes de qualitat del tipus anamòrfic, segons model de Strand, són les que millor representen les forests de la finca. La funció general de les corbes de qualitat anamòrfiques queda:

$$H = \left(\frac{E}{3,0549 + b \cdot E} \right)^3$$

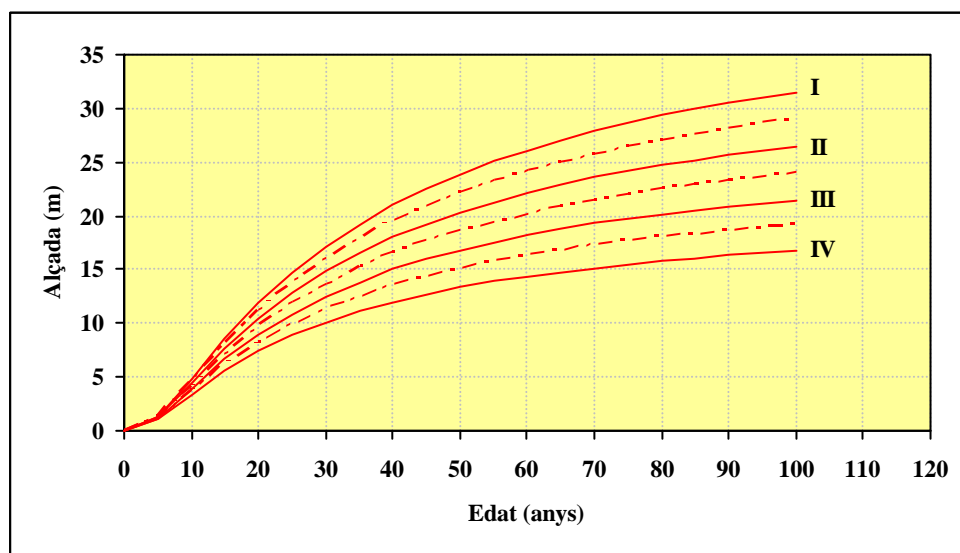
on b és el paràmetre que explica el comportament de l'asíptota i és funció de l'índex d'estació, H és l'alçada, expressada en metres, i E és l'edat, expressada en anys.

A la taula 4.9. es donen les alçades que es corresponen per cada edat i per cada classe de qualitat i es complementa amb les alçades de les qualitats intermitges (IS = 18,5 m per qualitat I – II; IS = 15,5 m per qualitat II – III; IS = 12,5 per qualitat III – IV). A la figura 4.6. es representen les corbes de qualitat, segons els resultats del present estudi.

Taula 4.9. Relació edat – alçada (expressat en anys i metres, respectivament) per a cada una de les classes de qualitat d'estació i també per a les qualitats mitges.

Edat	Qual. I	Qual. I - II	Qual. II	Qual. II- III	Qual. III	Qual. III - IV	Qual. IV
0	0	0	0	0	0	0	0
5	1,39	1,34	1,30	1,25	1,20	1,15	1,09
10	4,83	4,61	4,39	4,15	3,91	3,65	3,39
15	8,51	8,05	7,59	7,10	6,61	6,09	5,57
20	11,83	11,12	10,41	9,68	8,94	8,17	7,40
25	14,69	13,75	12,81	11,84	10,88	9,89	8,90
30	17,13	15,98	14,83	13,66	12,50	11,31	10,12
35	19,21	17,88	16,54	15,20	13,85	12,50	11,14
40	21,00	19,50	18,00	16,50	15,00	13,50	12,00
45	22,55	20,90	19,26	17,62	15,98	14,36	12,73
50	23,90	22,12	20,35	18,59	16,83	15,09	13,35
55	25,08	23,19	21,30	19,44	17,57	15,73	13,89
60	26,13	24,14	22,14	20,18	18,22	16,29	14,37
65	27,06	24,97	22,89	20,84	18,80	16,79	14,79
70	27,90	25,73	23,56	21,43	19,31	17,23	15,16
75	28,65	26,40	24,16	21,96	19,77	17,63	15,49
80	29,33	27,01	24,70	22,44	20,18	17,99	15,79
85	29,94	27,57	25,19	22,87	20,56	18,31	16,06
90	30,51	28,07	25,64	23,27	20,90	18,60	16,30
100	31,50	28,96	26,42	23,96	21,49	19,11	16,73

Figura 4.6. Corbes de qualitat per al *Pinus sylvestris* L. al Parc Comarcal del Castell de Montesquiú amb les respectives qualitats mitges (línies vermelles discontinues), segons resultats del present estudi.



Davant el fet, però, de la manca de dades que es tenen per edats superiors als 45 anys per a totes les classes de qualitat presents a la finca, és convenient comparar aquestes corbes amb les existents per a les principals àrees de distribució de pi roig a la resta de la Península i, així, comprovar si algunes d'elles es poden ajustar al parc.

5.3 Comparació amb altres corbes de qualitat per a *Pinus sylvestris* L.

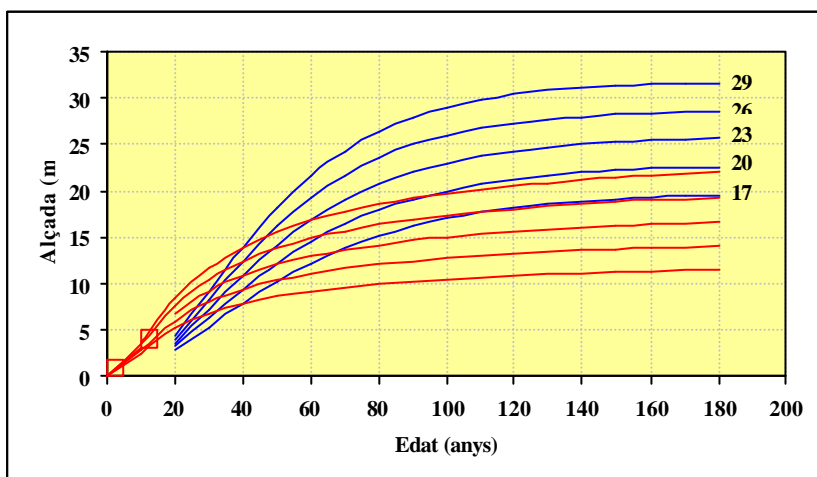
Per completar l'estudi de corbes de qualitat, convé comparar els resultats amb els que d'altres autors han elaborat per al *Pinus sylvestris* L. en altres indrets de la Península. S'ha tingut, com a referència, el recull de taules de producció que va efectuar Madrigal el 1999. Totes elles són famílies de corbes de tipus anamòrfic de les que no es disposa de la formulació dels models utilitzats.

Per poder dur a terme la comparació, es forcen les corbes del parc a passar pels valors de les alçades dominants a les edats de 40 anys i per cada qualitat. En els gràfics, s'ha donat el color vermell per representar les corbes del parc i el color blau per les dels altres autors.

5.3.1 Corbes de qualitat de la Sierra de Guadarrama

Les primeres corbes de qualitat que s'analitzen (figura 4.7.) són les que van construir Rojo i Montero (1996) a la Sierra de Guadarrama (Sistema Central). S'hi defineixen 5 classes de qualitat cada 3 metres amb índex d'estació de 29, 26, 23, 20 i 17 metres a l'edat de referència de 100 anys. Són corbes amb un creixement molt perllongat en el temps i que no arriben a l'etapa de maduresa fins a edats ben avançades.

Figura 4.7. Comparació entre les corbes de qualitat pel Parc del Castell de Montesquiú, en línies vermelles, i per la Sierra de Guadarrama (Sistema Central), en línies blaves.



Els índex d'estació utilitzats són més elevats dels que s'han pogut considerar al parc. A l'edat de 40 anys, els creixements en alçada a la Sierra de Guadarrama són molt més pronunciats que els que es poden trobar al parc. A més, a mesura que passa el temps, les corbes es van ajustant però de manera que les que es corresponen a la millor qualitat per al parc se sobreposen a les d'índex d'estació

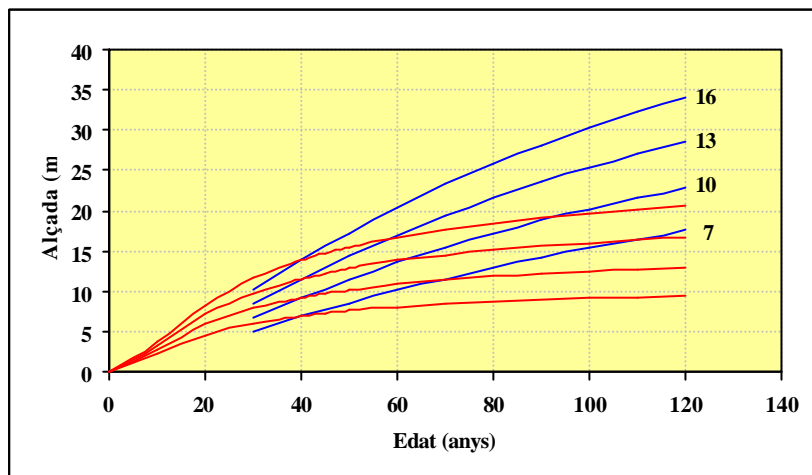
menors de la Sierra de Guadarrama, aconseguint així una asímtota molt inferior a la que és possible que hi hagués a la finca.

En cas d'utilitzar aquestes corbes a les masses del parc, es conduiria a una sobreestimació de les qualitats d'estació que es poden trobar a la finca i, per tant, es cometrien errors a l'hora d'establir la producció que es pot obtenir.

5.3.2 Corbes de qualitat del Sistema Ibèric

En segon lloc, es tenen les corbes de qualitat per al Sistema Ibèric (figura 4.8.), elaborades per García Abejón el 1981. Es divideixen en 4 classes de qualitat, separades entre elles cada 3 metres, amb alçades de 16, 13, 10 i 7 metres a l'edat de referència de 45 anys. En general, es donen uns creixements en alçada suaus però constants, quasi lineals.

Figura 4.8. Comparació entre les corbes de qualitat pel Parc del Castell de Montesquiú, en línies vermelles, i pel Sistema Ibèric, en línies blaves.



Els índex d'estació que defineix García Abejón (1981) són inferiors als que s'han pogut donar al present projecte. Al parc, la qualitat més baixa es correspon a 12 metres. Contrastant a l'edat de referència (40 anys), al Sistema Ibèric encara existeix un increment en alçada i sembla que els individus estan lluny d'aconseguir la seva estabilitat de creixement. Just al contrari és el que sembla succeir al parc, on les corbes tendeixen ja a conformar l'asímtota amb alçades no superiors als 23 metres per a la primera qualitat (amb IS = 16 m), donant lloc a suposar una baixa productivitat a la finca.

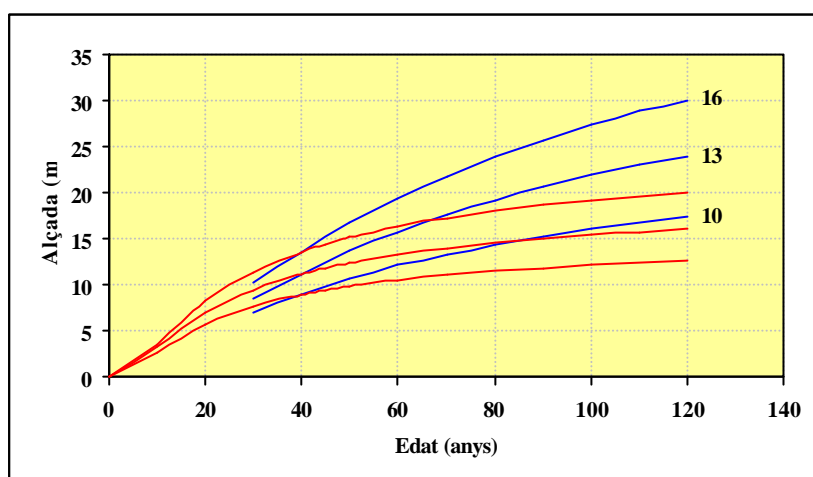
Aquestes corbes, doncs, no són susceptibles de poder-se aplicar a Montesquiú, ja que el ritme de creixement de les dues zones és molt diferent, suggerint l'estabilització del creixement molt per

sobre del que es dona al parc i donant una informació errònia de les produccions que se'n podrien obtenir.

5.3.3 Corbes de qualitat dels Pirineus

A continuació, en la figura 4.9. es comparen amb les corbes de qualitat que van elaborar García i Tella (1986) pels Pirineus. S'hi defineixen tres classes de qualitat separades entre elles cada 3 metres. Els índexs d'estació proposats són de 16, 13 i 10 metres a l'edat de 45 anys. Igual que pel Sistema Ibèric, representen un creixement en alçada suau i continu fins a edats força avançades.

Figura 4.9. Comparació entre les corbes de qualitat pel Parc del Castell de Montesquiú, en línies vermelles, i pels Pirineus, en línies blaves.



Amb els índex d'estació utilitzats, únicament queden representades les qualitats inferiors de les que s'han pogut representar al parc. Malgrat tot, a l'edat de referència de 40 anys s'hi observa un ritme bastant pronunciat, just al contrari del que succeeix en les corbes del parc per a tots els índex d'estació en les que s'intueix una relantització del creixement en alçada dels individus i tendint cap a una estabilització del creixement, tret indicatiu de l'arribada a l'etapa madura dels individus.

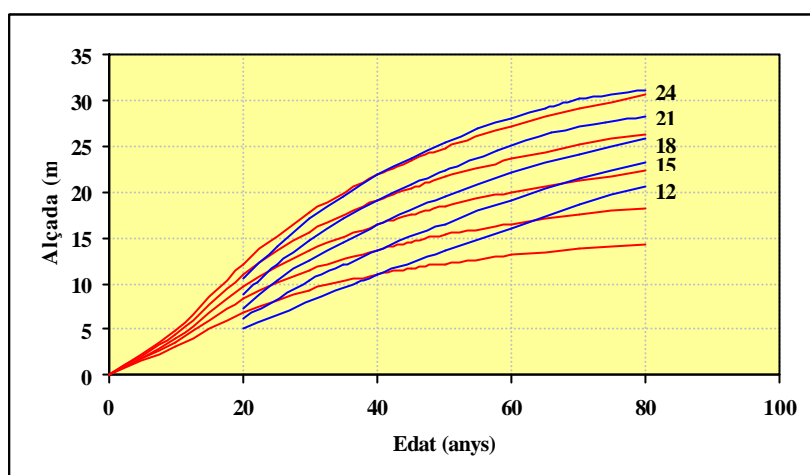
En cas d'utilitzar les corbes de García i Tella a la finca, el que es tindria seria una sobreestimació de la qualitat d'estació i, per tant, de la producció.

5.3.4 Corbes de qualitat de la Sologne (França)

Finalment, s'ha considerat oportú contrastar, també, les corbes del parc amb les que va construir Decourt, el 1965, (figura 4.10.). Són d'aplicació a masses artificials de *Pinus sylvestris* per a la regió de Sologne (França) i són les que Madrigal (1999) adopta per a al Península, ja que aquí únicament es disposa d'estudis sobre masses naturals. Decourt (1965) proposa 5 qualitats d'estació separades entre elles cada 3 metres, amb índexs d'estació de 24, 21, 18, 15 i 12 metres a una edat

de referència de 50 anys. Les corbes, en general, representen una tendència a un creixement constant al llarg del temps.

Figura 4.10. Comparació entre les corbes de qualitat pel Parc del Castell de Montesquiú, en línies vermelles, i per la regió de Sologne (França), en línies blaves.



En aquesta ocasió, els índexs d'estació coincideixen amb els utilitzats en el present estudi. L'evolució del creixement que es dona a la regió francesa és d'un ritme més elevat en les qualitats inferiors, en les que es poden arribar aconseguir alçades superiors als 20 metres mentre que al parc s'arribarien, encara no, als 15 metres. Per contra, en la corba de millor qualitat s'observa una gran similitud de les evolucions dels creixements en les dues àrees.

En general, però, són les que major similitud presenten entre elles. En cas d'utilitzar les corbes de qualitat de la Sologne, els errors que es podrien cometre en establir la producció que es pot treure no serien tan greus, sobretot en aquelles parcel·les en que la qualitat d'estació és major.

5.3.5 Conclusió general de les comparacions

De tot l'anterior, se'n pot treure la conclusió global de que a la finca no s'hi poden utilitzar les taules de producció corresponents a les principals àrees de distribució de la Península (Sistema Ibèric, Sistema Central i Pirineus) ja que la qualitat d'estació del parc per al *Pinus sylvestris* no és la més ideal, trobant-se al límit de la seva distribució natural (entre 500 i 800 metres d'alçada i baixa pluviometria anual).

No obstant, si que poden ser útils les corbes de qualitat de la Sologne i que Madrigal (1999) accepta com a factibles en al Península per a aquelles masses artificials de *Pinus sylvestris*. Davant

aquest fet, es pot tenir una garantia amb les corbes aconseguides en aquest projecte, malgrat haver hagut de treballar amb un rang de dades curt (únicament amb els parells de dades fins a 45 anys).

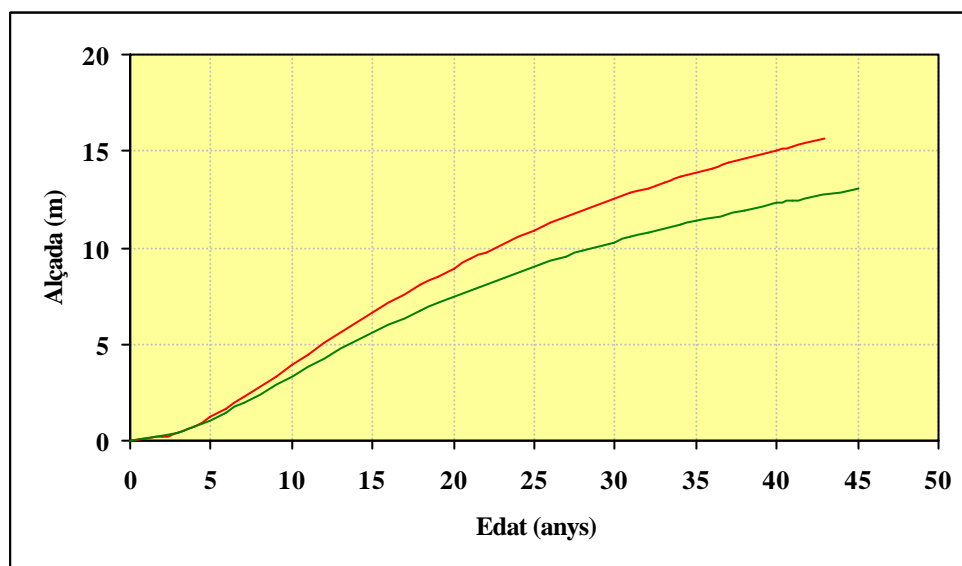
D'haver treballat amb la totalitat de les dades, s'haguessin aconseguit unes corbes esbiaixades al comptar amb un nombre superior de dades procedents de parcel·les en que no s'hi havia intervingut per presentar uns menors creixements al estar ubicades en zones de qualitat més baixa. Amb aquestes corbes que s'haurien pogut obtenir, segurament cap de les taules de producció que Madrigal (1999) ha considerat aptes per a la Península s'haguessin adaptat i podria posar en entredit la fiabilitat dels resultats.

5.4 Patrons de creixement: dominant vs dominats

Les pautes en el creixement dels individus són el resultat de les interaccions de competència, entre altres factors, que s'estableixen a l'interior de la massa. Fruit d'aquestes interaccions sorgeixen les tipologies socials que, a grans trets, es divideixen en arbres dominants i arbres dominats. A continuació, es comparen els patrons del creixement en alçada que segueix el *Pinus sylvestris* a la finca per veure com ha estat l'evolució d'aquestes masses.

Per fer-ho, a la figura 4.11. es sobreposen les corbes guia de les dues tipologies socials estudiades, les quals venen determinades segons el model de Strand.

Figura 4.11. Pautes de creixement en alçada dels peus dominants (en vermell) enfront dels peus dominats (en verd)



Per completar la informació de les dues gràfiques i poder treure'n la màxima informació, s'adjunta a continuació els valors dels paràmetres utilitzats, les asímptotes i l'edat en la qual es produeix el punt d'inflexió de les sigmoïdes:

	Dominants	Dominats
	$H = \left(\frac{E}{3,0549 + 0,3287 \cdot E} \right)^3$	$H = \left(\frac{E}{3,1376 + 0,3550 \cdot E} \right)^3$
a	3,0549	3,1376
b	0,3287	0,355
Asímptota	28,1579	22,3519
E_{pt.infl} = a/b	9	9

En el model de Strand, el paràmetre referent a l'asímtota és la b i el referent a la taxa de creixement és la a . A la vista dels valors que s'utilitzen en cada una de les bases de dades, per a un valor de b similar en les dues funcions, els peus dominats precisen un valor de a més elevat per a suavitzar el creixement, sobretot a partir del moment en que es produeix el punt d'inflexió de la corba.

El punt d'inflexió és el moment en que es dona la màxima velocitat de creixement. Aquest punt es troba situat als 9 anys de la massa, moment en que, si s'observa el gràfic, es comprova que les corbes prenen ritmes de creixement més distants, marcant la diferència entre dominants i dominats dins la massa.

Tenint com a punt de referència aquestes preliminars, és de suposar que l'evolució global de les masses de pi roig al parc a estat la següent:

- Durant les etapes de seminal i plançoneda (considerant seminal com a regenerat fins a 25 cm d'alçada i com a plançoneda fins a l'inici de tangència de capçades o alçada mitja de 2 metres) els individus de la massa van creixement amb un ritme molt similar, sense establir cap mena de tipologia social.
- Al voltant dels 9 anys s'inicia la tangència de capçades dins la massa donant lloc a les primeres interaccions de competència per l'espai i la llum. A partir d'aquest moment, uns peus comencen a destacar davant els altres adoptant ritmes de creixement en alçada més elevats.
- A mesura que van passant els anys, la diferenciació entre un estrat dominant i un estrat dominat va prenent més importància, de tal manera que els peus que van quedant per sota les capçades del més vigorosos cada vegada presenten un creixement en alçada més limitat, ocasionat per la falta de llum que els arriba i per la competència de nutrients que també es va produint, tant amb els individus dominants com amb totes les altres espècies acompanyants.

6 CONCLUSIONS

Les conclusions generals que es poden treure del contingut d'aquest projecte són:

1. Les corbes de qualitat per al *Pinus sylvestris* L. al Parc Comarcal del Castell de Montesquiú segueixen el model anamòrfic de Strand, diferenciant 4 classes de qualitat separades entre elles cada 3 metres, amb índex d'estació de 21, 18, 15 i 12 metres a l'edat de referència de 40 anys.
2. Per a la determinació d'aquestes corbes, s'ha hagut de prescindir dels parells de dades d'edats superiors als 45 anys ja que aquesta informació provenia de les parcel·les de qualitats més baixes i hagués donat a lloc a corbes més aplanades, representant uns creixements en alçada molt inferiors als reals. El paràmetre determinant ha estat l'estudi de l'asímtota lligada a la coherència amb l'espècie estudiada.
3. Les corbes de Decourt definides per la regió de la Sologne (França) i considerades per Madrigal (1999) aptes d'aplicar a la Península en les masses artificials, són les que presenten una major similitud amb les obtingudes en el present projecte. Aquest fet implica la possibilitat de poder aplicar les taules de producció d'aquella regió francesa a la finca de Montesquiú.
4. Trobar aquesta similitud entre les corbes del projecte i les franceses, d'aplicació a la Península, dona una garantia al resultat malgrat no tenir un gran nombre de dades de partida, ja que s'ha hagut de prescindir de part de la informació inicial per tal de no alterar la realitat.
5. Les corbes de qualitat proposades per les principals àrees de distribució a la Península (Sierra de Guadarrama, Sistema Ibèric i Pirineus) donen uns ritmes de creixement en alçada molt superiors als que es tenen al parc. La seva utilització a la finca podria donar lloc a esperar unes produccions superiors a les que es podrien obtenir realment.
6. Les pautes de creixement dels individus de la massa, segons si són dominants o bé dominats, varia en la taxa de creixement. Els peus dominants, a partir del punt d'inflexió de la corba sigmoide, presenten un creixement en alçada més elevat aconseguint un valor d'asímtota de 28,16 metres, mentre que els dominats arriben als 22,35 metres.
7. Les masses de *Pinus sylvestris* de la finca han tingut un creixement en alçada similar durant les primeres etapes. Al voltant dels 9 anys, s'haurien iniciat les interaccions de competència entre els individus per l'espai i la llum. A partir d'aquest moment es comença a diferenciar un estrat dominant que va agafant un ritme de creixement en alçada més elevat, fet que suposa que els individus que queden per sota les seves capçades vegin alentit el seu desenvolupament.

BIBLIOGRAFIA

AISA ASIAÍN, A. (2000). Curvas de calidad para *Pinus radiata* D. DON en Navarra. F. Olabe Velasco (tutor). Projecte Final de Carrera. Universitat de Lleida. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària. (Inèdit).

ANDENMATTEN, E.; LETOURNEAU, F. (2000). *Curvas de índice de sitio y crecimiento en altura, para Pino Oregón (Pseudotsuga menziesii (Mirb.) Franco), de aplicación a la región Andino Patagónica de Chubut y Río Negro, Argentina*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Argentina.

Anuario de estadística agroalimentaria 2002. (2003) Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.

de BOLÓS, O. [et al.] (1990). *Flora manual dels Països Catalans*. Pòrtic. Barcelona.

BRAVO, F.; LIZARRALDE, I. (2004). Modelo de dinámica de rodales forestales para las masas naturales de pino silvestre en Castilla – León: protocolo para la obtención de datos. Universidad de Valladolid. Palencia. (Inèdit).

CASTROVIEJO, S. [et al.] (1986). *Flora ibérica: plantas vasculares de la Península Ibérica e Islas Baleares*. Real Jardín Botánico. Madrid.

CATALÁN, G. (1991). *Regiones de procedencia de Pinus sylvestris L., Pinus nigra Arn. subsp. salzmanii (Dunal) Franco*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.

GARCÍA, J.L. (1981): *Tablas de producción de densidad variable para Pinus sylvestris L. en el Sistema Ibérico*. Comunicaciones I.N.I.A. Serie: Recursos Naturales. nº 10. Madrid.

GARCÍA, J.L.; GÓMEZ, J.A. (1984): *Tablas de producción de densidad variable para Pinus sylvestris L. en el Sistema Central*. Comunicaciones I.N.I.A. Serie: Recursos Naturales. nº 29. Madrid.

GARCÍA, J.L.; TELLA, G. (1986): *Tablas de producción de densidad variable para Pinus sylvestris L. en el Sistema Pirenaico*. Comunicaciones I.N.I.A. Serie: Recursos Naturales. nº 43. Madrid.

GARCÍA, O. (1995): *Apuntes de mensura forestal I. Estática*. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile.

INSTITUTO SUPERIOR DE AGRONOMIA DE LISBOA (17 de desembre de 2003). Departamento de Engenharia Florestal [en línia]. [Consultat: 15 febrer 2005]. Disponible a Internet: www.isa.utl.pt/def/gimref/download/

II Inventario Forestal Nacional. (1986 – 1995). ICONA. Madrid.

KIVISTE, A. [et al.] (2002). *Funciones de crecimiento de aplicación en el ámbito forestal*. Monografías INIA: Forestal nº 4. Madrid.

KREMER, B.P. (1996). *Guías de naturaleza Blume. Árboles*. Blume. Barcelona

MADRIGAL, A.; PUERTAS, F.; MARTÍNEZ, J. (1992). *Tablas de producción para Fagus sylvatica L. en Navarra*. Departamento de Agricultura, Ganadería y Montes. Navarra.

MADRIGAL, A. [et al.] (1999). *Tablas de producción para los montes españoles*. Fundación Conde del Valle de Salazar. Madrid.

MOLINS VILARDELL, J. (1997). Aproximació a l'avaluació de la qualitat d'estació de pinedes de pi roig (*Pinus sylvestris*) a la comarca del Solsonès. J.R. Olarieta Alberdi (tutor). Projecte Final de Carrera. Universitat de Lleida. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària. (Inèdit).

MUNDET JULIOL, R. (2004). Prospecció de la qualitat d'estació i tipologia silvícola per a masses regulars de *Pinus halepensis* Mill. a les comarques del nord – est de Catalunya. D. Meya Nos (tutor). Projecte Final de Carrera. Universitat de Lleida. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària. (Inèdit).

NIGHT, G.D. (1995). *Compatibility improvements and bias reduction in height – age models*. Ministry of Forests Research Program. British Columbia.

PARÉS, E. (1998). *Vocabulari forestal*. Institut d'Estudis Catalans. Barcelona.

PASCUAL, R. (1999). *Guia dels arbres del Paísos Catalans*. Pòrtic. Barcelona.

PEMÁN, J.; NAVARRO, R. (1998). *Replantaciones forestales*. Universitat de Lleida.

PEÑA, D. (1993). *Estadística. Modelos y métodos: 2. Modelos lineales y series temporales*. Alianza Editorial. Madrid.

PEÑA, D. (2002). *Anàlisis de datos multivariantes*. McGraw-Hill. Madrid.

PITA, P.A. (1973). *El inventario en la ordenación de montes*. Ministerio de Agricultura. I.N.I.A. Madrid.

RIVAS – MARTÍNEZ, S. (1987). *Memoria del mapa de series de vegetación de España*. ICONA. Madrid

RODRÍGUEZ PUERTA, F. (2005). Modelos de producción de las choperas del Valle del Cinca. Álvaro Aunós Gómez (director). Tesis Doctoral. Universitat de Lleida. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària. (Inèdit).

ROJO, A.; MONTERO, G. (1996). *El pino silvestre en la Sierra de Guadarrama*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.

ROMÀ, J. (2002). Modelització del creixement de la pinassa (*P. nigra*, ssp. *Salzmanii*) en masses regulars del Solsonès. A. Aunós i R. Blanco (co-tutors). Projecte Final de Carrera. Universitat de Lleida. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària. (Inèdit).

ROMO, A.M. (1997). *Árboles de la Península Ibérica y Baleares*. Planeta. Barcelona.

RONDEAUX, J. (1993). *La mesure des arbres et des peuplements forestiers*. Les Presses Agronomiques de Gembloux.

RUIZ DE LA TORRE, J.(1979). *Árboles y arbustos de la España peninsular*. Sección de Publicaciones de la ETSI de Montes. Madrid.

RUIZ DE LA TORRE, J.(1984). *Árboles y arbustos de España*. Salvat. Barcelona.

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.

SCHABENBERGER, O.; PIEERCE, F.J. (2002). *Contemporary statistical models for the plant and soil sciences*. CRC Press. Florida.

SPLECHTNA, B.E. (2001). *Height growth and site index models for Pacific silver fir in southeastern British Columbia*. B.C. Journal of Ecosystems and Management.

TOLOSANA, E.;GONZÁLEZ, V.M.; VIGNOTE, S. (2000). *El aprovechamiento maderero*. Fundación Conde del Valle de Salazar – Mundi-Prensa. Madrid.

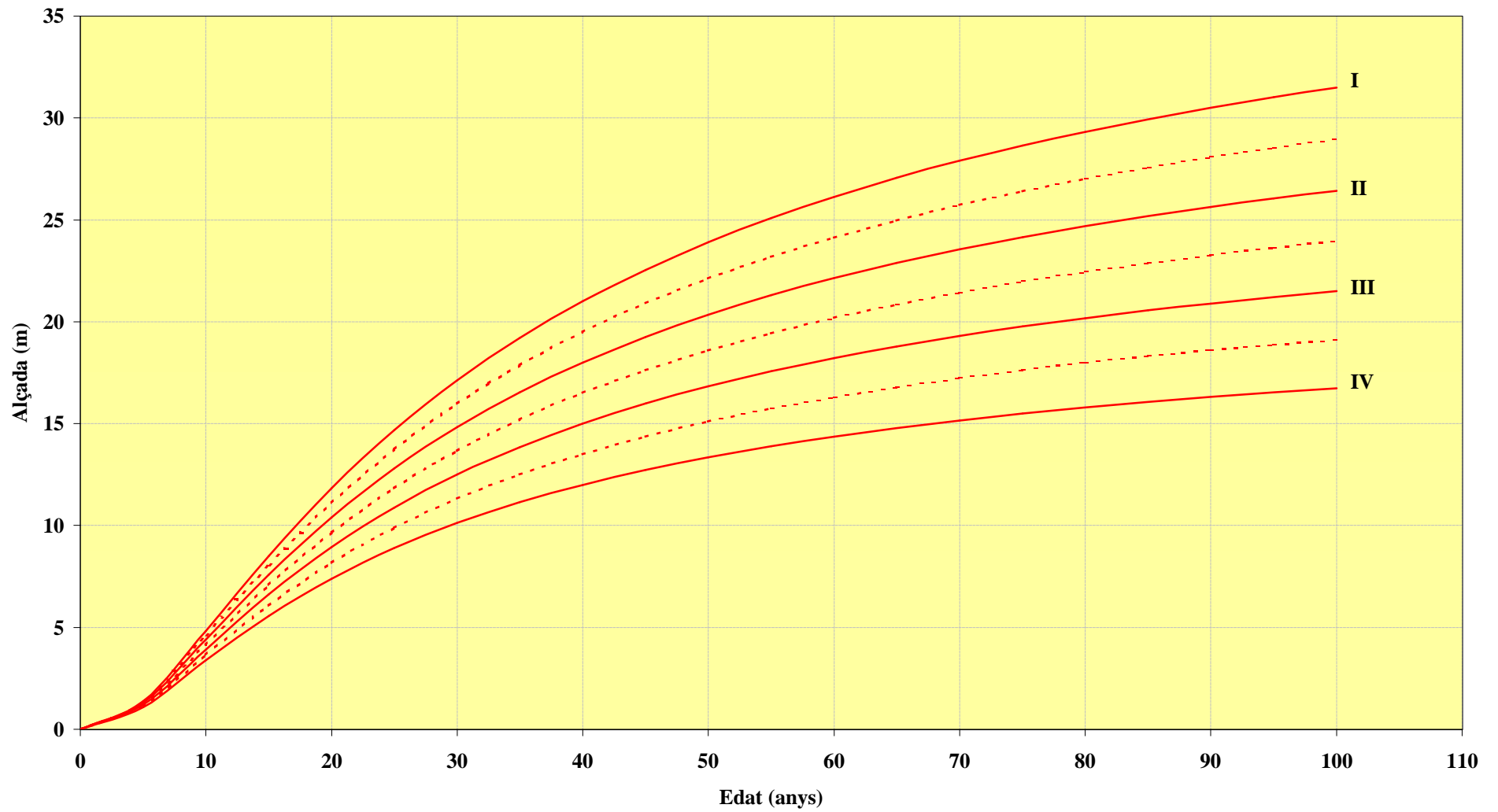
TRASOBARES, A.; PUKKALA, T.; MIINA, J. (2004). *Growth and yield model for uneven – aged mixtures of pinus sylvestris L. and Pinus nigra Arn. in Catalonia, north – east Spain*. Forest Sciences, 61: 9-24.

VANNIERE, B. (1984). *Tables de production pour les forêts françaises*. E.N.G.R.E.F., I.N.R.A., O.N.F. 2^a Ed. Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts. Nancy.

**Corbes de qualitat del Pinus sylvestris L.
al Parc Comarcal del Castell de Montesquiu**

Edat	Qual. I	Qual. I-II	Qual. II	Qual. II-III	Qual. III	Qual. III-IV	Qual. IV
0	0	0	0	0	0	0	0
5	1,39	1,34	1,30	1,25	1,20	1,15	1,09
10	4,83	4,61	4,39	4,15	3,91	3,65	3,39
15	8,51	8,05	7,59	7,10	6,61	6,09	5,57
20	11,83	11,12	10,41	9,68	8,94	8,17	7,40
25	14,69	13,75	12,81	11,84	10,88	9,89	8,90
30	17,13	15,98	14,83	13,66	12,50	11,31	10,12
35	19,21	17,88	16,54	15,20	13,85	12,50	11,14
40	21,00	19,50	18,00	16,50	15,00	13,50	12,00
45	22,55	20,90	19,26	17,62	15,98	14,36	12,73
50	23,90	22,12	20,35	18,59	16,83	15,09	13,35
55	25,08	23,19	21,30	19,44	17,57	15,73	13,89
60	26,13	24,14	22,14	20,18	18,22	16,29	14,37
65	27,06	24,97	22,89	20,84	18,80	16,79	14,79
70	27,90	25,73	23,56	21,43	19,31	17,23	15,16
75	28,65	26,40	24,16	21,96	19,77	17,63	15,49
80	29,33	27,01	24,70	22,44	20,18	17,99	15,79
85	29,94	27,57	25,19	22,87	20,56	18,31	16,06
90	30,51	28,07	25,64	23,27	20,90	18,60	16,30
95	31,03	28,54	26,05	23,63	21,21	18,87	16,53
100	31,50	28,96	26,42	23,96	21,49	19,11	16,73

**CORBES DE QUALITAT PER A *Pinus sylvestris* L.
AL PARC COMARCAL DEL CASTELL DE MONTESQUIU**



Rodals	Núm. parcel·les d'inventari	Superfície (ha)	AB (m2/ha)	Densitat (peus/ha)	Estructura	Espècies principals	Densitat (peus/ha)	Percentatge (%)	Edat (anys)	AB (m2/ha)	AB (%)	Dmitja (cm)	Hmitja (m)	Ho (m)	V (m3/ha)	Creixement (m3/ha/any)	Vitalitat (%)
VIIIa	2	11,74	17,02	645	MULTI	Fg	199	31	60	5,07	29,79	17	11,60	13,60	28,224	1,042	70
						Rg	139	22	-	3,30	19,39	16	8,50	10,20	15,126	0,511	70
						Pr	139	22	70	5,75	33,78	22	12,30	14,20	36,57	1,185	70
						Tp	68	10	-	1,25	7,34	14	7,20	7,20	-	-	70
VIIIb	1	4,87	22,02	812	BI	Rg	175	66	-	2,44	11,08	13	10,30	12,20	12,69	0,511	50
						Pr	533	21	60	18,77	85,24	20	11,50	15,80	115,561	4,04	33
VIIIc	2	59,11	19,86	709	MULTI	Rm	605	79	-	15,84	79,76	17	9,10	14,20	68,671	2,323	70
						Pr	103	13	60	3,20	16,11	19	11,00	11,60	19,098	0,717	70
VIIId	2	7,02	24,17	1178	MULTI	Al	641	54	-	11,08	45,84	14	8,10	12,00	34,041	-	75
						Rm	330	28	-	5,43	22,47	14	7,10	10,20	21,305	0,903	75
						Pr	207	18	70	7,63	31,57	21	12,00	14,20	46,216	1,608	50
IXa	2	13,14	21,17	916	MULTI	Pr	541	59	60	15,37	72,60	18	12,40	15,50	96,551	3,701	45
						Bl	147	16	-	2,20	10,39	13	10,00	11,20	12,938	-	50
IXb	2	13,69	19,99	903	MULTI	Pr	326	36	60	13,31	66,58	22	6,80	7,60	88,77	2,872	50
						Rg	231	26	-	2,26	11,31	11	6,80	7,60	9,431	0,502	50
						Fg	151	17	60	2,19	10,96	13	11,80	13,40	14,875	0,682	50
						Bl	127	14	-	1,58	7,90	12	9,40	10,10	8,95	-	50
IXc	3	18,07	25,51	1064	MULTI	Pr	448	42	60	16,33	64,01	21	13,10	16,10	107,183	3,636	50
						Fg	175	16	60	3,53	13,84	15	13,10	15,70	23,675	0,8975	50
						Rg	170	16	-	2,22	8,70	12	7,50	8,60	9,41	0,429	50
						Bl	139	13	-	2,21	8,66	14	10,20	10,80	13,266	-	50
IXd1	3					NO Pr											
IXd2	?					NO Pr											

Estructura = MONO (monoestratificada); MULTI (multiestratificada); BI (biestratificada)

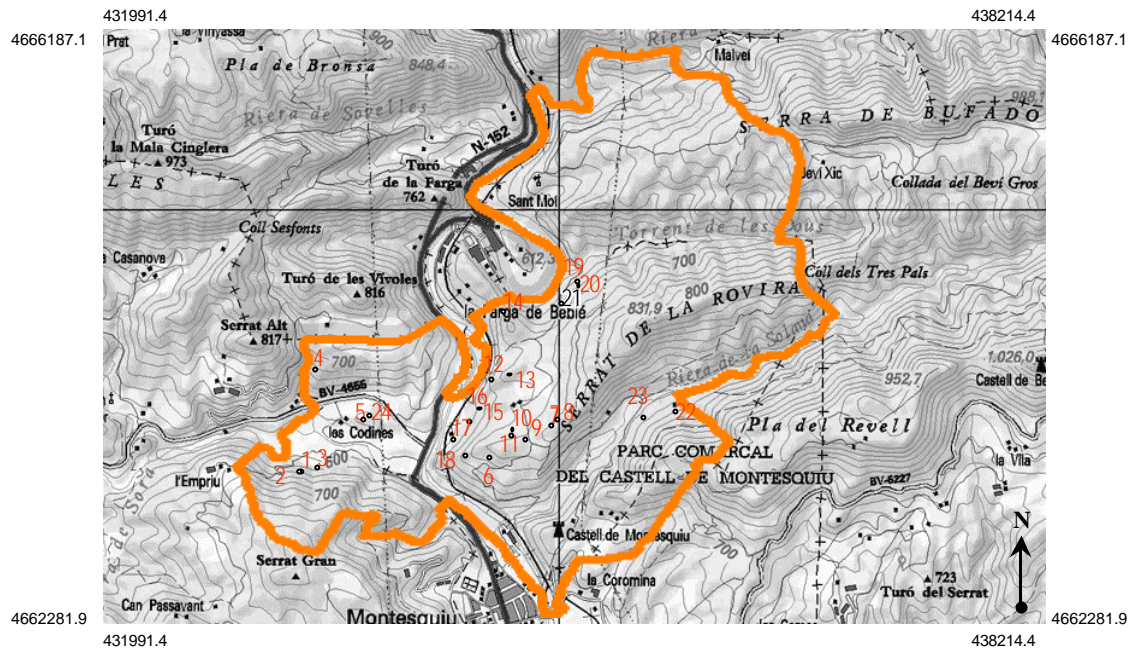
NO Pr = El Pi roig no és espècie principal, sino que apareix com espècie secundària (presència < 10%) o no apareix.

ANNEX 4. Situació i característiques de les parcel·les

Al quadre es donen les parcel·les d'inventari amb la seva posició (completada amb el mapa adjunt) i les seves principals característiques.

Parcel·la	Coordenades UTM			AB (m ² /ha)	AB pi roig (m ² /ha)	% AB pi roig	H ₀ (m)	Edat (anys)	IS ₆₀ (m)	Qualitat provisional
	X	Y	Z							
1	433303	4663281	613	29,32	27,9	95,17	18,5	82	15	III
2	433287	4663270	626	23,34	21,5	92,14	19,2	75	17,5	III
3	433410	4663296	622	34,84	28,87	82,84	15	79	12,6	IV
4	433390	4663952	683	40,04	37,77	94,32	17,4	41	22	II
5	433715	4663618	629	43,9	38,78	88,33	19,4	75	17,5	III
6	434547	4663365	682	41,83	37,4	89,41	20,9	40	26	I
7	434956	4663577	724	27,71	27,71	100	17,2	32	25	I
8	434998	4663614	705	39,87	39,87	100	17,2	40	22,6	II
9	434777	4663486	701	42,13	37,56	89,15	18,2	49	21	II
10	434698	4663555	694	43,84	42,9	97,86	18	49	20,8	II
11	434689	4663513	697	66,24	65,55	98,96	21,8	44	26	I
12	434558	4663883	660	53,63	45,64	85,11	16,2	65	15,4	III
13	434669	4663915	610	41,69	41,69	100	19,5	57	20	II
14	434643	4664331	695	43,82	37,25	85,02	11,9	44	15,1	III
15	434415	4663611	674	45,08	44,23	98,1	15,8	30	24,2	I
16	434480	4663690	636	36,1	29,75	82,43	16,4	38	22,4	II
17	434304	4663485	650	41,85	33,64	80,39	21,9	51	24	I
18	434387	4663384	677	36,87	15,52	61,05	13,5	26	25	I
19	435132	4664509	633	48,36	45,7	94,5	15,5	43	20,4	II
20	435128	4664531	690	44,25	39,29	88,79	15,4	80	12,6	IV
21	435019	4664390	687	50,56	44,63	88,28	18,1	45	21,9	II
22	435772	4663668	679	46,36	36,99	78,79	16	77	13,4	IV
23	435562	4663634	656	45,58	43,87	96,26	16,1	45	20,5	II
24	433746	4663642	619	41,39	37,22	89,92	19,3	80	15,8	III

Mapa d'ubicació de les parcel·les d'inventari d'on s'han extret les dades d'aquest projecte



(E 1:50000)

ANNEX 5. Gràfics de residus dels models ajustats

Figura 5.1. Gràfics de residus per la base de dades dels peus dominants en que s'agafen tots els valors.

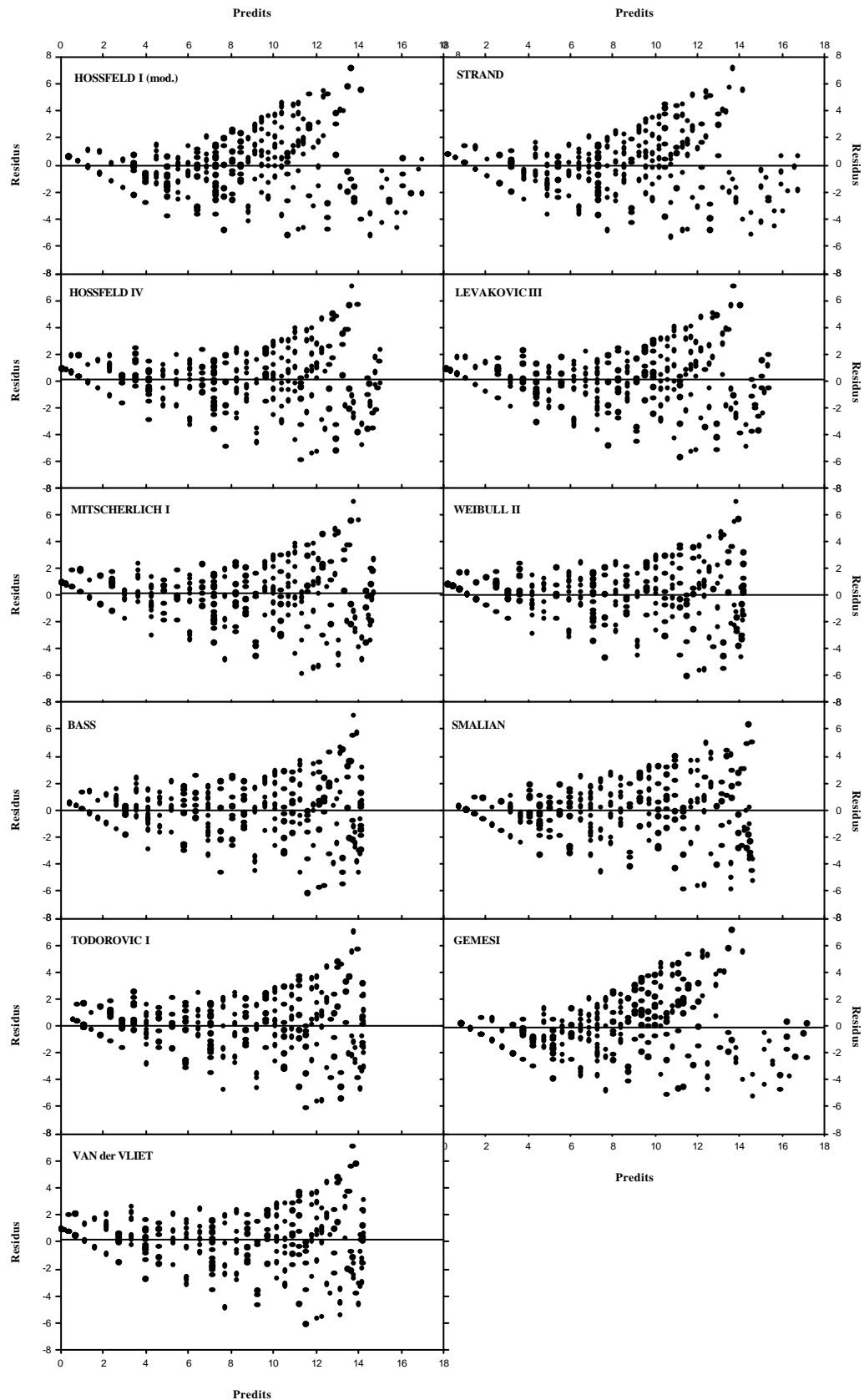


Figura 5.2. Gràfics de residus per la base de dades dels peus dominants en que no es consideren edats superiors als 45 anys.

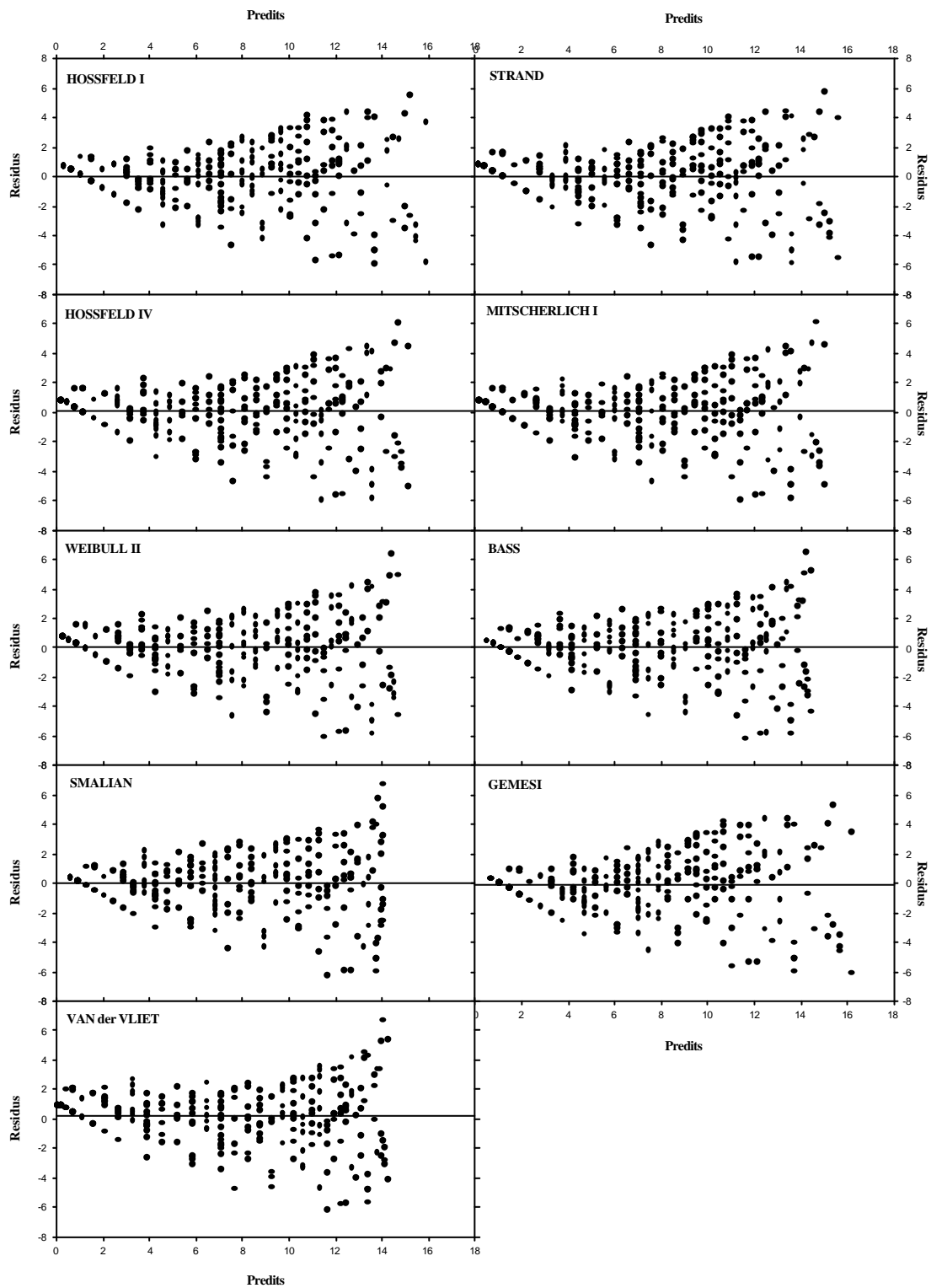


Figura 5.3. Gràfics de residus per la base de dades dels peus dominats en que es consideren totes les dades.

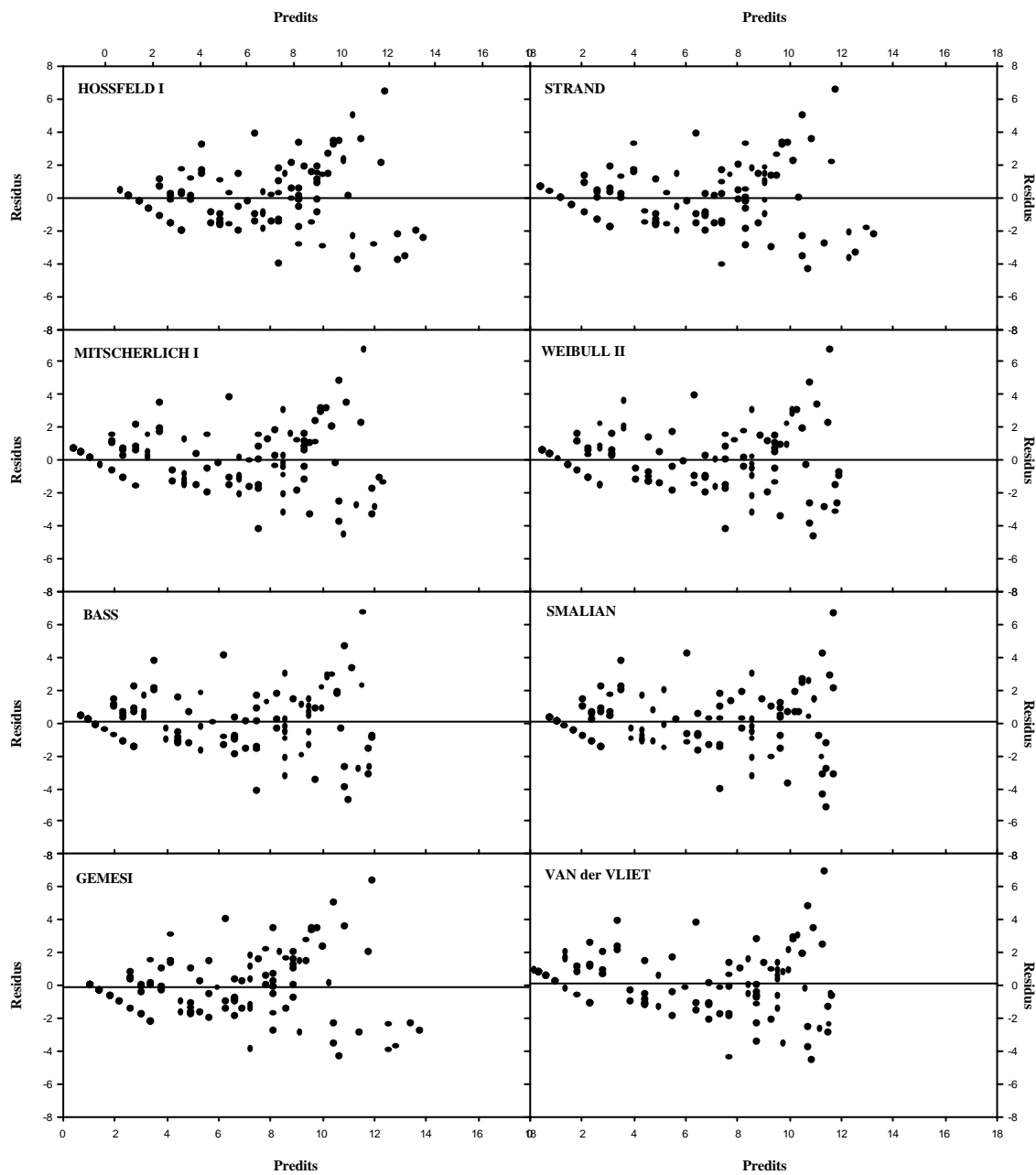
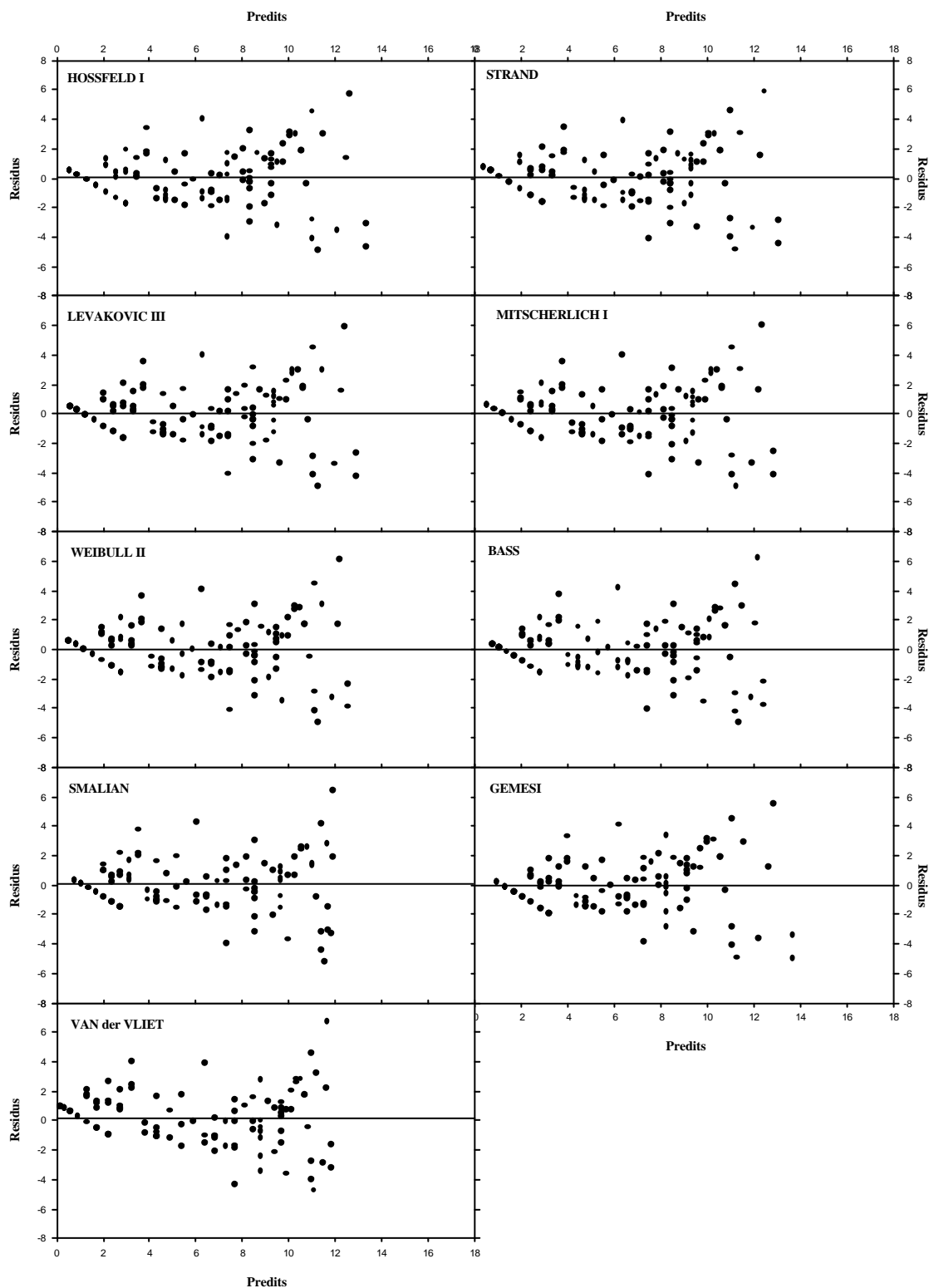


Figura 5.4. Gràfics de residus per la base de dades dels peus dominats en que no es consideren edats superiors als 45 anys.



ANNEX 6. Corbes guia

Figura 6.1. Corbes guia de cada un dels models ajustats per als individus dominants prenen totes les dades.

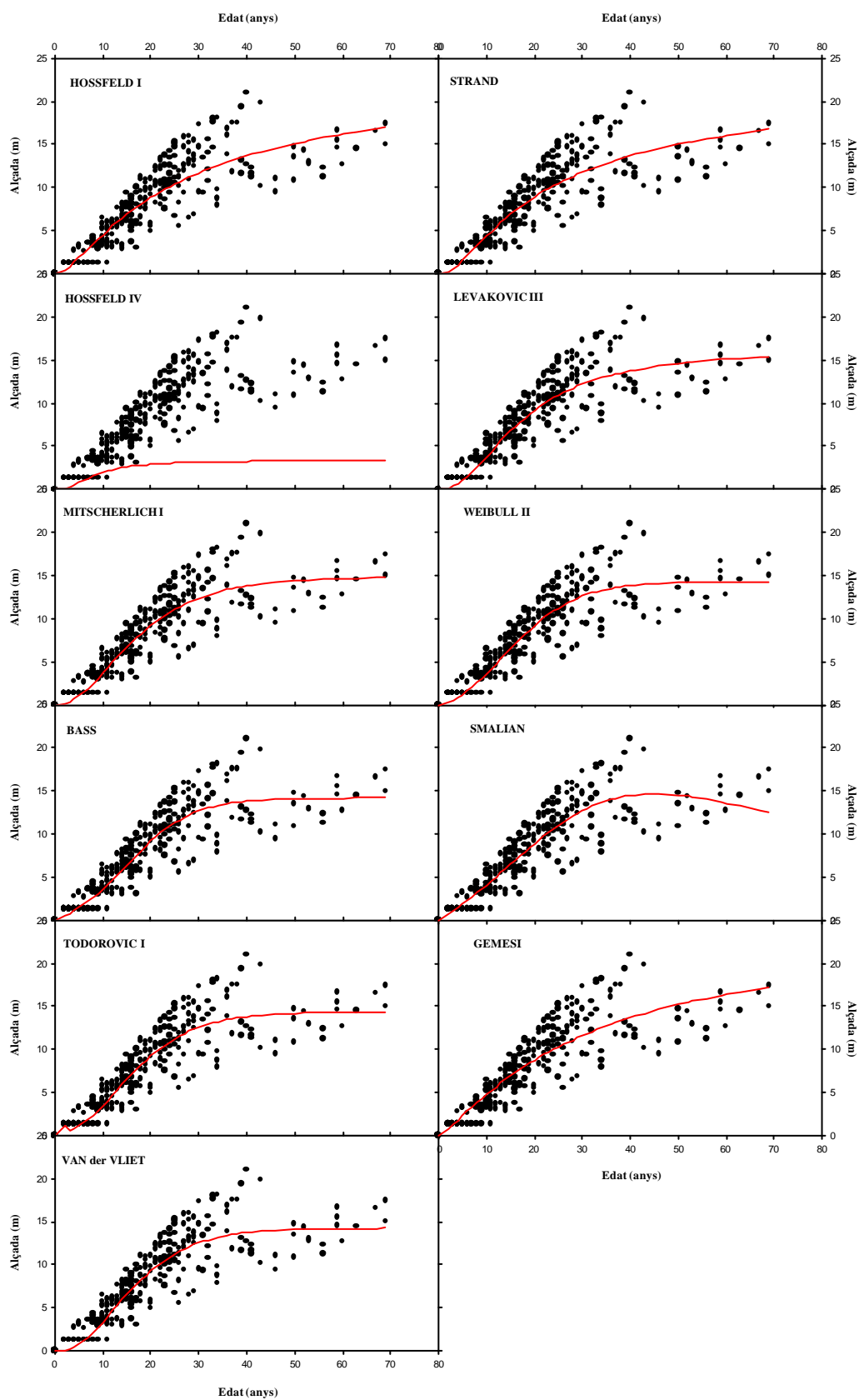


Figura 6.2. Corbes guia de cada un dels models ajustats per als individus dominants prenen les dades d'edats inferiors o igual als 45 anys.

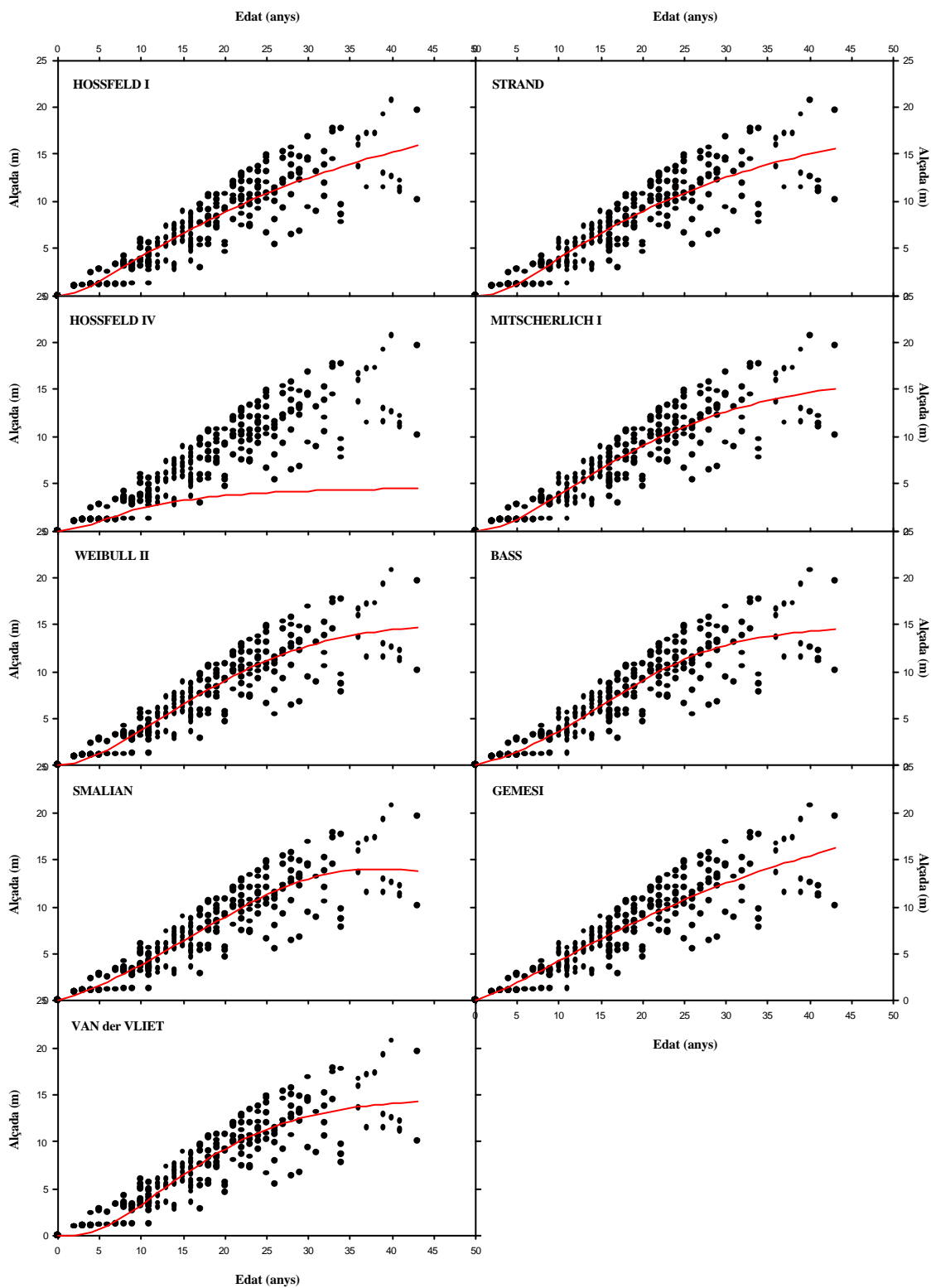


Figura 6.3. Corbes guia de cada un dels models ajustats per als individus dominats prenen totes les dades.

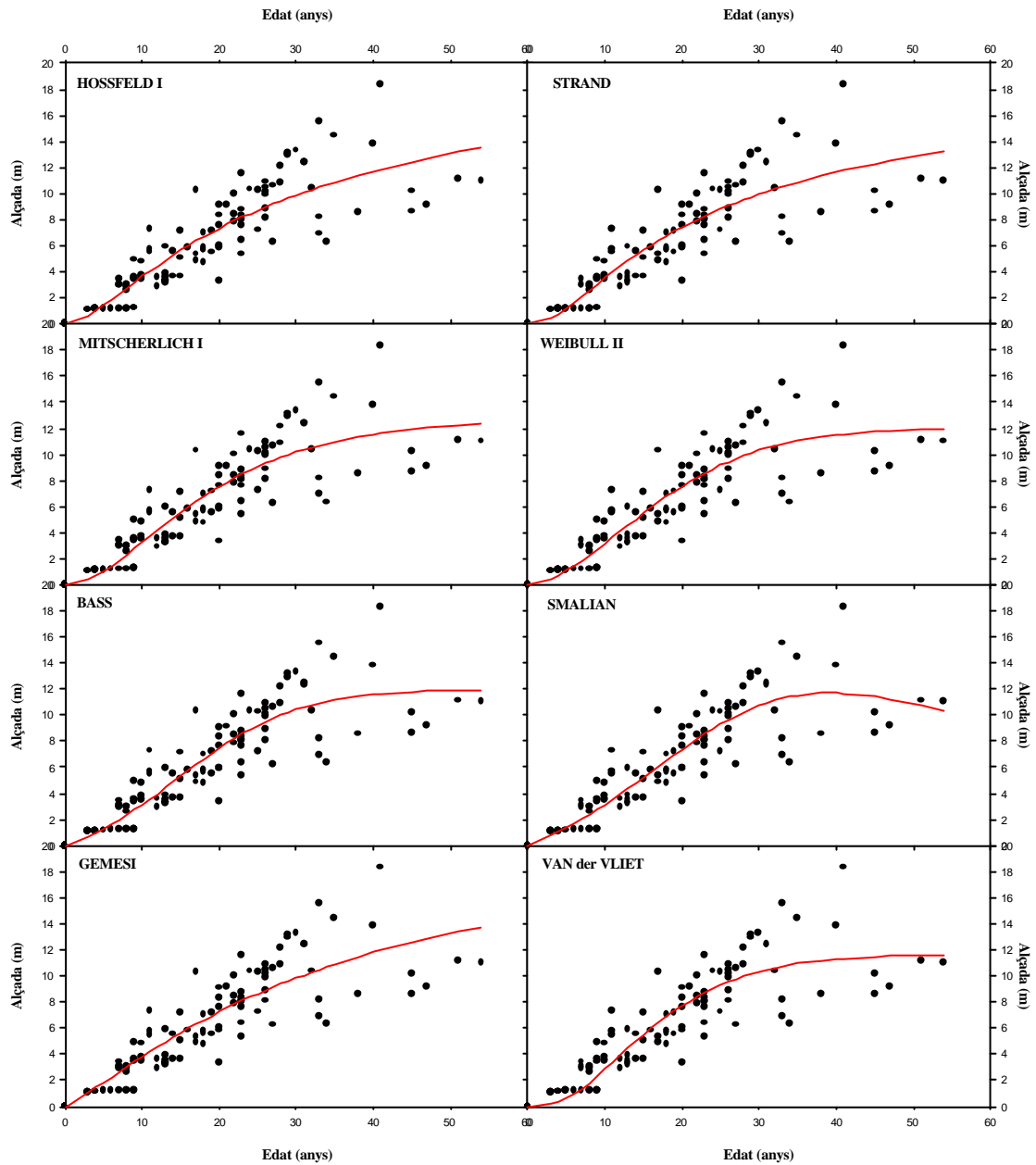


Figura 6.4. Corbes guia de cada un dels models ajustats per als individus dominats prenen les dades d'edats inferiors o iguals a 45 anys.

