

Estudi del decaïment en *Pinus halepensis* al Parc de Collserola

**Memòria del projecte final de
carrera de CCAA (2015)**

Presentat per Xavier fité malla

Dirigit per Jordi Martínez Vilalta

i Jordi Vayreda Duran



Universitat Autònoma de Barcelona

Índex

1. Introducció	1
1.1. Importància global dels boscos	1
1.1.1. Serveis ecosistèmics que ens aporten els boscos	1
1.2. Boscos i canvi global.....	6
1.2.1. El canvi Global	6
1.2.2. Els Boscos mediterranis.....	13
1.3. Què és la dendrocronologia	20
1.4. Per què moren els arbres?	23
1.5. Els boscos de pi blanc i la seva adaptació al canvi global	25
1.5.1 El pi blanc (<i>Pinus halepensis</i>)	25
1.5.2. La gestió de les pinedes de pi blanc.....	28
1.5.3. Gestió forestal a Collserola	32
1.6. La problemàtica observada	33
1.7. Objectius i hipòtesis	38
2. Materials i mètodes	39
2.1. Zona d'estudi.....	39
2.2. Mostreig de camp	40
2.3. Tractament de les mostres.....	42
2.4. Mesura dels anells i anàlisi de dades	42
2.5. Anàlisis estadístiques.	44
3. RESULTATS.....	45
3.1. Resultats de la gestió duta a terme.....	46
3.2. Resultats de BAI i RW	47
3.3. Correlacions de les variables climàtiques amb el BAI	49
3.4 Resultats del test de la X^2 per la infecció fúngica.....	53
4. DISCUSSIÓ	55
5. Conclusions	59
6. Bibliografia	60
7. Annexes	64

1. INTRODUCCIÓ

1.1. Importància global dels boscos

1.1.1. Serveis ecosistèmics que ens aporten els boscos

Sota la designació de Serveis Ecosistèmics (SE) s'integren els beneficis, tangibles i intangibles, que es deriven de la natura per profit de l'ésser humà. D'acord a certs criteris, aquests poden ser valorats econòmicament a fi d'equiparar-los d'alguna manera a activitats econòmiques que impliquen canvis en els usos del sòl, i d'aquesta manera comptar amb arguments addicionals per la seva conservació i maneig. Donat el valor intrínsec de la natura, això provoca un cert rebuig per part d'alguns acadèmics, ja que aquests consideren que no és possible ni desitjable expressar-ho tot en termes econòmics. Malgrat aquesta resistència es considera que el reconeixement i avaluació dels SE permet una millor interpretació del seus beneficis així com determinar els canvis que incideixen en el benestar humà (Costanza *et al.*, 1997).

Amb aquesta visió, s'incorpora el concepte de **Capital natural**, sumant-se al Capital econòmic i al Capital humà com a mesures de riquesa d'un país. Es important conèixer i ressaltar els valors de la biodiversitat, des d'un punt de vista econòmic, al assumir que els recursos naturals produeixen riquesa i benestar al llarg del temps.

Definició

En el present segle la iniciativa coneguda com Avaluació dels Ecosistemes del Mil·lenni (MA), promoguda per la ONU s'ha convertit en el principal referent sobre aquest concepte. La definició de Serveis Ecosistèmics proposada per MA (2003), així com altres definicions relativament recents, algunes de les quals són el seu antecedent immediat, es presenten a continuació en ordre cronològic:

- Les condicions i processos a través dels quals els ecosistemes naturals i les espècies que els constitueixen sustenten i satisfan a la vida humana (Daily, 1997).
- Els béns (com poden ser els aliments) i serveis (com seria l'assimilació de residus) dels ecosistemes, que representen els beneficis que la població humana obté, directa o indirectament, de les funcions dels ecosistemes (Costanza *et al.* 1997).
- Funcions de l'ecosistema: capacitat dels processos i components naturals per proporcionar béns i serveis que satisfan les necessitats humanes, directa o indirectament (De Groot *et al.* 2002).
- Els beneficis que la població obté dels ecosistemes (MA, 2003).
- Aquelles funcions o processos ecològics que directa o indirectament contribueixen al benestar humà o tenen un potencial per fer-ho en el futur (U.S. EPA, 2004).
- Són components de la natura, gaudits, consumits o directament utilitzats per produir benestar humà (Boyd y Banzhaf, 2007).
- Són els aspectes dels ecosistemes utilitzats (activa o passivament) per produir benestar humà. (Fisher *et al.* 2009).

El grup d'Avaluació dels Ecosistemes del Mil·lenni (MA), en el que van participar alguns dels autors abans anomenats, defineixen els SE de manera simplificada, centrant-se en els beneficis, amb un enfocament antropocèntric que sens dubte és l'essència del concepte. Fisher *et al.*, (2009) destaquen que els serveis reflecteixen fenòmens estrictament ecològics (estructura, processos o funcions) i el seu ús, tant actiu com passiu, pot ser directe o indirecte, però només es converteixen en serveis si els humans es beneficien d'ells; per tant, sense aquest beneficiaris no hi han serveis.

Es evident que aquesta disciplina està en un procés de consolidació, essent objecte d'una discussió que intenta fonamentar el procés de valoració de la natura com un mitjà per generar consciència sobre la importància dels fenòmens ecològics que beneficien a la humanitat. Es requereix una mínima comprensió de l'estructura i dels processos ecològics que permeten el bon funcionament dels

ecosistemes i que finalment proveeixen uns serveis a les poblacions humanes, fent-se necessari un marc teòric que permeti reconèixer, ubicar, mesurar, modelar i descriure els serveis ecosistèmics, relacionant-ne els canvis amb els possibles efectes sobre el benestar humà (Fisher *et al.*, 2009). Per tot això, el procés d'avaluació dels SE s'ha de sustentar en una clara definició i, considerant que no existeix un concepte unificador, tota iniciativa en aquest sentit haurà d'identificar clarament quins són els components, aspectes o processos que es prioritzen per entendre, dins de cada context, la classificació d'aquests serveis.

Classificació dels serveis ecosistèmics

Existeixen diverses classificacions de serveis ecosistèmics o de les funcions ecosistèmiques. Per exemple, alguns autors elaboren una classificació de 23 funcions bàsiques dels ecosistemes, agrupades en quatre categories principals, de les que se'n deriven diferents béns i serveis (Camacho Valdez, V., Ruiz Luna, A. 2011. Marco conceptual y clasificación de los servicios ecosistémicos. *Revista Bio Ciencias, enero 2012, vol 1, nº 4, 3 -15*)

- **Funcions de regulació:** Relacionades amb la capacitat dels ecosistemes per regular processos ecològics essencials i mantenir sistemes vitals a través de cicles biogeoquímics i altres processos biològics. Aquestes funcions proporcionen molts serveis que tenen beneficis directes i indirectes per les poblacions humanes, com són el manteniment de l'aire net, depuració de l'aigua, prevenció de inundacions i manteniment de la terra cultivable, entre d'altres.
- **Funcions d'hàbitat:** Els ecosistemes naturals proporcionen hàbitat de refugi i reproducció per a plantes i animals contribuint a la conservació biològica i diversitat genètica. Aquestes funcions proporcionen serveis de manteniment de la diversitat biològica i genètica, i d'espècies comercialment aprofitables.
- **Funcions de producció:** Els processos fotosintètics i autòtrofs en general, a partir dels quals els organismes autoabasteixen els seus requeriments orgànics a partir de compostos inorgànics i que també són el sostén de consumidors de diferent ordre, per a generar una major varietat de

biomassa. Aquesta varietat d'estructures proporcionen una diversitat de béns i serveis per al consum humà, que van des de l'aliment i matèries primeres fins a recursos energètics i medicinals.

- **Funcions d'informació:** Els ecosistemes proporcionen funcions de referència i contribueixen al manteniment de la salut humana proporcionant oportunitats d'enriquiment espiritual, desenvolupament cognitiu, recreació i experiències estètiques (paisatge).

Un altra aproximació per classificar els SE és la derivada de la Avaluació dels Ecosistemes del Mil·lenni (MA, 2003), probablement la més difosa i acceptada i que defineix els SE com “els beneficis que la població obté dels ecosistemes”.

Aquest treball involucrà científics de 95 països, que entre 2001 i 2005 s'abocaren a l'anàlisi de les conseqüències originades per canvis en els ecosistemes i va estar estructurat explícitament al voltant del concepte de serveis ecosistèmics como un intent d'integrar completament la sostenibilitat ecològica, la conservació i el benestar humà. Aquest ofereix un sistema de classificació amb propòsits purament operacionals basats en quatre línies funcionals dins del marc conceptual de MA que inclouen serveis de suport, regulació, proveïment i culturals (Figura 1), amb la intenció de facilitar la presa de decisions.

<p>Subministrament de serveis</p> <p>Productes obtinguts dels ecosistemes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aliment • Aigua potable • Combustible • Fibra vegetal • Bioquímics • Recursos genètics 	<p>Regulació de serveis</p> <p>Beneficis obtinguts dels processos de regulació dels ecosistemes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Regulació del clima • Control d'enfermetats • Regulació de l'aigua • Purificació de l'aigua • Polinització 	<p>Serveis culturals</p> <p>Beneficis no materials obtinguts dels ecosistemes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Espirituals i religiosos • Recreació i turisme • Estètic • Inspiracional • Educatiu • Sentit d'identitat • Patrimoni cultural
<p style="text-align: center;">Serveis de suport</p> <p style="text-align: center;">Serveis necessaris per la producció de tots els altres serveis del ecosistema</p> <p style="text-align: center;">Formació de sòls – Reciclatge de nutrients – Producció primària</p>		

Figura 1: classificació dels serveis ecosistèmics. (MA, 2005)

Les classes de serveis són les següents:

- **Serveis de suport:** necessaris per a la producció de tots els demès serveis ecosistèmics.
- **Serveis de proveïment:** productes obtinguts de l'ecosistema.
- **Serveis de regulació:** beneficis obtinguts de la regulació dels processos de l'ecosistema.
- **Serveis culturals:** beneficis no materials que la gent obté dels ecosistemes.

Aquesta proposta es deriva, entre altres aspectes, del interès que existeix per la pèrdua de biodiversitat dels ecosistemes i els seus efectes en el benestar social, amb el que aquesta pèrdua està íntimament lligada, ja que és a través de la biodiversitat que és té accés als diversos serveis. Malgrat que el grup d'avaluació d'Ecosistemes del Mil·lenni (MA, 2003, 2005) considera que aquests serveis no necessàriament tenen un preu, sí assumeixen que tenen un valor i que en moltes ocasions els processos de conversió d'ambients naturals genera un cost total que supera als beneficis obtinguts per aquesta conversió i que la seva degradació pot ser irreversible.

1.2. Boscos i canvi global

La dependència que té la humanitat de la natura, amb la consegüent responsabilitat de cuidar-la per les generacions futures, es un axioma ancestral, present en tots els pobles i cultures de la Terra.

No heretem la Terra dels nostres avantpassats, la rebem en préstec dels nostres fills.

Proverbi Kenià

1.2.1. El canvi Global

És el conjunt de canvis ambientals afectats per l'activitat humana. El terme inclou totes aquelles activitats que, tot i que puguin ser activitats locals, tenen efectes que van més enllà del àmbit local o regional per afectar el funcionament global del sistema Terra. Dues característiques del canvi global actual el fan únic en la història de la humanitat: la rapidesa amb que aquest canvi s'està desenvolupant i el fet que una única espècie, l'*Homo sapiens*, n'és el motor.

Les característiques específiques del canvi global han portat a proposar el terme **Antropocè** per a referir-se a l'etapa actual del planeta Terra. Antropocè un terme proposat l'any 2000 pel químic atmosfèric i premi Nobel Paul Crutzen, junt amb E. Stoermer, per designar una nova era geològica en l'història del planeta on la humanitat ha sorgit com una nova força **capaç de controlar els processos fonamentals de la biosfera** (Crutzen i Stoermer, 2000).

El canvi climàtic és un dels components principals del canvi global. Actualment l'esforç d'observació sobre les condicions meteorològiques i climàtiques del planeta es considerable, amb la gran capacitat i importància que, per exemple, tenen els satèl·lits. Tot i així, el primer satèl·lit d'observació meteorològica es va enviar a l'espai al 1960 (TIROS-1, americà) i, per tant, el denominat període instrumental d'observació (on hem pres dades directes) s'inicia a la segona meitat del segle XIX.

Els canvis anteriors al registre instrumental s'han obtingut d'observacions indirectes com poden ser:

- **Anells de creixement** d'arbres longeus (dendrocronologia).
- **Canvis en la composició isotòpica dels esquelets carbonatats** de microorganismes marins permeten reconstruir la temperatura en el passat.
- **Anàlisis de bombolles atrapades al gel** que han permès reconstruir la composició atmosfèrica al llarg de milions d'anys.

Aquests registres confirmen que els nivells de canvis en sistemes claus del sistema Terra en la actualitat sobrepassen freqüentment les registrades en el passat (Duarte, C *et al.* Cambio global, impacto de la actividad humana sobre el sistema tierra *CSIC Madrid 2006*)

Les **causes del canvi global** en l'Antropocè s'han de buscar en la conjunció de dos fenòmens relacionats:

- 1- El ràpid **creixement de la població humana**.
- 2- **L'increment del consum de recursos** per càpita de la humanitat.

El **creixement de la població humana** comporta un augment dels recursos consumits (aliments, aigua, espai i energia). Si pensem que els recursos són finits és evident que ha d'existir un sostre de població mundial. La primera veu d'alarma sobre el creixement incontrolat de la població fou la del capellà britànic Thomas R. Malthus, "*Un assaig sobre el principi de la població*" (1798) on prediu que la població humana excediria la capacitat de produir aliment. De fet és una preocupació ancestral (la Èpica Atrahasis babilònica de 1600 aC. ja alerta dels perills de la superpoblació humana). Aquesta preocupació ha portat a molts investigadors a realitzar càlculs sobre el nombre màxim de persones que el planeta pot suportar. La major part d'aquestes estimacions oscil·len entre 6.000 i 15.000 milions d'habitants (Cohen, 1995), amb valor mig proper als 10.000 milions, xifra propera a les projeccions demogràfiques per el segle XXI.

Aquestes estimacions de **capacitat de càrrega del planeta** respecte a la població humana estan basades en aproximacions de la quantitat màxima de recursos disponibles, sobretot aliments i aigua. Per exemple, agafant com a base

l'aigua, Cohen (1995) fa una estimació de consum (directe e indirecte) per habitant d'uns 1000 m³ per any (200 per cereals, 600 per carn, i la resta d'ús domèstic i industrial), dada que comparada amb els recursos d'aigua dolça situa entre 10.000 i 16.000 milions el sostre de població mundial, com a escenari més favorable. Però a partir d'aquí també s'hauria de pensar si aquest màxim seria sostenible en les asimetries regionals.

L'augment de població també ha anat acompanyat del **increment del consum de recursos** per càpita, que podem avaluar en els següents punts:

- **Ecosistemes:** La humanitat va passar de recol·lectora (ecosistemes sense pertorbar) a conreadora (ecosistemes "domesticats") però és a partir de la revolució industrial (ús de maquinària per transformar grans superfícies) on la superfície apropiada pels humans s'ha disparat, passant del 6% (any 1700) al 40% (Goldewijk & Battjes, 1997).
- **Aigua:** El consum d'aigua també s'ha disparat durant el segle XX, pràcticament s'ha multiplicat per 10, passant d'uns 600 a més de 5.200 km³ anuals, on també es fa notar l'augment del consum per càpita, des de 350 a 900 m³ anuals (Shiklomanov, 1993).
- **Energia:** L'ús d'energia per càpita s'ha multiplicat per 15 des de la Revolució Industrial (Cohen, 1995), sobretot pel desenvolupament del transport i la climatització dels espais habitats.

També en el consum de recursos per càpita existeixen grans asimetries regionals, la diferència en **l'estil de vida** fa que països com Canadà i EE.UU consumeixen, per càpita 10 vegades més recursos que d'altres de l'Àsia o l'Àfrica (World Resources Institute).

Resumint, es pot dir que la pressió total de la humanitat sobre els recursos del planeta s'ha multiplicat entre 10 i 15 vegades des de la revolució industrial, amb un pes similar de l'increment de la població i de l'augment del consum per càpita.

¿Com ha afectat l'augment de l'ús de recursos per part de la humanitat al clima, al funcionament de la biosfera, als ecosistemes? ¿Com repercuteixen en la societat? ¿Se'n pot predir l'evolució dels efectes per adaptar-nos i pal·liar-ne els

impactes? Son qüestions de caràcter transversal que requereixen estudis coordinats per part de les ciències naturals i de les ciències socials.

1.2.1.1. Impactes sobre la diversitat vegetal

Els impactes directes del canvi climàtic sobre la diversitat vegetal es produiran en bona mesura a través de dos efectes:

1- **L'escalfament**, que allarga el període d'activitat de les plantes i incrementa la seva productivitat.

2- **La reducció de les disponibilitats hídriques**, que actua en sentit contrari.

Les projeccions del model Promes, per la península ibèrica, (Arribas *et al.* 2003. *Climate Dynamics. Sensitivity of the Iberian Peninsula climate to a land degradation*) indiquen que el primer prevaldrà en la part nord peninsular i en les muntanyes, i que el segon afectarà principalment a la meitat meridional. La "mediterranyització" del nord peninsular i la "aridització" del sud són les tendències més significatives pel segle XXI. Les pèrdues de diversitat florística tenen una rellevància especial en el cas peninsular, doncs la península alberga una proporció molt elevada de la diversitat vegetal europea.

Els impactes indirectes més importants són els que es deriven de canvis edàfics, canvis en el règim d'incendis o del ascens del nivell del mar. Les interaccions amb altres components del canvi global (canvis d'ús del territori i de la composició atmosfèrica) portaran impactes significatius però amb més grau d'incertesa. La modificació de les interaccions entre espècies (competència, asincronies, herbivoria, plagues, invasions) constitueixen una altra font potencial d'impactes, tot i que el grau d'incertesa també és gran.

Evitar las pèrdues de biodiversitat causades pels impactes del canvi climàtic, requereix respostes globals. La restauració ecològica, la planificació i gestió forestal i la regulació dels usos ramader i cinegètic en sistemes forestals han jugat un paper en la mitigació dels impactes previsibles.

La investigació sobre els impactes del canvi climàtic en la vegetació es pot estructurar en tres línies principals e interconnectades:

- El seguiment dels canvis en curs.

- Les respostes d'espècies i comunitats a canvis simulats experimentalment.
- L'elaboració de models predictius (basats en la informació subministrada per les anteriors i en les projeccions climàtiques) que permetin anticipar els canvis, per adoptar en cada cas mesures correctores o pal·liatives dels impactes.

Pel que respecta a las activitats de seguiment es convenient impulsar la participació en xarxes fenològiques (incloent la aerobiològica) i les possibilitats d'aplicació de les dades dendrocronològiques i de la utilització de la teledetecció.

1.2.1.2. Impacte sobre els ecosistemes forestals mediterranis

El canvi global està integrat per una sèrie de components, fortament interrelacionats, que en última instància són atribuïbles a l'activitat humana. Entre aquests components destaquen (Vitousek *et al.* 1997; Camarero *et al.* 2004):

- **Canvis climàtics:** augment de les temperatures globals, variació en el patró de precipitacions, augment de la variabilitat climàtica i episodis extrems.
- **Canvis en la composició atmosfèrica i en els cicles biogeoquímics:** augment de l'emissió de CO₂, increment de la contaminació atmosfèrica (SO_x, NO_x, O₃, Hg), augment de la deposició de nitrogen i sofre, etc.
- **Canvis en la gestió i usos del sòl:** desforestació, fragmentació de boscos, abandó de terres agrícoles, canvis en el hàbits de segues, gestió d'incendis...
- **Canvis biogeogràfics de distribució de molts organismes:** variacions, reduccions, expansions de les àrees de distribució (incloent extincions), major proliferació d'espècies de caràcter invasor.

De tots ells, sens dubte el canvi climàtic ha estat l'aspecte més estudiat i el que més preocupació genera degut a la magnitud dels seus possibles efectes.

Els sistemes forestals mediterranis, situats en zones de transició climàtica, estan especialment amenaçats a causa del canvi global (IPCC, 2007a, b; EEA,2008). Entre les principals amenaces hi destaquen el declivi i mortalitat per estrès hídric, l'augment d'incendis forestals, problemes de regeneració dels boscos i increment de problemes deguts a plagues i malalties (Regato, 2008; Serrada *et al.* 2011).

Els efectes previsibles del canvi global són especialment preocupants en els boscos mediterranis, degut a les següents raons (Palahí *et al.*, 2008):

- Juguen un paper clau en el benestar de les societats mediterrànies, proporcionant productes de mercat (fusta i llenya, pastures, suro, fruits como el pinyó o la castanya, caça, bolets, mel, etc.), i serveis de no mercat (conservació de la biodiversitat, protecció del sòl, regulació hidrològica, entorn recreatiu, etc.).
- La seva conservació i ús afecta a la disponibilitat dels recursos del sòl i l'aigua; aquest últim constitueix un recurs estratègic clau per les societats mediterrànies.
- Constitueixen un patrimoni natural únic a escala mundial i representen una excepcional riquesa en termes de biodiversitat.
- A més del canvi climàtic, són molt vulnerables a factors relacionats amb l'activitat humana: incendis forestals, canvis d'ús del sòl, i sobreexplotació dels recursos, que comporten degradació i desertització.

1.2.1.3. Gestió forestal i canvi global

La gran majoria de treballs realitzats fins al present s'han centrat en la relació entre la gestió forestal i el canvi climàtic. No obstant, les seves conclusions i propostes són plenament aplicables al canvi global en el seu conjunt. Les dos estratègies principals de resposta al canvi global son la **mitigació** i l'**adaptació** (IPCC, 2007a). Nombroses pràctiques de gestió forestal es situen sota aquestes dues estratègies (Figura 2):

1- La **mitigació** tracta de reduir la magnitud del canvi, actuant sobre les principals causes (per ex. fixant més carboni atmosfèric). Entre les pràctiques de gestió forestal centrades en la mitigació, podem trobar (IPCC, 2007c):

- Pràctiques destinades a incrementar la superfície forestal: reforestacions, densificació de masses obertes, establiment de sistemes agroforestals, etc.
- Pràctiques destinades a incrementar la vitalitat, augmentant la capacitat de fixar carboni i, sobretot, mantenir-lo segrestat.
- Conservació de boscos madurs. Aquest boscos, encara que sovint tinguin baixes taxes de segrest de carboni, en mantenen fixada una gran quantitat.

2- La **adaptació**, tracta de minimitzar els impactes negatius del canvi sobre els ecosistemes forestals i les seves funcions (per exemple, ajudant a que les transicions siguin menys traumàtiques). Entre les pràctiques de gestió forestal centrades en l'adaptació s'han proposat, per exemple (Stephens *et al.*, 2010):

- Foment de l'heterogeneïtat espacial en espècies i estructures per a incrementar la resistència i resiliència a incendis i plagues.
- Tractaments de prevenció d'incendis, incloent l'ús del foc prescrit i gestió de àrees estratègiques per incrementar la resistència dels espais forestals als incendis.
- Utilització, en plantacions, de mescles de genotips de varies zones i distribucions heterogènies de peus per facilitar la transició a les futures condicions climàtiques.

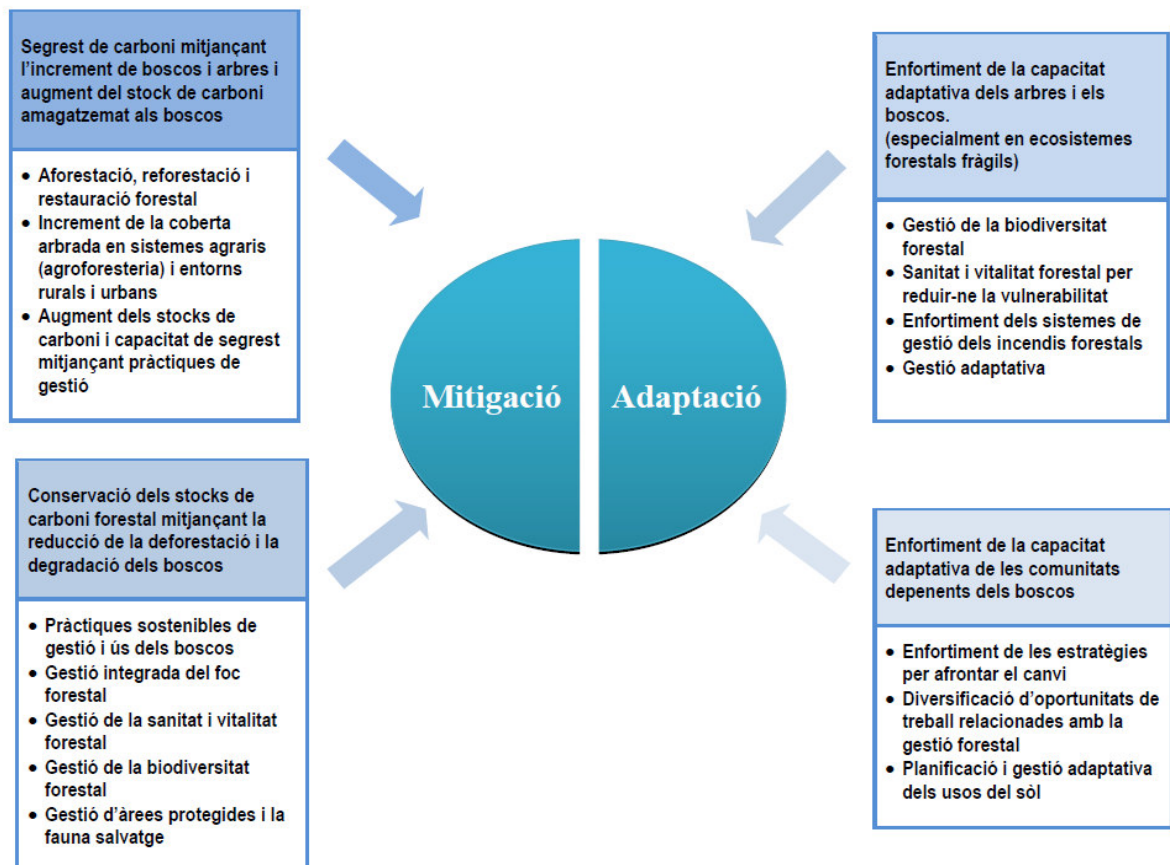


Figura 2. La mitigació i l'adaptació són les dues estratègies principals de resposta al canvi climàtic. Nombroses pràctiques de gestió forestal s'alineen amb aquestes dos estratègies. **Font:** FAO, 2010

1.2.2. Els Boscos mediterranis

Aquest bioma es troba sempre en latituds pròximes als 40°, tant en l'hemisferi Sud, com en l'hemisferi Nord. Dins d'aquesta franja el podem trobar en 5 zones que pertanyen a un total de 5 continents diferents, entre elles la conca del mediterrani. Aquesta també és, per extensió, la més important i de la qual prové el seu propi nom.

Aquestes 5 zones esmentades les trobem situades en:

La conca mediterrània

(Europa, Àfrica i Àsia)

Califòrnia

(Nord Amèrica)

La Costa xilena

(Sud-Amèrica)

Costa sud-est d'Austràlia

(Oceania)

Sud de Sud-Àfrica

(Àfrica)



Figura 3: Distribució de les zones amb clima mediterrani
Font: Desconeguda

Aquest bioma el trobem situat a cavall dels ambients temperats, els humits i les zones molt seques. Presenta un clima heterogeni, variable segons el territori concret i generalment de marcat caràcter estacional. Les pluges s'acostumen a produir durant les estacions de primavera i tardor, i les temperatures són caloroses a l'estiu i suaus al hivern. El clima mediterrani és caracteritza per la seva variabilitat en temperatures i precipitacions al llarg de l'any. Pel que fa a les precipitacions, en les zones caracteritzades com a mediterrànies de clima sec, poden oscil·lar entre els baixos valors de 200 i 400 mm anuals. En d'altres zones d'aquest clima, però amb més abundància de pluges, és molt poc habitual superar els 1000 mm anuals. Per tant, podem veure clarament que una de les característiques principals en les zones que comparteixen aquest clima és la presència habitual de sequeres.

A aquest problema de deficiència hídrica, en aquestes àrees climàtiques, se li sumen dos agreujants més, la irregularitat temporal amb la que s'esdevenen aquestes precipitacions i la intensitat amb la que es poden arribar a donar-se. Aquest fet provoca que, aquestes precipitacions, moltes vegades no siguin útils per la flora ja que es perden per escorrentia superficial i a més a més acaben erosionant molts vessants, creant també conflictes als béns humans.

Un tercer problema molt rellevant en les comunitats vegetals mediterrànies és el de l'alta evapotranspiració que sofreixen en relació a la disponibilitat hídrica. L'evapotranspiració es produeix en aquestes poblacions per l'efecte de les altes temperatures que assoleix l'ambient en els mesos més calorosos.

El clima, juntament amb el tipus de sòl, els fenòmens catastròfics, etc., és un factor vital al que s'ha hagut d'adaptar qualsevol ésser viu que hi va accedir i actualment habita en aquestes regions. Aquest fet fa que les espècies que s'hi han desenvolupat hagin hagut de desenvolupar estratègies fisiològiques concretes per fer front a les característiques del clima mediterrani. Només aquelles que les han assolit han pogut desenvolupar-s'hi i competir amb les altres en aquest entorn.

En l'ecosistema mediterrani, les poblacions que s'han adaptat a les condicions ambientals, fent d'aquest el seu nínxol, han hagut de protegir-se de dos factors externs quotidians a les seves latituds: **les sequeres i els incendis**.

1.2.2.1 Estratègies per fer front a la sequera.

La sequera és la condició ambiental transitòria i extrema a que més freqüentment es troben sotmeses les plantes. Així, han hagut de desenvolupar diversos mecanismes d'adaptació a la falta d'aigua i contra la dessecació.

Segons els requeriments hídrics i per tant segons l'ambient on es desenvolupen podem parlar de plantes:

- **Hidròfiles** (d'ambients amb molta aigua)
- **Mesòfiles** (d'ambients amb disponibilitat moderada d'aigua)
- **Xeròfiles** (d'ambients molt secs)

Els mecanismes d'adaptació a les condicions de sequera (Barceló J. *et al.* 2001 *Fisiologia vegetal*. 540-542; Valladares F. *et al.* 2004 *Estrés hídrico: ecofisiologia y escalas de la sequía*. 167-170) són molts i molt variats. Alguns dels quals podem trobar a la natura són els següents:

- Mecanismes de reducció de la transpiració: reducció de la densitat d'estomes, reducció de la superfície foliar, estomes enfonsats, cutícula gruixuda, etc.
- Adaptacions dels mecanismes fotosintètics de plantes C-4 i CAM
- Adaptació a la sequera temporal: plantes de cicle anual que sobreviuen durant el període de sequera en forma de llavor, reduint el seu cicle vital a l'època de pluges.
- Moltes plantes perennes de climes secs han desenvolupat un sistema radicular profund que els permet captar aigua en zones, fins i tot, properes a la capa freàtica.
- Altres plantes perennes presenten mecanismes d'adaptació per resistència. Tenen un protoplasma amb una alta concentració de soluts i per tant valors molt baixos de potencial hídric. En algunes espècies l'aigua sols representa entre un 30 i un 40% de la seva massa total (la majoria estan entre el 80 i 90% i son letals valors entre 60 i 70%). Amb tan poca quantitat d'aigua, les seves proteïnes enzimàtiques han de ser solubles i funcionals en altes concentracions de soluts, i algun dels soluts ha de proporcionar fluïdesa al citoplasma tot i la baixa proporció d'aigua. Un solut que augmenta significativament en moltes xeròfiles és l'aminoàcid prolina.

De vegades els efectes de la sequera sobre les plantes són indirectes, com el cas que si una planta transpira poc, augmentarà la seva temperatura, cosa que pot provocar disfuncions, inclús provocar la mort de la planta. Així un aspecte de la capacitat de les plantes de suportar ambients secs es la seva capacitat de suportar elevades temperatures.

Una reducció perllongada de l'aigua ambiental provoca, a la llarga, una disminució del potencial hídric cel·lular que afectarà progressivament a diferents aspectes: creixement cel·lular, síntesis de la paret cel·lular, síntesis de proteïnes,

síntesis de clorofil·la, obertura d'estomes, fotosíntesis i respiració. Intercalats amb augments de concentracions d'àcid abscísic i de prolina i una disminució de concentració de citoquinines. Algunes d'aquestes respostes podrien estar influenciades per l'augment d'etilè que dona en situacions d'estres hídric. En general amb una disminució acusada del potencial hídric, també disminueix l'activitat de la majoria dels enzims, excepte els que hidrolitzen proteïnes i polisacàrids, que al produir substàncies de baix pes molecular, fan baixar el potencial hídric i dificulten la pèrdua d'aigua. Igualment, els potencials hídrics molt baixos dificulten el transport d'aigua de les arrels a les fulles, ja que augmenten la probabilitat de que es desenvolupin embòlies al xilema (Tyree & Zimmermann, *Xylem structure and the ascent of sap*. Springer 2002). La diferent resistència de les plantes a l'embolisme és un dels aspectes més importants que determina la seva resistència a la sequera (Choat et al. *Global convergence in the vulnerability of forests to drought.*, 2012), especialment en ambients mediterranis.

1.2.2.2 Les adaptacions al foc

Els incendis d'origen antròpic han estat en el mediterrani un fet persistent des de la prehistòria. Sembla ser que el foc ja va ser utilitzat al paleolític per facilitar la caça i la recol·lecció de vegetals i hi ha clares evidències del seu ús al mediterrani en el període neolític (Naveh 1975). Els incendis són fenòmens que es poden declarar en condicions naturals, però la gran majoria van lligats a les accions de l'home. La regió mediterrània ha estat el bressol de moltes cultures mil·lenàries que l'han habitat i on s'hi han desenvolupat. Des del control del foc, fet tant rellevant que els científics van assignar una diferència entre l'home que no el dominava (*homo habilis*) de l'home que ja se'n servia (*homo erectus*), l'home l'ha fet servir, tant per les feines domèstiques, com pel control, apropiació i transformació del paisatge. Conceptes com el d'*artigar*, encara avui, ens recorden la importància de l'acció de cremar zones per després poder aprofitar-les agrícolament.

Aquests fets i processos, juntament amb la facilitat que ofereix el clima, ha fet que els boscos i en general organismes que conformen el paisatge d'aquestes

zones hagin hagut de crear adaptacions per tolerar-lo o beneficiar-se'n i aprofitar la seva presència per eliminar les espècies menys adaptades, colonitzar noves localitzacions i persistir, creant una població estable i continua en el temps.

Alguns autors parlen de pirofilia (del grec foc “*pyros*” i atracció “*philia*”) per fer referència a les espècies vegetals que, d'una manera o d'una altra, es veuen beneficiades pel foc. En general implica posseir adaptacions que signifiquin un avantatge front a aquest fenomen. Normalment aquest fet va relacionat amb desplaçar a les seves competidores menys aptes (amb les que viu i comparteix ecosistema) amb la consegüent alliberació de l'espai que ocupen. La destrucció pel foc de les espècies menys adaptades també aporta nous nutrients que tornen al sòl i poden ser aprofitats novament.

Les estratègies principals que utilitzen les plantes al mediterrani per sobreviure com a individu o com població són el **rebrotament** i/o el **reclutament**. En algunes espècies aquestes dues estratègies conviuen, com per exemple en espècies de *Ericaceae* i *Fabaceae* (Pausas, J. 2010. Fuego y evolución en el Mediterráneo. *Investigación y Ciencia*, agosto 2010, 56-63)

Rebrotadores. Algunes espècies no posseeixen la part aèria amb una estructura capaç de suportar les altes temperatures d'un incendi. La seva adaptació, per tant, consisteix en tenir la capacitat de regenerar aquesta part destruïda pel incendi, mitjançant el rebrot del individu des de la seva base. Aquest fet permet a les espècies rebrotadores tornar a créixer en un ambient ara desproveït d'altres espècies no piròfiles, amb les que aquests nous individus “regenerats” no ha de competir. Altres de les característiques que tenen aquestes espècies són:

- Gemmes profundes i fortament protegides per l'escorça.
- Lignotúber, estructura voluminosa a la base del tronc per tenir reserves, en espècies de zones geogràfiques on hi ha una alta freqüència d'incendis.
- Emmagatzemament de moltes substàncies vitals a les arrels per recuperar una base aèria de manera ràpida després de l'incendi.
- Desenvolupament d'unes arrels profundes.

Alguns exemples d'espècies que duen a terme aquestes estratègies són l'alzina (*Quercus ilex*) i els brucs (*Erica sp.*).

Reclutadores. Les plantes que utilitzen aquesta estratègia, a diferència de les anteriors, no suporten el foc ni en les seves parts aèries ni en el seu sistema radicular. La seva estratègia es basa en crear bancs de llavors aeris que són alliberats durant l'incendi. Altres de les seves característiques són:

- Fruits petits i secs que poden ser dispersats pel vent i per organismes (e.g., formigues).
- Fruits molt tolerants a la sequera.
- Cicle de vida curt per que no es vegi interferit per un incendi.

Algunes de les espècies que tenen aquestes estratègies de supervivència als incendis són: les estepes (*Cistus sp*), el pi blanc (*Pinus halepensis*) i el romer (*Rosmarinus officinalis*).

Una adaptació complementària, present en algunes espècies del gènere *Pinus*, és el desenvolupament d'una estratègia pròpia que rep el nom de serotínia. Aquesta consisteix en situar en les branques més pròximes al sòl les pinyes seròtines; aquestes pinyes romanen sempre tancades i només s'obren amb les altes temperatures que assoleix l'ambient en un incendi. Posteriorment exploten en el sentit contrari al mateix, fent que els pinyons ja caiguin en un ambient cremat i salvat de les flames. Aquests després del desastre es troben un sòl ric en nutrients i sense competència, i durant la primavera següent podent néixer i recolonitzar el terreny amb les primeres pluges.

En els ecosistemes amb focs de superfície, dominen els arbres amb una escorça gruixuda. La creació d'un gruix prou ample d'escorça fa que el foc no arribi a entrar en contacte amb el càmrium. S'ha constatat que individus de la mateixa espècie que s'estableixen en llocs on els focs són de superfície generen més gruix d'escorça (Pausas, J. 2010. Fuego y evolución en el Mediterráneo. *Investigación y Ciencia*, agosto 2010, 56-63). Aquesta capacitat la veiem interioritzada també en espècies que ja la porten en la seva genètica com l'alzina surera. La seva escorça està caracteritzada per una gran quantitat de suberina, potents xilopodis, desenvolupament de túniques, etc.

1.2.2.3 Plagues forestals de les comunitats mediterrànies

Les plagues

Les plagues que habiten en el bioma mediterrani afecten sobretot els boscos de coníferes i els d'espècies del gènere *Quercus* que tenen un límit més meridional, com els alzinars; aprofiten situacions nocives i adverses per atacar als seus hostes i nodrir-se'n. Les principals situacions d'adversitat que es donen en el clima mediterrani són les sequeres i els provocades pels incendis forestals.

Els principals causants de plagues son els insectes, i cada espècie té un *modus operandi* específic i diferent (veure Taula 1). Alguns ataquen les regions més tendres de l'individu, mentre que altres n'extreuen el seu aliment directament de les acícules; les diferències entre aquests fa que els puguem classificar en:

- Els **insectes xucladors**, s'alimenten de les acícules i fan la seva posta al sòl. Produeixen defoliació.
- Els **insectes defoliadors**, les afectacions més importants són la defoliació dels individus que ells parasiten per part de la fase adulta en els insectes.
- Els **insectes perforadors** penetren al càmbium arbori i allí desenvolupen els seu procés vital, perjudicant la capacitat de transport de l'arbre, ja que afecten sobretot el floema.

Conífera	Individu	Ordre	Danys
Pinus halepensis	<i>Haematoloma dorsatum</i>	Cercopidae	Xuclador
	<i>Pissodes castaneus</i>	Coleòpter	Perforador
	<i>Hylurgus ligniperda</i>	Coleòpter	Perforador
Pinus nigra	<i>Hylobius abietis</i>	Coleòpter	Perforador
	<i>Tomicus piniperda</i>	Coleòpter	Perforador
	<i>Tomicus minor</i>	Coleòpter	Perforador
	<i>Ips sexdentatus</i>	Coleòpter	Perforador

Pinus pinea	<i>Neodiprion sertifer</i>	Himenòpter	Defoliador
	<i>Paleococcus fuscipennis</i>	Homòpter	Xuclador
	<i>Tomicus destruens</i>	Coleòpter	Perforador
Pinus sylvestris	<i>Lymantria monacha</i>	Lepidòpter	Defoliador
	<i>Diprion pini</i>	Himenòpter	Defoliador
	<i>Ips acuminatus</i>	Coleòpter	Perforador

Taula 1: Representació de les principals espècies d'insectes nocius en els boscos de coníferes mediterrànies (Informació del quadre extreta dels diferents Manuals de gestió d'habitats, de la Diputació de Barcelona i Obra social la Caixa).

1.3. Què és la dendrocronologia

La pròpia etimologia de la paraula, derivada dels mots grecs: *dendron* –arbre-, *cronos* –temps- i *logo* –coneixement, ja ens indica la molt estreta relació entre els arbres i el temps. La podem definir més concretament com una *disciplina científica dotada d'un conjunt de principis, tècniques i mètodes que permeten datar els anells de creixement anual, i extreure'n i interpretar la informació que contenen, degut als diferents factors que han influït en el seu creixement* (Gutierrez, E. 2008. La dendrocronologia: métodos y aplicaciones, *Arqueología náutica Mediterránea*, 303-315)

Les **series dendrocronològiques** permeten la investigació en nombrosos camps de la ciència, ja que són un veritable **registre en el temps** i, per tant, un arxiu dels esdeveniments passats. Així mateix, són molt útils tant per poder datar perturbacions que hagin afectat als arbres vius o morts recentment, com per poder extreure informació d'objectes i construccions de fusta antigues.

La formació dels anells

El procés de creixement els arbres, com qualsevol procés de creixement biològic, no és independent dels factors externs i s'atura o disminueix quan les condicions, imposades per algun factor extern i/o intern, no són les idònies. Aquests són els

factors que acaben causant les variacions en el creixement que provoquen la formació dels anells.

En moltes zones del planeta, amb una marcada estacionalitat climàtica, els arbres aturen el creixement durant l'època desfavorable i el reprenen quan les condicions climàtiques tornen a ser bones. Aquests patrons anuals d'activitat i repòs queden reflectits en l'estructura de la fusta en forma de capes concèntriques anuals que, en un tall transversal, es mostren com anells.

En la formació de l'anell anual, la producció de noves cèl·lules de *xilema* (fusta) es ràpida a l'inici, s'alenteix a mida que avança l'estiu i, finalment, s'atura quan les temperatures tornen a ser baixes. Aquestes diferències de velocitat en la formació de cèl·lules també queden reflectides en les característiques de la fusta dels anells. Així i degut als canvis en el ritme de la formació d'un anell, les cèl·lules de la fusta primerenca, formada al inici del període de creixement (earlywood), és diferent de la fusta tardana (latewood) formada al final del període; les diferències en coloració d'aquestes són les que permeten visualitzar l'anell a simple vista.

La petjada del clima

El clima és el factor ecològic més rellevant. La variabilitat climàtica anual imprimeix una senyal clara i concreta en els anells dels arbres, afectant, per exemple, al seu gruix relatiu. Com a resultat de l'estreta relació entre el creixement i el clima, les sèries d'anells anuals formats pels arbres que creixen sota les mateixes condicions climàtiques, presenten una sincronia i el seu patró de variació temporal en el gruix es molt similar. Això fa que quan un any o període es favorable o desfavorable, els anells que es formen en la majoria dels arbres d'una regió, són característics i similars, amples o estrets, respectivament, i es puguin fer servir com a **anys característics o referencials**.

Aplicacions de la dendrocronologia

La dendrocronologia té aplicacions en diferents camps de la ciència, ja que els anells contenen informació sobre molts factors. Aquesta informació pot ser recuperada i, convenientment analitzada, permet l'estudi i l'anàlisi de processos

ecològics, geomorfològics, climatològics, arqueològics, etc., dins de dos eixos de variació: l'espai i el temps.

En **climatologia i paleoclimatologia**, la senyal climàtica gravada en els anells de creixement pot ser utilitzada per reconstruir el clima del passat, en períodes on no es disposi de registres meteorològics.

En **ecologia**, els anells permeten datar l'any de germinació i mort dels arbres, que són els dos processos clau de la dinàmica de les poblacions. L'anàlisi de les sèries anuals de creixement permet determinar el règim de pertorbacions que ha afectat al bosc, i analitzar els processos de competència i l'efecte del clima.

En **geologia**, els anells dels arbres poden enregistrar l'efecte dels terratrèmols, erupcions volcàniques, lliscaments de terreny, caiguda de roques, allaus de neu, riudes, avanç i retrocés de glaceres, etc. Tots aquests fenòmens poden ser datats gràcies a les senyals gravades en els anells de fusta i determinar la freqüència amb la que aquests fenòmens es succeeixen al llarg del temps, així com l'àrea que se'n ha vist afectada i, en ocasions, llur intensitat.

En **criminologia**, la datació precisa de la fusta de marcs de quadres i d'escultures ha permès, en alguns casos, demostrar falsificacions. En altres àmbits les marques produïdes en els arbres o bé en objectes clavats en ells poden ser datats i contrastats amb les declaracions de propietaris en litigi. La tala il·legal d'arbres, la seva mort o debilitament per efecte de contaminants alliberats a l'atmosfera, a l'aigua o al sol, o per la captació d'aigua, poden ser datats amb precisió establint així la data (any o estació) del delictes.

En **dendroarqueologia**, l'objectiu principal és la datació absoluta de construccions i objectes arqueològics (Baillie 1982). Precisament, la datació absoluta d'objectes de fusta històrics i arqueològics fou una de les primeres aplicacions de la dendrocronologia, havent-ne establert prèviament una cronologia mestra (sèrie promig) de referència local o regional. La cronologia mestra es construeix a partir dels arbres vius. L'interdatació o datació creuada de sèries d'anells permet validar les datacions individuals de les mostres arqueològiques.

1.4. Per què moren els arbres?

Els mecanismes fonamentals subjacents de la supervivència dels arbres durant períodes de sequera segueixen sent poc coneguts avui en dia, malgrat dècades d'investigació en els camps de la silvicultura, la patologia, l'entomologia i l'ecologia (Breda *et al.*, 2006; McDowell *et al.*, 2008 i 2011).

McDowell *et al.* (2008) postula tres mecanismes fisiològics pels quals es pot produir la mort dels arbres per sequera:

- La cavitació de les columnes d'aigua dins el xilema i subsegüent formació d'embòlies que obstrueixen el flux d'aigua de les arrels a les fulles.
- L'esgotament del carboni emmagatzemat a la planta a causa del tancament estomàtic, que impedeix l'assimilació de nou carboni. Un prolongat període d'estrès hídric pot produir un dèficit de carboni i limitacions en el metabolisme que poden dur a la inanició i redueixen la capacitat de defensar-se contra atacs d'agents biòtics com ara els insectes o fongs.
- Un episodi de calor perllongada durant una sequera pot afavorir una major població d'aquests agents biòtics, els quals poden arribar a aclaparar la capacitat de resposta dels seus hostes ja estressats.

Segons el marc proposat per McDowell *et al.* (2008), en les estratègies per combatre les situacions d'estrès hídric i sequera podem diferenciar dos tipus de mecanismes diferents, segons si les plantes són isohídriques o anisohídriques.

Les plantes **isohídriques** responen a aquests períodes evitant l'estrès. Els estomes d'aquestes plantes es tanquen ràpidament quan baixa el potencial hídric, per reduir la transpiració. Això els comporta un menor risc de cavitació del xilema, però per altra banda, el fet de tenir els estomes total o parcialment tancats fa que no puguin seguir assimilant carboni i, per tant, pot produir una reducció notable en les substàncies de reserva derivades de la fotosíntesis, necessàries per seguir respirant i metabolitzant. Els carbohidrats disponibles per mantenir la respiració, també es veuen reduïts degut al fet que aquests també es requereixen pel transport del floema, mantenir la turgència i recuperar el xilema embolitzat durant els períodes de sequera (McDowel *et al.* 2011). Quan els carbohidrats de

reserva s'han acabat, el catabolisme proveeix de l'energia necessària; aquest procés, però, només és viable a curt termini (Lundgren-Rose *et al.*, 2006).

En les plantes **anisohídriques**, a diferència de les anteriors, la tolerància a la sequera és molt més elevada i el mecanisme de tancament dels estomes no és tan sever. Fet que els permet seguir amb nivells de transpiració relativament alts durant els períodes de sequera i, per tant, no tenen dèficits tant importants de carbohidrats derivats de la fotosíntesi. Aquestes espècies acostumen a tenir unes arrels que accedeixen a capes més profundes del sòl i que els permeten retardar la falta d'aigua. Per altra banda, les plantes que segueixen aquesta estratègia experimenten potencials hídrics més negatius en el seu xilema i tenen un risc més elevat de cavitació (o fallida hidràulica) que les isohídriques.

A nivell de funcionament, les temperatures extremes també danyen l'aparell fotosintètic reduint-ne la fotosíntesi i al mateix temps incrementant la utilització de carbohidrats acumulats per la reparació d'aquest aparell (Atkin and Macherel, 2009; Hummel *et al.*, 2010).

Agents biòtics

Les temperatures càlides tenen un efecte directe sobre les dinàmiques de població dels insectes. En particular, els brots d'algunes espècies d'insectes perforadors estan molt lligats amb la temperatura (Hicke *et al.* 2006; Rouault *et al.* 2006). Fet afegit a que aquests episodis de calor poden debilitar i fer més susceptibles els hostes a ser atacats pels mateixos insectes (Mattson and Haack, 1987; Rouault *et al.* 2006). La resposta defensiva contra aquests agents biòtics rau en bloquejar-los mitjançant la generació de resina, embolcallant la part afectada amb l'autonecrosis de la mateixa o amb la producció de concentracions tòxiques de substàncies com terpens o fenols (Keeling and Bohlmann, 2006).

La mort de l'arbre per agents biòtics pot ser degut a:

- Una toxicitat patogènica.
- Una discontinuïtat en el flux del xilema degut a la presència de fongs.
- La destrucció del teixit que proveeix de les substàncies provinents de les fulles o de les arrels.

1.5. Els boscos de pi blanc i la seva adaptació al canvi global

1.5.1 El pi blanc (*Pinus halepensis*)

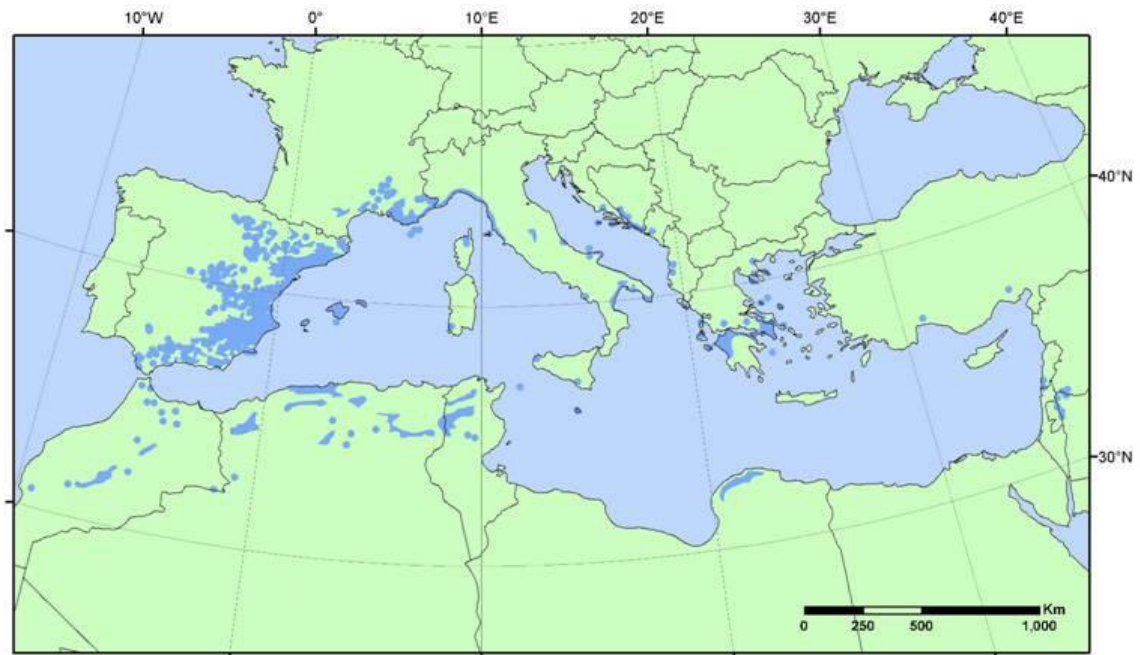


Figura 4: Distribució del *Pinus halepensis* **Font:** (Bioversity International, 2011).

El pi blanc és una espècie vegetal arbòria del grup de les coníferes. La seva distribució geogràfica natural es localitza al litoral de la conca mediterrània i en zones puntuals entra en terrenys més continentals. Rep el seu nom de la ciutat siriana d'Alep, la qual coincideix amb el límit oriental de la seva distribució.

Te les **fulles** d'una llargària mitjana. Són més llargues que les dels pins montans: *Pinus sylvestris* i *Pinus mugo*, i més curtes que les dels *Pinus pinaster*, *Pinus pinea* o les del *Pinus nigra*. Mesuren de 5 a 12 cm de llarg i 1mm d'ample i perduren a l'arbre durant dos anys.

La **floració** s'esdevé entre els mesos de març i maig. Les flors masculines és situen a l'àpex de les tiges formant cons plens de pol·len de color groc sofre.

Els cons o **pinyes** poden arribar a mesurar 12 cm. Al començament són verdes i van derivant a marronoses quan maduren. Tenen un peduncle de més de 1 cm de llarg. El fet de tenir peduncle permet diferenciar aquesta espècie de totes les

altres espècies de pins autòctons del nostre país, ja que totes les altres tenen pinyes sèssils o quasi. Una altra peculiaritat de les seves pinyes és la serotínia.

Les **pinyes seròtines** tarden tres anys a madurar, passat aquest temps, esdevenen griseses i en lloc d'obrir-se com fan les altres i dispersar els seus pinyons, romanen tancades a les rames més baixes de l'arbre creant un banc de llavors aeri. Aquestes, només s'obren (literalment, exploten) quan reben les altes temperatures d'un incendi, dispersant així, els seus pinyons per la zona ja devastada. Aquest fet permet que molt poques pinyes pugui repoblar una gran part del territori arrasat per les flames.

La **fusta** d'aquesta conífera és d'una qualitat mitjana i molt rica amb resina. Per les formes "tortuoses" que adopta el tronc, es fa difícil aprofitar-la per fins industrials, però sí que s'utilitza com a combustible.

A més del fet de repoblar, l'espècie es una gran **colonitzadora** ja que té la facilitat de desenvolupar-se en terrenys degradats, amb pocs nutrients i règims de precipitació molt baixos.

Entre la fauna que habita aquesta comunitat vegetal trobem petits mamífers com l'esquirol, ocells com la mallerenga blava, el cargolet, la garsa i l'astor, petits rosegadors com el ratolí mediterrani, rèptils com el dragó comú o la serp verda, amfibis com el gripau corredor, el tòtil o la salamandra, i invertebrats com el banyarriquer del pi, entre molts altres (Gracia, M., Ordoñez, J.L. (CREAF) i



Figura 5: Individu de *Pinus halepensis*, (Rossellò) El Segrià. **Font:** pròpia.

A.A.V.V. 2010. Les pinedes de pi blanc. *Manuale de gestió d'hàbitats. Diputació de Barcelona*, 18-19)

Aquesta espècie reuneix una sèrie de factors que fan que tingui molt poca capacitat per arribar a esdevenir un bosc madur amb característiques pròpies i el seu microclima particular:

- Un dels fets que no permet la formació d'un bosc madur és la seva curta vida, ja que els individus no solen passar dels 200 anys, això fa que altres espècies més longeves, com ara l'alzina, s'acabin desenvolupant i establint-se al seu nínxol.
- L'altre és la gran quantitat de llum que deixa arribar al sòl, fet que fa que no arribi a crear un microclima propi, i altres plantes competidores puguin servir-se d'aquest recurs bàsic.

El **sotabosc** de les pinedes de pi blanc és abundant i divers, ja que, com acabem d'esmentar aquest no forma capçades gaire ombrívoles. Alguns dels tipus de sotabosc que es creen a les pinedes de *Pinus halepensis* són (Gracia, M., Ordoñez, J.L. (CREAF) i A.A.V.V. 2010. Les pinedes de pi blanc. *Manuale de gestió d'hàbitats. Diputació de Barcelona*, 16-17):

- **Màquies o garrigues.** En zones on hi havia hagut alzinar i l'entorn està en fase de recuperació d'aquest bosc. En aquestes es pot trobar espècies com el garric i, generalment, l'estrat herbaci i lianoide no hi es present.
- **Brolles heliòfiles.** Normalment apareixen en zones que han patit una pertorbació, que sol ser un incendi. Les espècies que podem trobar en aquestes son brolles de romaní (*Rosmarinus officinalis*) o bruc d'hivern (*Erica multiflora*) en terrenys calcaris, o estepes (*Cistus* sp.) i brucs (*Erica* sp.) en terrenys acidòfils o silícics. L'estrat herbaci hi està molt poc desenvolupat i es normal trobar-hi afloraments rocosos.
- **Sense sotabosc llenyós.** Entren dins d'aquest tipus, els sotaboscs amb espècies de l'estrat herbaci com el fenàs de marge (*Brachypodium phoenicoides*) o el càrritx (*Ampelodesmos mauritanica*) i també els sòls recoberts de pinassa amb una presència d'espècies florístiques molt reduïda.

1.5.2. La gestió de les pinedes de pi blanc

Pel pi blanc (*Pinus halepensis*) la gestió forestal d'aprofitament, al nostre país, s'efectua mitjançant el sistema anomenat de tronc sencer. En un primer moment es realitza la tallada amb serra mecànica i posteriorment el desembosc és fa amb tractor d'arrossegament. Aquest procés també es du a terme, als nostres boscos, emprant animals de tir, sobretot en zones de difícil accés. Les principals finalitats de la fusta d'aquesta espècie són la serra i la trituració. Els aprofitaments estan concentrats sobretot a les comarques del Bages, Anoia, Vallès occidental i Vallès oriental. Se'n aprofita una mitjana anual de 65.000 m³, valor que varia segons les ajudes del sector públic.

Els treballs que es duen a terme manualment son la tallada, el desbrancat i el despuntat, que es fan a peu d'arbre. Aquesta és una espècie que presenta un elevat nombre de branques, que en dificulten la recollida i encareixen el cost de la mateixa. L'extracció i recollida dels troncs es pot dur a terme de dues maneres segons les condicions particulars de cada gestió. En zones amb dificultats d'accés el desembosc es realitza amb animals de tir, que poden ser mules o cavalls, i s'utilitzen en descens o en pla. La seva funció específica és el treball en llocs en pendent i ajuden a no malmetre tant la zona. El desembosc mecanitzat, per altra banda, es du a terme amb diferents equips: la tanqueta, el *skidder*, o el tractor agrícola adaptat a treballs forestals. Finalitzat aquest procés es trosseja i s'apila la fusta amb criteris de diàmetre i rectitud.

La gestió de masses joves

El pi blanc és un dels arbres més ben preparats en les nostres contrades per recolonitzar les zones afectades després d'una pertorbació (Gracia, M., Ordoñez, J.L. (CREAF) i A.A.V.V. 2010. Les pinedes de pi blanc. *Manuale de gestió d'hàbitats. Diputació de Barcelona*. 90-91). Per això, en les masses joves, si no se'n redueix la densitat de peus es produeix un estancament en les seves funcions vitals. Les aclarides estimulen positivament, tant el seu creixement com el nombre de pinyes que produeixen aquests nous individus. Aquest és un factor clau, ja que el pinyons seran els encarregats d'assegurar la regeneració després d'una nova pertorbació.

El *Pinus halepensis*, com hem dit, és un dels millors colonitzadors del bosc mediterrani i això és degut a lo ben adaptat que està a les situacions de pertorbació quotidianes com són les fortes sequeres i els nombrosos incendis que solen succeir a les nostres contrades en períodes secs. Igual que altres espècies de coníferes, el pi blanc, és una espècie piròfila que produeix dos tipus de cons femenins, un dels quals anomenat serotin. Aquests deixen anar les seves llavors al sòl ja cremat i eviten l'erosió important que es podria produir, en el període posterior a una catàstrofe així, en l'ecosistema. Aquest fet, però, té un punt de contrapartida per les noves poblacions, ja que degut al seu èxit en la sembra i germinació, queda un terreny amb elevades densitats, que impliquen un estancament en el desenvolupament dels individus, a part d'un possible perill per els pròxims incendis.

Davant d'aquest fet es suggereix la necessitat d'una bona gestió, tractant les parcel·les, efectuant aclarides, fins assolir unes densitats de 1500-2500 peus per ha. Aquest procediment s'aconsella que es dugui a terme quan la massa forestal encara és jove, ja que la seva resposta és més positiva. En el cas que es dugui a terme la gestió, es produeix un alliberament de recursos al medi que reverteix en una notable reactivació en el desenvolupament dels individus romanents.

En el cas concret del creixement d'aquests individus s'ha estimat que en les parcel·les tractades el creixement relatiu, en percentatge diamètric, és tres vegades superior al de les parcel·les control, on aquest es manté pràcticament estancat (Espelta *et al.* 2008. Avaluació ecològica de diferents tractaments silvícoles de millora de la regeneració natural a zones afectades per incendi i sequeres extremes. 153-181)

En el cas de les pinyes, l'efecte del tractament d'aclarida, també és força positiu. Tanmateix es veu però que com més temps fa de la pertorbació, més gran és la diferència amb les zones control (en valors absoluts), un efecte invers amb referència al creixement diamètric. En el cas de les pinyes, es pot apreciar que en les zones aclarides els pins produeixen 5 vegades més pinyes, degut als efectes de poca competència, fet que augmenta la disponibilitat de nutrients del sòl i recursos com l'aigua i permet beneficiar-se d'una major disponibilitat de llum

a la copa, que reverteix amb més temperatura i més probabilitat de pol·linització (Espelta *et al.* 2008).

Gestió per la caça

En la gestió de pinedes de *Pinus halepensis*, en les nostres contrades, també s'ha de tenir en compte la importància d'una bona gestió de la caça de la fauna que hi viu i de les espècies cinegètiques de més importància (Gracia, M., Ordoñez, J.L. (CREAF) i A.A.V.V. 2010. Les pinedes de pi blanc. *Manuals de gestió d'hàbitats*. Diputació de Barcelona. 96-97). Els plans de gestió es focalitzen en dos línies: unes propostes per la caça d'individus d'una espècie en concret, i unes altres, més generals i transversals, que pretenen regular l'efecte tròfic de l'ecosistema i un bon equilibri entre les diverses espècies. La divisió que trobem entre espècies cinegètiques és la d'espècies de caça major i espècies de caça menor.

Les espècies de caça major, a les pinedes de pi blanc, són el senglar, el cabirol i la cabra salvatge.

- El senglar es l'espècie de caça major principal, tant en nombre com en valor econòmic a Catalunya.
- El cabirol, tot i ser una espècie en expansió, és més freqüent trobar-la a l'estatge montà.
- La cabra salvatge, per altra banda, actualment la trobem reduïda únicament als ports de Tortosa i a Montserrat.

Les mesures que es proposen per aquestes espècies consisteixen en mantenir refugis protegits i zones d'abeurada, també banys de fang per al senglar i garantir l'aliment tant en clarianes desbrossades per al cabirol i la cabra salvatge, com en la sembra de conreus de blat de moro per facilitar l'aliment durant l'estiu al senglar. Per la cabra salvatge es proposa mantenir les àrees de roqueters, herbassars i altres hàbitats oberts per la pastura.

Entre les espècies de caça menor trobem la tórtora, el tord ala-roig, el tord comú i la griva, la becada, la perdiu, el conill i la llebre. Alguns només són presents com a nidificants (tórtora), altres com a hivernants (torts, griva i becada) i altres

hi habiten però amb la necessitat obligada de tenir paisatges en mosaic (perdiu, llebre i conill).

Gestió forestal i conservació

Els treballs forestals en àrees de cria de rapinyaires durant el període reproductiu poden fer fracassar la reproducció, tant d'espècies que nien als arbres com les que ho fan a les cingleres més pròximes. El Departament de Medi Ambient i Habitatge pot establir condicionaments o mesures correctores per adequar els períodes d'execució dels treball, facilitant així que les espècies esmentades completin el seu cicle reproductiu.

En l'àmbit de mamífers trobem com a més rellevant en aquestes pinedes l'esquirol. El bon estat de la pineda i el fet de no actuar en períodes de cria, a finals d'hivern (febrer-març), afavoreix molt positivament la seva població. Per els mamífers que viuen en caus també s'ha d'analitzar la seva situació concreta i protegir-los de les actuacions que poden afectar-los, sobretot en la seva època de cria corresponent.

Degut als amplis períodes de sequera que tenen les pinedes, antigament s'havien construït basses i punts d'aigua pels ramaders que les pasturaven. Una de les eines de conservació de la fauna amfíbia i reptiliana d'aquests indrets es netejar aquestes basses durant les actuacions i restablir els corrents del sòl que les abasteixen. L'altra mesura que pot afectar aquest tipus de fauna són els tractaments biològics contra les plagues, ja que aquesta fauna és molt sensible als plaguicides i productes químics sintètics, àmpliament usats per combatre als fitopatògens.

En resum el període més adient per dur a terme les gestions forestals en aquest tipus de pineda, la de pi blanc, el podem situar entre la tardor i principi d'hivern, en els mesos: setembre, octubre, novembre i desembre. En aquest cas els individus que poden veure's més afectats són els que es situen en les cavitats arbòries, com poden ser els ratpenats, i si les activitats es comencen molt aviat (a primers de setembre) també s'ha de tenir en compte l'allargament del període de nidificació d'alguns rapinyaires.

1.5.3. Gestió forestal a Collserola

La gestió estudiada es va fer a Collserola, concretament a la finca de can Catà. Per tal d'adaptar-se a cada àrea i propietat concreta, cada gestió té uns trets característics i per tant podem parlar de diferents models. Com s'explica en el treball de Cabañeros *et al.* (2013), el mètode d'aprofitament forestal que es va dur a terme a la zona es basa en un model d'aclarida i millora basat en caràcters morfològics, fitosanitaris i de densitat.

Segons les condicions específiques dels rodals o parcel·les i, sobretot, depenent de les comunitats que es volen afavorir a cada rodal, s'usen dos models de gestió. La distinció entre aquest dos és deguda a la diferència entre espècies predominants en cada entorn concret i també en la posició que aquestes ocupen en l'espai ecosistèmic. Això permet una millor disposició per les espècies que ja tenen una dominància en cada rodal. Al desenvolupar-se millor i més ràpid, les espècies afavorides per aquests aprofitaments forestals queden desproveïdes de competència. Altres factors afavoridors són l'augment per individu de la disponibilitat d'aigua i nutrients del sòl. Per últim, i com ja s'ha comentat abans, aquestes gestions també es fan per dur a terme un sanejament dels individus enfront malalties.

Els dos models de gestió són els següents:

- **Model 1 (Subvol de *Quercus* molt desenvolupat):** Pretén potenciar les espècies de *Quercus* i eliminar les coníferes.
- **Model 2 (Subvol de *Quercus* poc desenvolupat):** Pretén potenciar les coníferes quan aquestes tenen possibilitats de regeneració natural, i per tant, eliminar els individus del gènere *Quercus*.

Al Parc Natural de Collserola, i també dins de la pròpia finca de can Catà, trobem un relleu amb variacions de cota significatives i distintes pendents que fan molt diferents les parcel·les entre sí. Tot i així, la zona estudiada manté un equilibri que permet que la puguem descriure com un bosc homogeni. Sobre el terreny es va considerar, en el moment de fer la gestió d'aclarida, desenvolupar els dos models de gestió esmentats. En la major part de la finca es va procedir a utilitzar

el **model 1**, per potenciar els *Quercus*, però en alguns rodals es va considerar més adequat utilitzar el **model 2**, per la gran quantitat i viabilitat d'individus de l'espècie *Pinus halepensis*. Finalment i en casos molt concrets es van deixar individus dels dos gèneres, *Pinus* i *Quercus*, degut al seu bon estat de salut i potencial per seguir creixent.

Després de dur a terme el desembosc dels arbres tallats es va observar que els individus amb uns diàmetres superiors pertanyien a les espècies de *Pinus pinea* i *Pinus halepensis*. En zones on es va potenciar el *Quercus*, aquestes dues espècies eren presents amb una classe diamètrica d'entre 20 i 45 cm i aquests es van aclarir deixant-ne un de cada tres peus.

D'altra banda, en les zones on es va potenciar el *Pinus halepensis* es van dur a terme tales dels individus del gènere *Quercus*, (*Quercus ilex* i *Quercus cerrioides*) on els seus diàmetres mitjans variaven entre 10 i 20 cm i on es van aclarir les masses deixant un de cada dos peus, reduint així a la meitat les seves poblacions. En zones on tant *Pinus* com *Quercus* eren presents amb individus vigorosos, es van extreure individus de les dues espècies, mantenint així masses mixtes.

Objectius de la gestió

Aquesta gestió pretenia millorar la qualitat del bosc en general, reduint la competència entre individus de l'estat arbori i augmentant el seu creixement en la seva fase adulta, degut a l'augment en la disponibilitat de nutrients i altres recursos. També amb aquests treballs d'aclarida es pretenia airejar el bosc i afavorir el desenvolupament i la quantitat de llavors per reproduir-se i assegurar una continuïtat a la població.

1.6. La problemàtica observada

La problemàtica observada es focalitzà en diversos indrets amb unes característiques concretes. Aquestes localitzacions feien referència a les zones dels rodals 6 i 5 de la finca, amb vessants amb una orientació Sud i Sud-est.

En aquest espai es va poder observar una taxa anormal de decaïment d'individus arboris de *Pinus halepensis*.

Aquesta problemàtica es va començar a detectar ben aviat durant els mesos de tardor de 2012, a la part final de la gestió d'aclarida (figura 6) que va tenir lloc en aquests rodals des de mitjans d'estiu fins al novembre del mateix any.



Figura 6: Zona d'estudi, al acabar la gestió forestal. (8 novembre 2012) **Font:** Joan Cabañeros



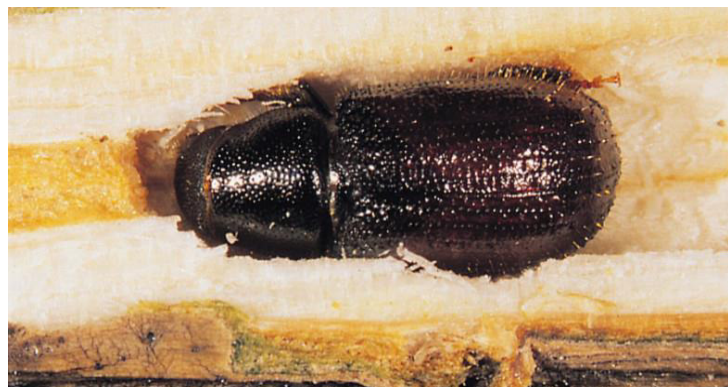
Figura 7: .Incidència un any i tres mesos després. (10 febrer 2014) **Font:** Joan Cabañeros

Els símptoma concret que van notificar els tècnics del parc va ser el d'un canvi de color de les capçades en alguns individus romanents.

Posteriorment, durant la primavera següent (de 2013), es van sumar molts més individus amb els mateixos símptomes. Les capçades d'aquests es van tornar marronoses i/o groguenques. En alguns individus parcialment i en altres totalment. En certs individus també va ser observable un augment de la defoliació. Finalment, es va observar la mortalitat de molts dels individus prèviament defoliats (figura 7). Posteriorment, els individus morts van mostrar una pèrdua parcial de l'escorça.

En molts dels individus descrits es va començar a evidenciar la forta presència d'una plaga d'insectes perforadors de la família Scolytidae (Coleoptera). Després de la recol·lecció d'alguna mostra i revisió de la corresponent bibliografia es va

determinar que aquests pertanyien a l'espècie ***Tomicus destruens***.



L'adult d'aquesta espècie no mostra dimorfisme sexual, es a dir, els dos sexes són molt similars.

L'adult és de forma cilíndrica, entre 4 i 5 mm de longitud. El cap i el

Figura 8: Individu de ***Tomicus destruens***, dins una cavitat arbòria. **Font:** Giorgio Tesi Editrice

tòrax són de color negre brillant, mentre que els èlitres els té de color marró vermellós, i en ocasions més foscos. Les potes són fortes, petites i de color castany. El cap és poc visible des del dors, ja que gairebé està ocult pel protòrax. Té el rostre curt, amb antenes acabades en una massa ovoide de quatre segments i el pronot més llarg que ample, estret a la part anterior. Els seus èlitres són estriats, aquestes estries les formen gruixuts punts espaiats i els interestriats tenen pilositats regulars. Els immadurs presenten una coloració ataronjada, sense distinció entre cap, tòrax i abdomen. L'abdomen no es troba ben

esclerotitzat i és translúcid, deixant entreveure els èlitres. Una vegada aquests s'exposen a la llum adquireixen la coloració de l'estat madur.

La Posta: en aquesta la femella col·loca cada ou individualment en unes incisions a cada costat de la galeria materna. Aquesta és única, ja que l'espècie és monògama. A cada costat de la galeria excava unes petites esquerdes del voltant de 1 mm de diàmetre espaiades 1 mm. El mascle expulsa les serradures i impedeix l'entrada d'intrusos i la femella diposita un ou en cadascuna de les esquerdes. Els ous són blanquinosos i brillants, de 0,5 mm de diàmetre. El nombre d'ous per posta oscil·la entre 60 i 80.



Figura 9: Cavitats creades per les perforacions que duen a terme els **Tomicus destruens** i on s'estableixen per realitzar el seu cicle vital.

Font: Giorgio Tesi Editrice.

Larva. En aquest estadi l'individu és àpoda (sense potes), lleugerament corbat i amb el cos blanquinós i el cap de color caramel, assolint 5 mm de longitud quan està totalment desenvolupat.

Pupa: la pupa és lliure, blanquinosa i amb apèndixs clarament distingits. El seu cicle biològic és d'una única generació anual amb diverses sub-generacions germanes. És a dir, una sola femella realitza diferents postes durant l'hivern, que donen lloc un cop l'any a diversos adults que procedeixen de la mateixa femella. Posteriorment la femella reinicia la galeria materna, vertical, força rectilínia i de fins a 20 cm de longitud i d'uns 3 mm d'amplada. Les larves desenvolupen galeries perpendiculars a la galeria materna, l'amplària de les quals va creixent



Figura 10: Brot afectat per un individu immadur de **Tomicus destruens**.

Font: Consejería de Medio ambiente, Junta de Andalucía.

al ritme de la larva. Des de la primera posta fins al mes d'abril es detecten ous i larves sota l'escorça. Aquests ous són dipositats en dues o tres ocasions, ja que la femella realitza a l'octubre la primera posta, posteriorment, després d'una alimentació de regeneració en les copes, torna a fer una segona posta. Això pot repetir-se fins a tres i quatre vegades durant l'hivern. Eclosionen els ous i les larves passen per quatre estadis, transformant-se posteriorment en pupa a la cambra de pupació. Tots els "imags" immadurs, procedents de les diferents postes estan a punt d'abandonar les trosses entre els mesos de març i maig, per la qual cosa l'evolució de les larves procedents de la primera posta és molt més lenta que la de les posteriors. Una vegada que emergeix de la càmera, l'immadur s'introdueix en els brots a través d'un forat que fa ell mateix i, al final, provoca la mort d'aquests brots i la posterior caiguda a terra. La presència de brots de base buits a terra de la pineda és un símptoma identificatiu de l'atac per *Tomicus*.

Durant el mostreig i el posterior anàlisi de les mostres vam poder notificar que la problemàtica de la zona d'estudi, incloïa una infecció per fongs del tipus *blue stain*. Aquests fongs es desenvolupen i viuen a l'albeca de moltes espècies de coníferes. Al llarg del temps, aquests han desenvolupat una relació amb les espècies d'insectes perforadors que afecten als pins.



Figura 11: Afectació del fong *Blue stain* en una soca de conífera.

Font: *Montana.Gov. Official State Website*

Aquest fet els hi suposa un gran avantatge i una fàcil colonització de nous hostes gracies a la mobilitat dels insectes que també colonitzen i que desenvolupen el seu cicle vital dins el càmbium. El desplaçament el duen a terme mitjançant estructures especialitzades, creades per adherir-se al cap del seu transportador i penetrar a l'interior del l'arbre amb facilitat.

El principal efecte advers que aquest paràsit produeix a l'hoste vegetal és que deixa de produir resina i, en fases molt avançades de la colonització, acaba

provocant la mort de l'arbre (veure punt 1.4, apartat Agents biòtics). Aquest procés danyí per l'arbre és produït quan aquest fong germina de la seva espora i el seu miceli colonitza el floema i l'albeca (xilema). El fong, visualment, es presenta com una taca d'un color grisós tirant a blau, d'on li ve el nom. Ataca a arbres debilitats, típicament en períodes de sequera, de molta humitat i en tota mena d'entorns favorables a les plagues d'insectes.

1.7. Objectius i hipòtesis

Objectiu general

- Comparar els patrons de creixement entre arbres morts i supervivents a la zona de Can Catà, per tal de determinar la principal causa de la seva mort.

Hipòtesis

(1) L'episodi de mortalitat s'associa a la interacció entre la gestió forestal i unes condicions particularment seques.

(2) Els arbres morts presentaven taxes de creixement menors i més variables que els supervivents ja abans de la seva mort.

(3) El creixement dels arbres morts respon de manera més acusada a les condicions ambientals (precipitació i temperatura) que la dels arbres supervivents.

2. MATERIALS I MÈTODES

2.1. Zona d'estudi

El Parc Natural de la Serra de Collserola

Aquest ecosistema s'ha arribat a denominar el pulmó de Barcelona i conforma una gran àrea verda encaixada entre dos rius, el Besòs i el Llobregat. Situada dins la Serralada Litoral, Collserola va ser declarada Parc Natural per la generalitat l'any 2010. Tot i així, l'espai ja estava protegit oficialment des del 1953. El parc natural té 8259 ha i es troba repartit entre els termes municipals de 9 municipis circumdants de la zona entre els que trobem: Barcelona, Cerdanyola del Vallès, Esplugues de Llobregat, Molins de Rei, Montcada i Reixac, el Papiol, St. Feliu de Llobregat, St. Just Desvern i St. Cugat del Vallès. El Parc de Collserola està gestionat pel Consorci del mateix nom, el qual inclou la Diputació de Barcelona i els municipis de L'Àrea Metropolitana de Barcelona abans esmentats.

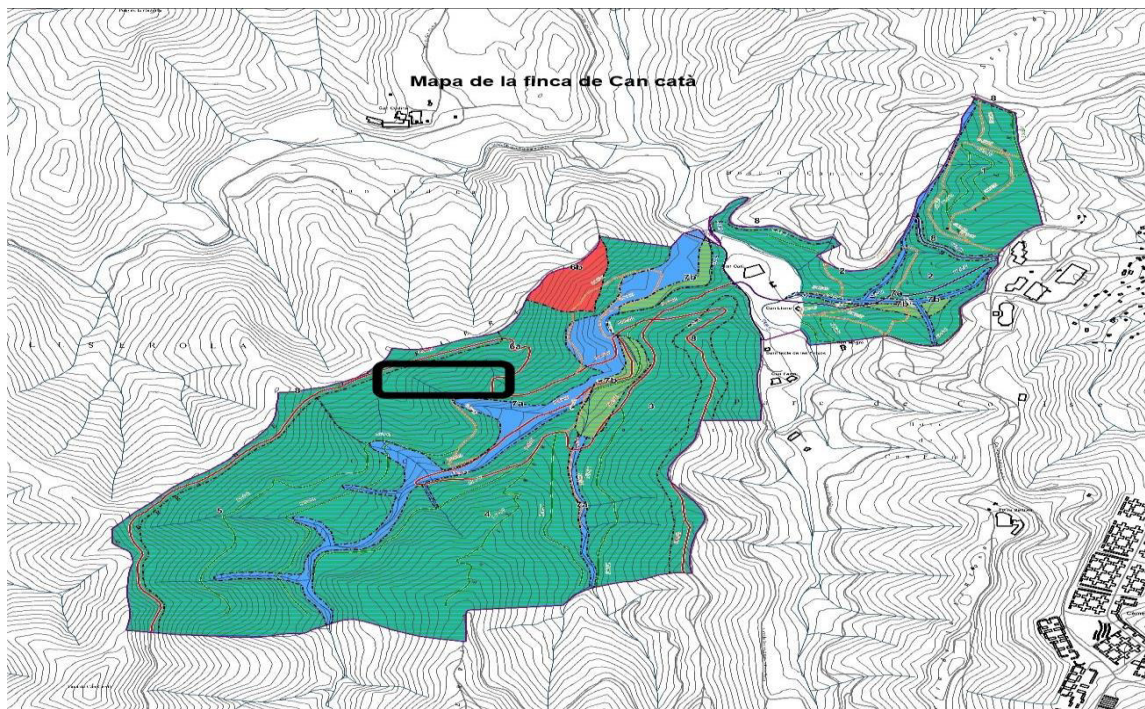


Figura 12: Mapa de la finca de can Catà, parc de Collserola. Situació de la zona d'estudi.

La zona d'estudi s'ubica dins el parc i pertany al municipi de Cerdanyola del Vallès. Aquest entorn és la finca de Can Catà. Aquesta àrea es va escollir amb el criteri de ser representativa de l'afectació i problemàtica descrita anteriorment. La zona estudiada té una orientació Sud-Est (vessant de solana) i té una pendent aproximada del 15º. El sòl està format principalment per pissarres, perpendiculars a la superfície del terreny, que afluoren amb molta freqüència i es meteoritzen formant el sòl.

L'edat d'aquest bosc és d'uns 70 anys, corresponent a la major edat mesurada en aquest estudi a partir del nombre d'anells de creixement. La vegetació de la zona, després de la gestió, conforma un estrat arbori en el que predomina el *Pinus halepensis*. També es pot apreciar en aquest estatge algun individu de capçada subdominant de *Quercus ilex* i *Quercus cerrroides*. En l'estrat arbustiú podem distingir un dens matollar de fins a dos i tres metres d'altura de bruc boal (*Erica arborea*). Entre aquesta matriu també podem observar individus d'arboç (*Arbutus unedo*) i de llentiscle (*Pistacia lentiscus*). En l'estrat herbaci trobem una vegetació força malmesa pel pas de les màquines durant l'aclarida i sobretot pobra, ja que la gran densitat de bruc boal segurament ha impedit l'entrada de llum.

La gestió forestal a la zona, amb el corresponent aprofitament de la fusta, es va dur a terme entre el març de 2012 i el març del 2013. Més concretament, l'actuació forestal a la zona estudiada va començar el 16 d'agost i va durar fins al 20 de novembre de 2012.

2.2. Mostreig de camp

El mostreig de camp es va dur a terme el dia 27 de febrer 2014. Es va delimitar una parcel·la circular de 25 m de radi i per tant la superfície de mostreig va ser de 1.963,5 m².

Variables mesurades a camp

Es van enregistrar les següents variables de tots els individus d'almenys 7,5 cm de diàmetre normal (diàmetre del tronc mesurat a l'alçada del pit, 1,30 m):

- **Núm. Identificatiu del peu:** a cada peu observat se li va atorgar un núm. identificatiu.
- **Espècie.**
- **Estat (viu o mort).**
- **Posició del tronc:** en peu, caigut o tallat.
- **Defoliació:** descrit amb V (fulles verdes), M (fulles marrons), VM (fulles verdes i marrons), NF (sense acícules).
- **Codi d'escorça:** descrit amb un número que expressa el percentatge del tronc recobert d'escorça. Aquest va des de 1 (estat òptim amb el 100% de la superfície recoberta d'escorça) a 6 (un 100% sense escorça).
- **Posició de capçada:** dominant o subdominant.
- **Diàmetre normal (cm):** Mesurat sempre a l'alçada del pit.
- **Diàmetre de la soca:** en cas que es tractés d'un arbre tallat es mesurava el diàmetre de la soca. Això es va dur a terme per poder estimar les densitats inicials arbòries i les finals després de la gestió, a més dels peus d'altres espècies arbòries presents a la parcel·la.
- **Alçada total del peu (m)**
- **Codi del testimoni de fusta (core):** només en els individus seleccionats per les mostres (cores), extretes a l'alçada del pit (1,30 m).
- **Orientació:** en graus del peu respecte al Nord des del centre de la parcel·la.
- **Distància:** en metres del peu des del centre de la parcel·la. Límit 25 m.
- **Notes.**

Mostreig dels testimonis de fusta

Es van seleccionar 11 individus vius i 11 de morts, tots de la mateixa espècie, *Pinus halepensis*. Es va anotar a quin arbre de la parcel·la corresponia. El diàmetre promig dels arbres vius era de $17,64 \pm 8,19$ cm (L'interval expressat correspon a la desviació estàndard), i els dels morts: $21,80 \pm 5,37$ cm. Es van

extreure dos testimonis de fusta o cores de cada arbre seleccionat, perpendicularment a la pendent (un a la cara est del tronc i l'altre a la oest). Els cores extrets es van col·locar damunt un suport de fusta específic per aquest tipus de mostres forestals. Després, s'hi van introduir curosament aplicant una suau pressió per encaixar-los bé i que les mostres quedessin ben assegurades per ésser transportades i conservades.

2.3. Tractament de les mostres

Després de l'extracció dels cores, aquests es van deixar assecar amb els seus respectius suports, on s'havien col·locat després de ser extrets. Quan ja van estar secs, 10 dies després, es va procedir a extreure'ls dels suports amb molta cura i, posteriorment a enganxar-los amb cola blanca al mateix suport, assegurant-se que la orientació de les fibres fos perpendicular al suport per tal de facilitar la detecció dels anells de creixement.

Un cop enganxats i deixats assecar es van polir amb l'ajut d'una polidora. Durant aquest procés es van utilitzar dos gruixos de paper de vidre diferents. En primera instància un de més gruixut per rebaixar la mostra i, posteriorment, un de més fi per fer els anells el més visibles possible. Aquest procés va ser l'últim del tractament de les mostres, anterior a la seva anàlisi.

Durant aquest procés de tractament de les mostres es va detectar que 16 cores (de 8 dels arbres mostrejats) estaven tenyits de blau. Aquesta coloració feia referència a una infecció fúngica en aquests individus (veure punt 1.6). Com a conseqüència d'aquest fet en la fase posterior d'anàlisi es va contemplar aquesta infecció com a possible factor afegit a les causes de la mort dels peus.

2.4. Mesura dels anells i anàlisi de dades

Per dur a terme l'anàlisi de les dades i de les mostres dendrocronològiques es van utilitzar els softwares **corecorder** i **dendro**.

(<http://www.cybis.se/forfun/dendro/index.htm> - <http://www.cybis.se/indexwe.htm?cybisinfoe.htm#about>) .

En primer lloc es van introduir al programa les imatges de cada core prèviament escanejades. Un cop introduïdes, amb l'ajuda d'aquest programa, es va poder mesurar el gruix dels anells de creixement de cada mostra. Aquest software, també ens permetia identificar l'últim any de cada mostra i així poder comparar els seus patrons de creixement interanuals i, posteriorment, comparar les diverses mostres. Es va utilitzar la segona part del software per revisar les sèries individuals obtingudes i corregir els possibles anells falsos (l'estacionalitat mediterrània determina un ritme bimodal, que fa que el creixement es reprengui alguns anys de bon temps durant la tardor, reflectint-se al canvi amb marques intra-anuals, denominades falsos anells), ja que aquesta espècie en crea freqüentment i si no es corregeixen poden crear soroll.

Es va disposar d'una sèrie mestra addicional proporcionada pel CREAM (Lluís Comas, comunicació personal), la qual va ser de gran ajuda per crear un patró de creixement fiable, i poder comparar el creixement entre els individus vius i els individus que van acabar morint. Aquesta sèrie mestra ens permetia compararla amb la sèrie de creixement de cada core individual i evitar errors de detecció d'anells. Amb l'ajuda del software es va comparar cada sèrie de creixement de cada core amb la sèrie mestra proporcionada i es van escollir només les mostres que tenien un coeficient de correlació superior a 0.5. Finalment, ens van quedar 9 arbres vius (corresponents a 12 cores) i 8 de morts (11 cores). Dels peus dels quals disposàvem dels dos cores es va obtenir una sèrie mitjana de creixement anual de l'arbre promitjant els dos cores. Finalment, vam crear les dues sèries de creixement, la corresponent als arbres vius i la dels morts.

Els gruixos dels anells de cada sèrie van permetre calcular els creixements radials anuals (RW, en mm/any) dada que s'obtenia directament del programa informàtic. Per altra banda, es van calcular els increments anuals en àrea basal (BAI, en mm²/any) d'acord amb la fórmula:

$$BAI_t = \pi \cdot (RW_t^2 - RW_{(t-1)}^2)$$

2.5. Anàlisis estadístiques.

Test de la χ^2

Primerament, per analitzar l'associació entre la infecció (*blue stain*) i l'estat de l'arbre es va fer servir el test de la Chi²:

$$\chi_c^2 = \sum \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

On **O** correspon al nombre de casos observats i **E** al nombre de casos esperats per cada combinació *i* de variables si les dues variables fossin independents. Aquest test contrasta si dos variables qualitatives son independents o si existeix una relació entre elles. En el nostre cas, ens va permetre testar si la infecció era més probable en els arbres supervivents que en el morts.

Regressió lineal simple

Donades dues variables aleatòries quantitatives contínues (X, Y) la regressió lineal simple ens permet determinar si entre elles existeix una *relació de tipus lineal*, i quantificar la forma de la relació. La denominada *recta de regressió* és la descripció quantitativa de la relació lineal existent entre dos variables del tipus quantitatiu continu. *El coeficient de correlació* és el que ens permet mesurar fins a quin punt la recta explica la relació entre variables, es a dir, la linealitat de la relació. Per poder fer la predicció d'una de les variables a partir de l'altra, primer hem de saber si estan relacionades linealment, i si es així, el coeficient de correlació ens donarà idea del grau de fiabilitat de la predicció.

3. RESULTATS

Dades meteorològiques de l'observatori Fabra

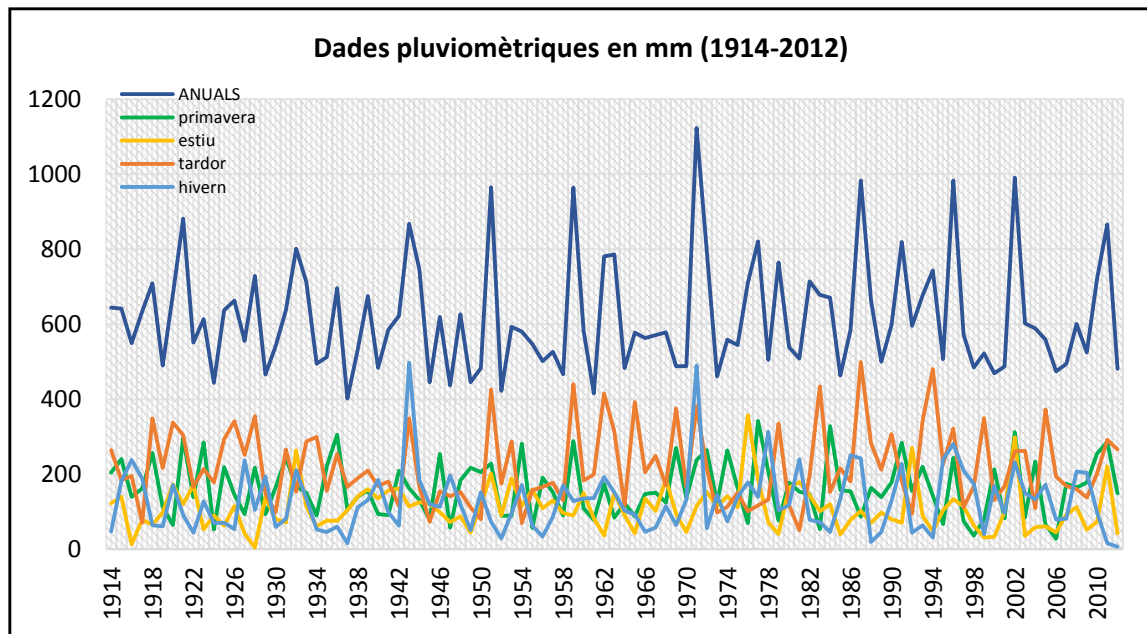


Figura 13: Sèrie de dades pluviomètriques anual totals, primaverals, estivals, de tardor i hivernals, entre els anys 1914 i 2012. **Font:** Observatori Fabra, Parc de Collserola.

A la *Figura 13* podem observar les dades pluviomètriques de l'estació meteorològica de l'Observatori Fabra, des dels seus inicis l'any 1914 fins l'any 2012, situat al mateix parc de Collserola. En el gràfic es mostren les precipitacions anuals totals i les precipitacions estacionals. Podem observar unes típiques precipitacions de la zona climàtica mediterrània litoral. Les dades recollides anualment, no baixen mai de 400 mm i només en un de quasi cent anys han passat de 1000 mm. La pluviometria estacional es concentra en els mesos de tardor i primavera i les mínimes a les estacions d'hivern i estiu.

Pel que fa als últims anys, en la sèrie estival, primaveral i hivernal del 2012, es pot observar unes precipitacions molt reduïdes concloent amb un hivern amb només 6,7 mm de pluja, el més sec d'aquests últims cent anys. Aquesta baixa precipitació també es reflecteix a la sèrie de precipitacions anuals.

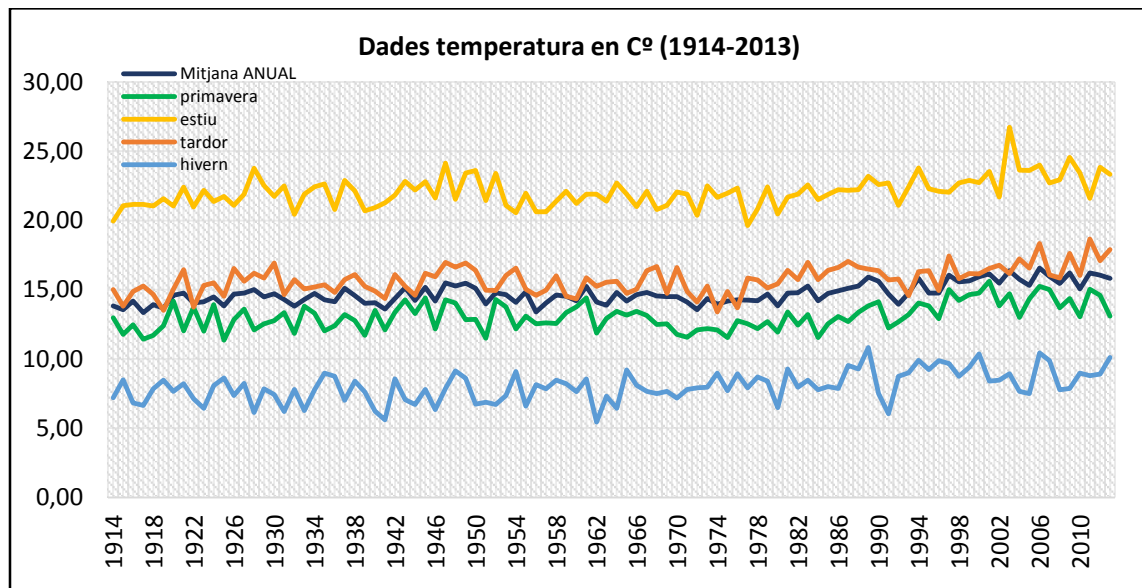


Figura 14: Sèrie de les temperatures mitjanes anuals, mitjana primaveral, mitjana estival, mitjana de tardor i mitjana hivernal, entre els anys 1914 i 2013. Dades pertanyents a l'observatori Fabra i cedides pel consorci del parc de Collserola. **Font:** Observatori Fabra, Parc de Collserola.

En la *Figura 14* podem observar les dades de temperatures mitjanes, proporcionades per l'observatori Fabra. Es mostren les temperatures mitjanes anuals i les temperatures mitjanes estacionals. Podem veure que en a la zona els estius són calorosos i els hiverns frescos, per l'efecte tampó de la proximitat al mar. Per altra banda, les estacions de primavera i tardor són molt suaus. En referència als anys més recents, podem destacar que les temperatures corresponents als períodes estacionals de primavera i estiu de l'any 2012 són especialment elevades (el final de la gràfica correspon a l'any 2013)

3.1. Resultats de la gestió duta a terme

	inicial	extret			final
			vius	morts	vius+morts
Peus/ha	616,25	173,16	331,04	112,04	443,09
% de la densitat de peus	100	28,10	53,72	18,18	71,90
Àrea basal (m²/ha)	23,9	9,63	9,84	4,43	14,27
% de l'àrea basal	100	40,29	41,16	18,55	59,71

Taula 2: Efecte de la gestió sobre el nombre de peus (peus/ha) i l'àrea basal (m²/ha), en valor absolut i en tant per cent.

En la taula 2 podem veure la quantitat d'individus extrets durant la gestió feta entre l'estiu i la tardor del 2012. Ens mostra que, en la nostra zona d'estudi, quasi es va extreure una tercera part dels individus presents, concretament un 28,1 %, corresponents a un 40,3 % de l'àrea basal total.

3.2. Resultats de BAI i RW

Les figures següents mostren les series dels creixements radials anuals per individus vius i morts. Les dues gràfiques expressen els resultats obtinguts en dues magnituds diferents: creixement radial/any (RW) i superfície/any (BAI), respectivament.

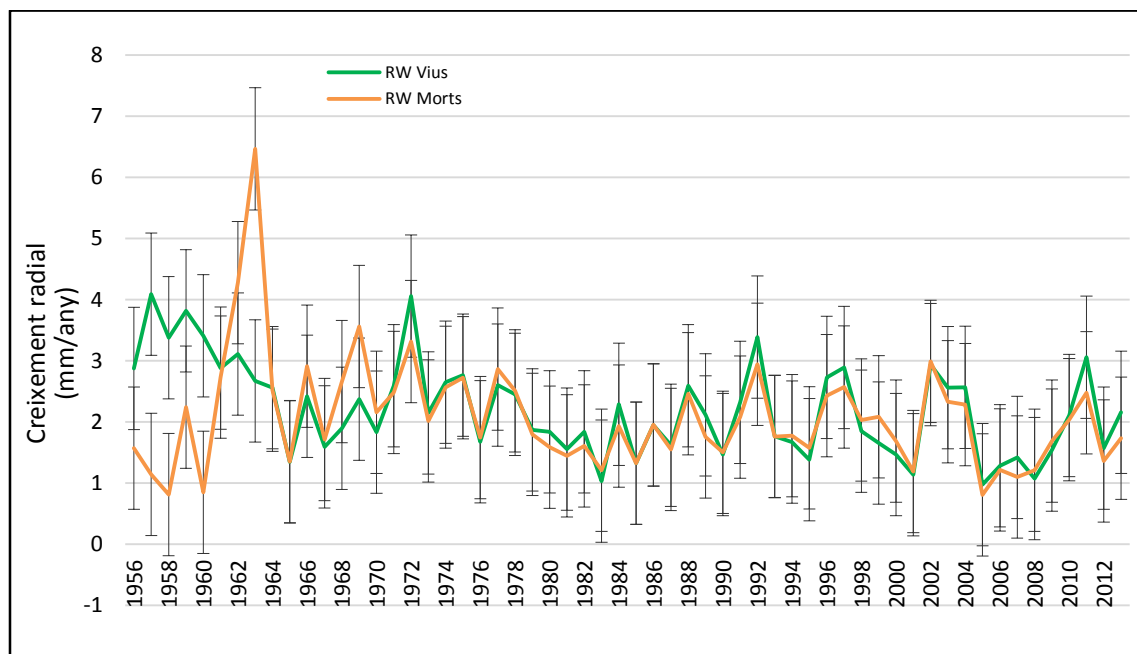


Figura 15: Creixement dels anells (en mil·límetres / any) representat en dues series, vius en verd i morts en taronja. **Font:** pròpia.

En aquest gràfic els patrons són pràcticament idèntics. Les series d'individus vius i morts mostren un creixement en gruix anual molt similar. La diferència entre el creixement dels arbres vius i dels morts en el període 2011-2013 és menys clara que en la gràfica corresponent al BAI.

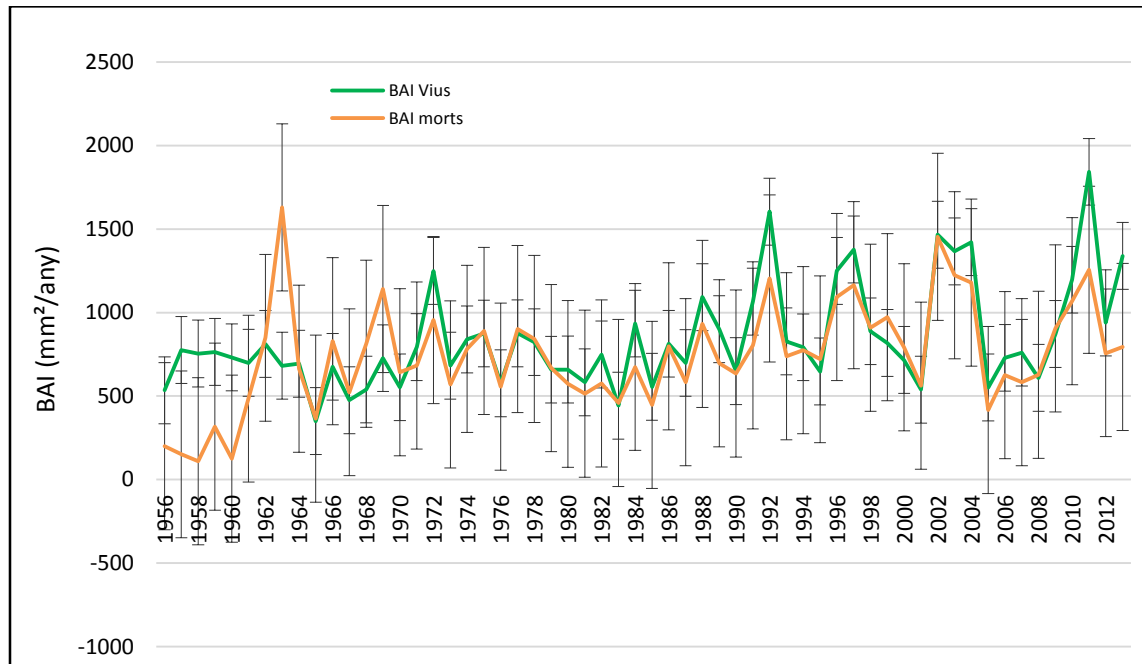
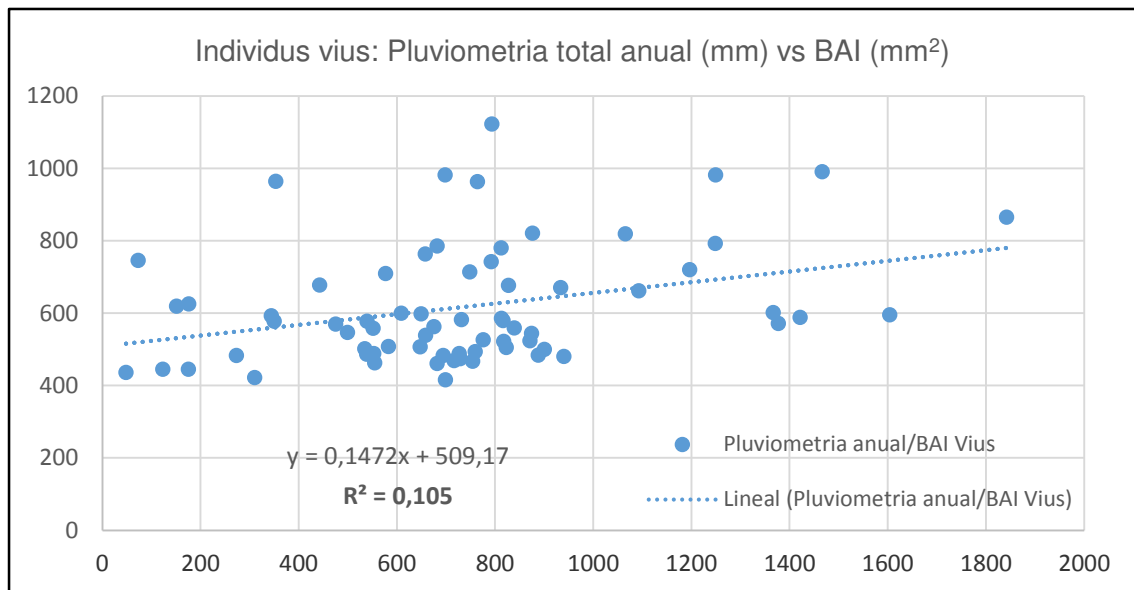


Figura 16: Increment de l'àrea basal (BAI, en mm^2/any) per les dues sèries. Vius en verd i morts en taronja. **Font:** pròpia.

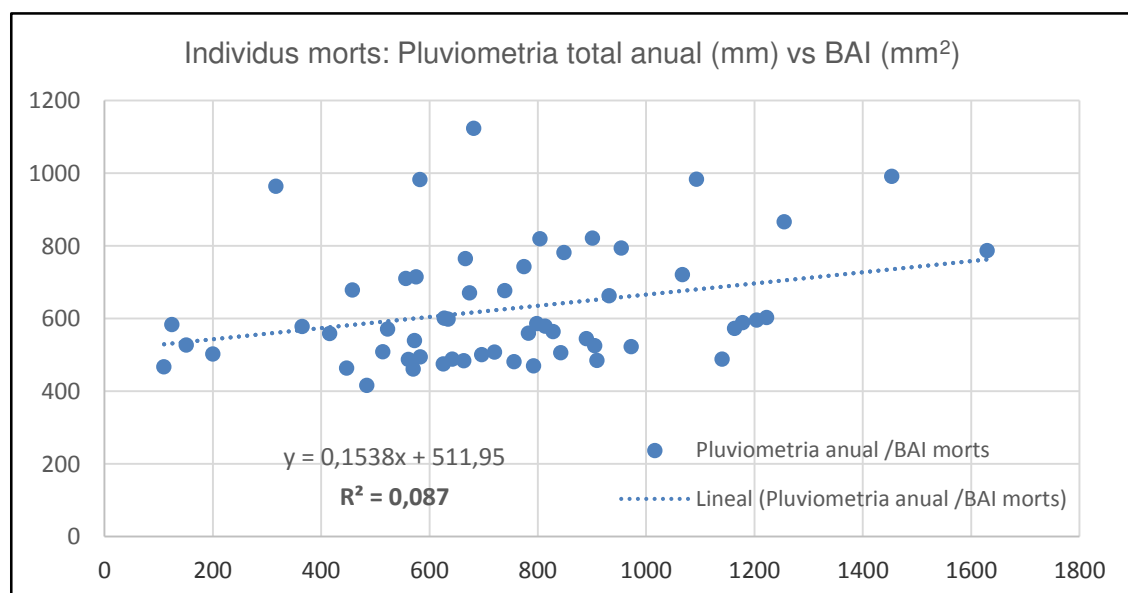
Aquesta figura mostra el creixement promig anual en àrea basal (mm^2/any) en la sèrie dels individus vius i en la dels morts. El que ens mostra és que els patrons d'increment d'àrea basal són molt semblants, tot i que els arbres morts presenten una tendència molt subtil a créixer menys que els supervivents en els anys immediatament anteriors a l'episodi de mortalitat, i en períodes anteriors (e.g., del 1979 al 1994). Finalment, entre els anys 2011 i 2013 s'aprecia una diferència més clara entre els creixements dels vius i dels morts.

3.3. Correlacions de les variables climàtiques amb el BAI



$P = 0,003$

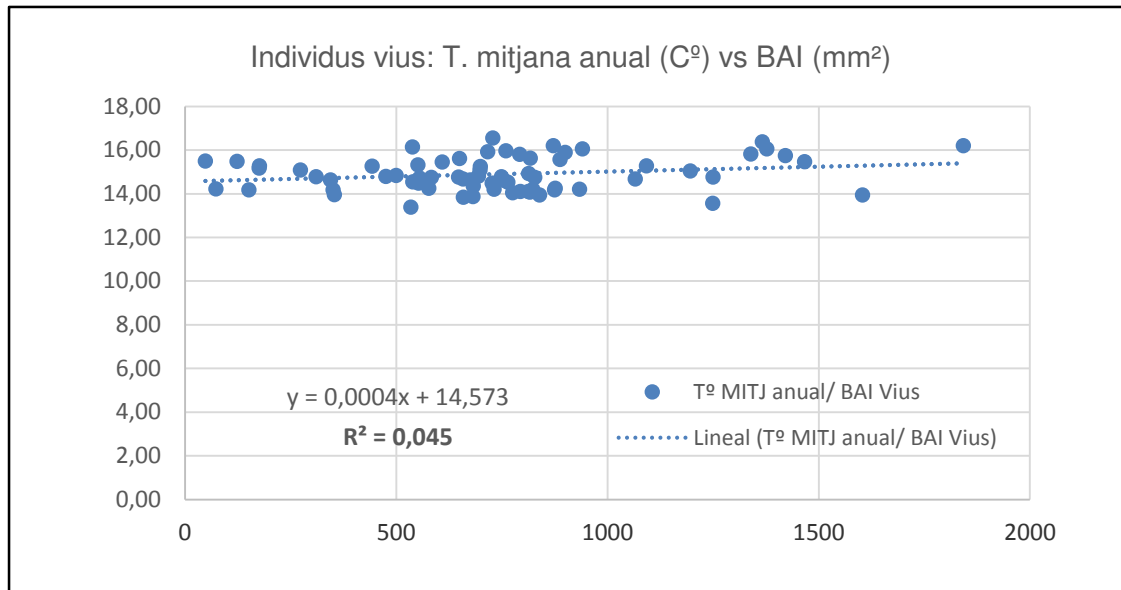
Figura 17: Relació entre la pluviometria total anual i el creixement anual en àrea basal, en els individus vius.



$P = 0,007$

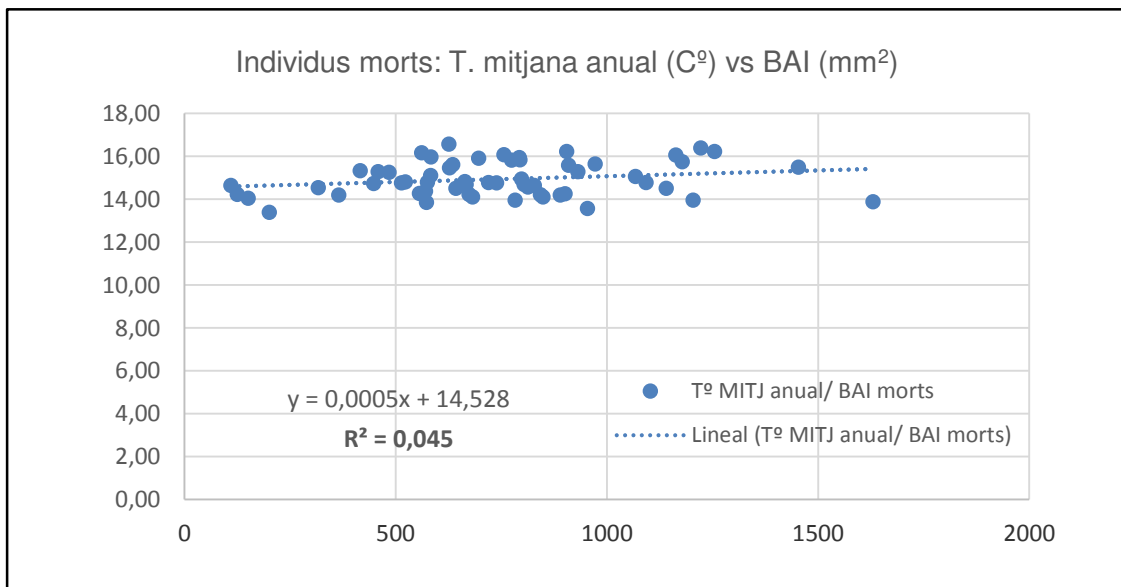
Figura 18: Relació entre la pluviometria total anual i el creixement anual en àrea basal, en els individus morts.

Segons el resultat de la P de les figures 17 i 18 la correlació entre les variables es molt significativa tan en els individus vius ($P=0,003$), com en els morts ($P=0,007$), i molt similars entre elles. Tot i així, els valors de la R^2 no denoten una alta dependència entre les variables.



$P = 0,039$

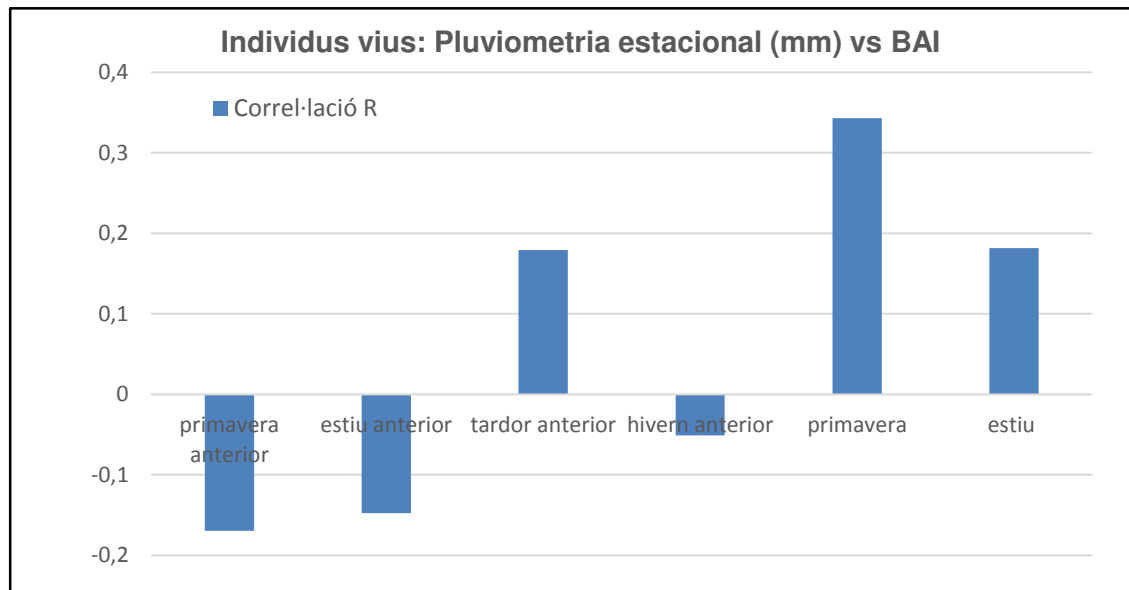
Figura 19: Relació entre la temperatura mitjana anual i el creixement anual en àrea basal, en els individus vius.



$P = 0,039$

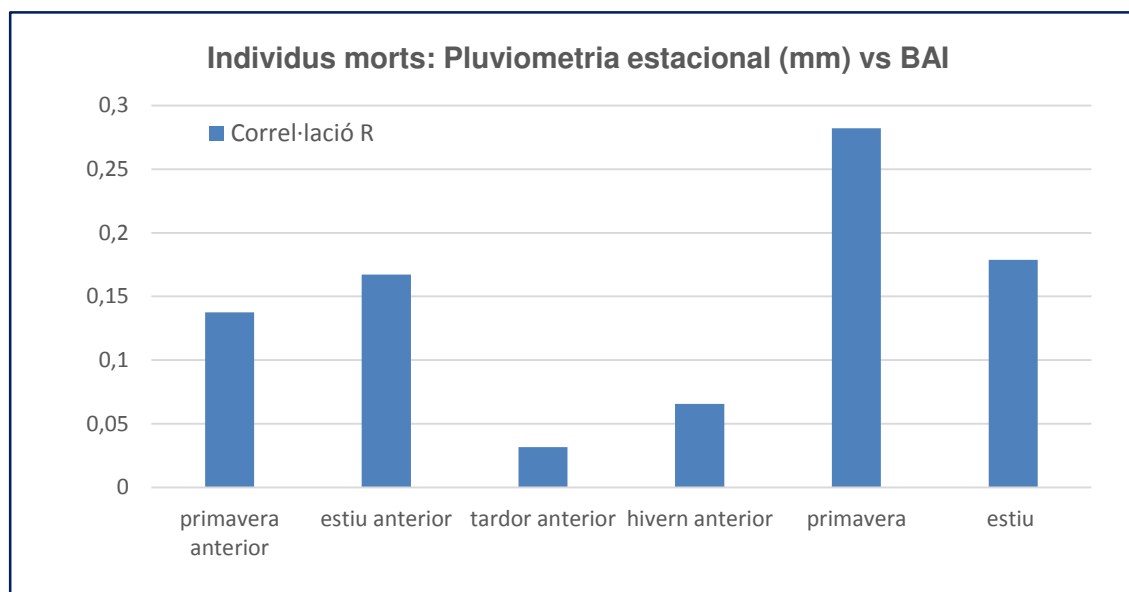
Figura 20: Relació entre la temperatura mitjana anual i el creixement anual en àrea basal, en els individus morts.

Per la variable temperatura anual mitjana, figures 19 i 20, obtenim les mateixes respostes en individus vius i morts, ja que els valors de P són significatius, i en els dos casos son de $P=0,039$. També podem observar una coincidència amb els valors de R^2 que són de 0'045.



P = 0,082 0,113 0,070 0,339 0,002* 0,068

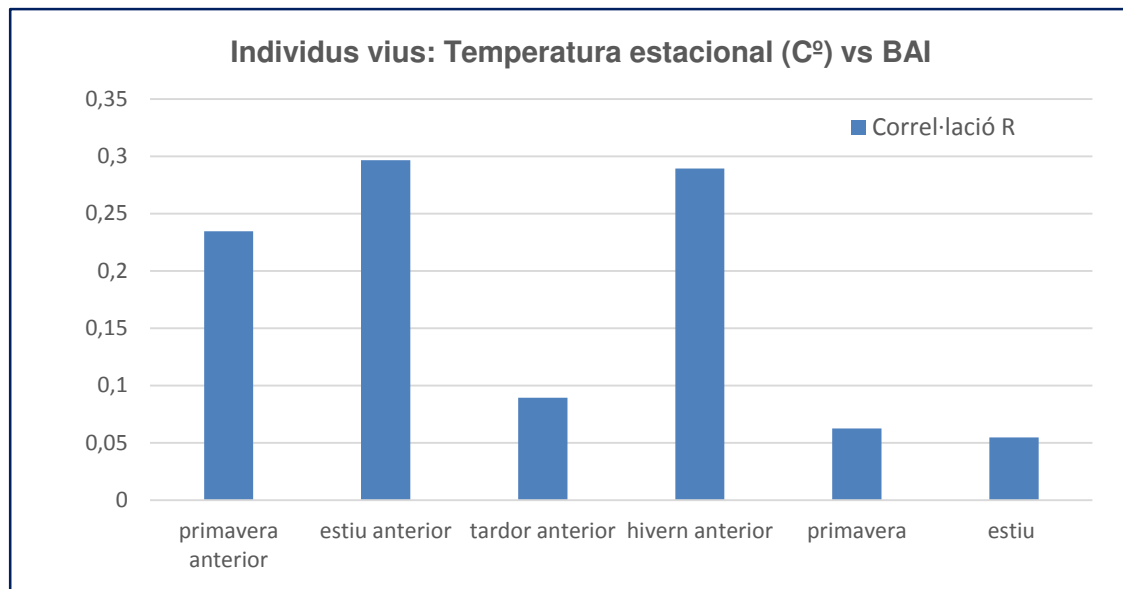
Figura 21: Relació entre la pluviometria estacional i el creixement anual en àrea basal, en individus vius.



P = 0,154 0,107 0,408 0,314 0,017* 0,092

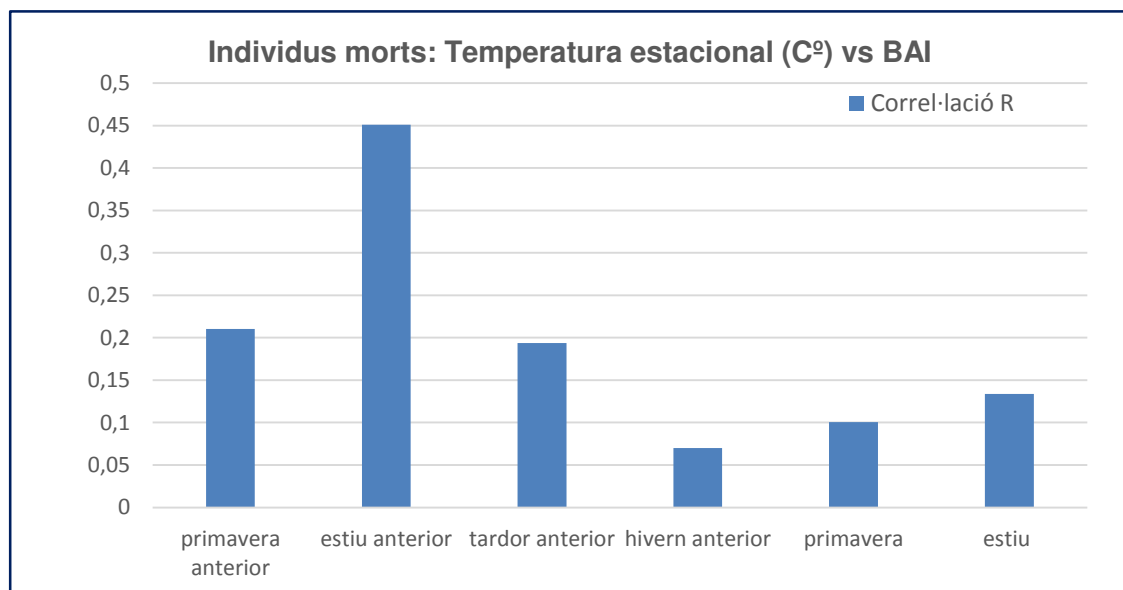
Figura 22: Relació entre la pluviometria estacional i el creixement anual en àrea basal, en individus morts.

Els resultats observables en les figures 21 i 22 ens revelen que l'estació amb una influència més alta sobre el creixement dels nostres individus és la primavera del mateix any. Els valors de *P* corresponents a aquesta estació són significatius tant per vius ($P=0,002$) com per morts ($P=0,017$). Tot i que força més significativa la correlació amb els arbres vius. Aquest fet també queda pales amb el valor de la $R=0,343$ per els vius i $R=0,282$ per els morts.



P = 0,025* 0,006* 0,231 0,008* 0,304 0,326

Figura 23: Relació entre la variable temperatura mitjana estacional i l'increment d'àrea basal, en els individus vius.



P = 0,0564 0,0002* 0,0726 0,3008 0,2264 0,1584

Figura 24: Relació entre la variable temperatura mitjana estacional i l'increment d'àrea basal, en els individus morts.

Els resultats de les figures 23 i 24 ens mostren, les més grans diferències entre vius i morts. En els individus vius tenim tres variables significatives, referents a les estacions de l'any anterior de primavera ($P=0,025$), estiu ($P=0,006$) i hivern ($P=0,008$). En els individus morts només és significativa, la variable de l'estiu anterior ($P=0,0002$) tot i que amb una correlació altíssima $R=0,451$.

3.4 Resultats del test de la X² per la infecció fúngica

Arbres	sense fong	amb fong	Suma
Viu	10	1	11
Mort	4	7	11
Suma	14	8	22

estat	infecció	probabilitat	Resultats esperats	Resultats observats	(obs-esp) ² /esp
Viu	Negatiu	0,318	7	10	1,285714
Viu	Positiu	0,182	4	1	2,25
Mort	Negatiu	0,318	7	4	1,285714
Mort	Positiu	0,182	4	7	2,25
		1	22	22	7,071429

$$P = 0,007832278$$

Taula 3: Càlcul del test de independència de Pearson

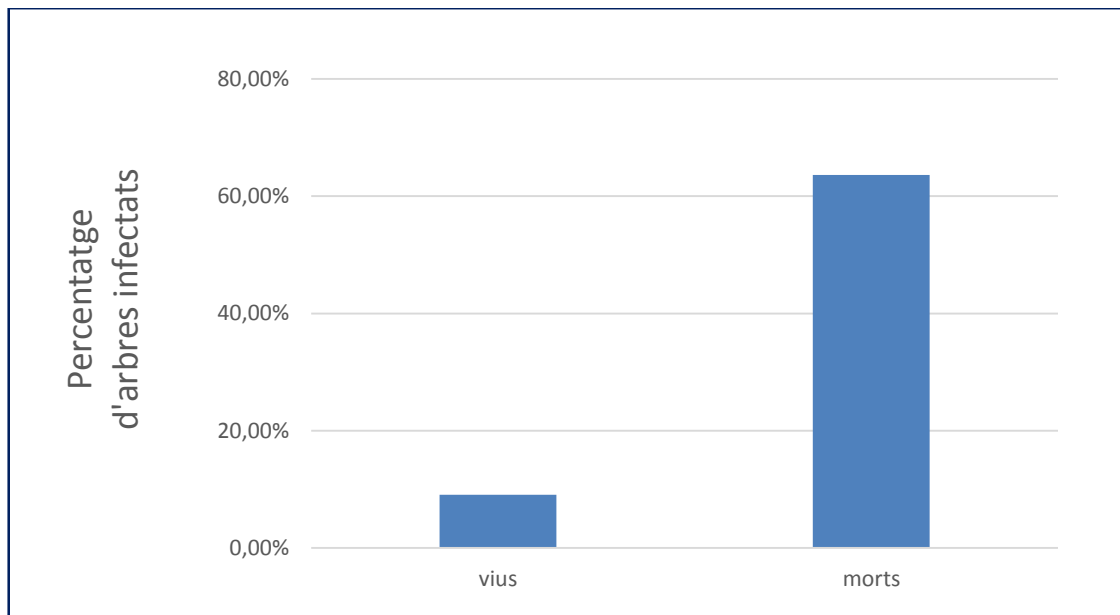


Figura 25: Percentatge d'individus infectats per fongs, separats en dues series vius i morts, respectivament.

En aquest gràfic veiem representat el percentatge d'individus infectats per fongs (*blue stain*), per arbres vius i morts. Podem veure que només el 9,09% dels individus vius estaven infectats en el moment del mostreig. En contraposició a aquesta dada el 63,64% dels morts estaven infectats.

Aquestes diferències són significatives segons el test de la Chi² (veure taula 3), la qual cosa indica que existeix una associació entre les dues variables analitzades (infecció per fong i estat de l'arbre).

D'altra banda, el core de l'únic arbre viu que estava afectat per fongs presentava una part del càmrium infectada menor que en els altres arbres, fet que ens fa pensar que el fong encara no havia afectat tant negativament l'arbre com per provocar-li la mort en el moment del mostreig.

4. DISCUSSIÓ

En aquest apartat discutirem les possibles causes del decaïment i mort d'un gran nombre de peus de l'espècie *Pinus halepensis*, a la finca de Can Catà del parc natural de Collserola, després dels aprofitaments forestals que s'hi van dur a terme entre agost i novembre de 2012.

En referència a les hipòtesis de partida (punt 1.7), començarem comentant la segona i la tercera que són les que no fan una referència directa a la gestió forestal efectuada.

En relació a la segona hipòtesi dir que les dades analitzades no mostren diferències apreciables entre el creixement dels arbres morts i el dels vius. I tot i que en els tres anys immediatament anteriors a la seva mort, en aquests individus si que observem un creixement lleugerament menor que en els vius, no es pot dir que la diferència sigui significativa. D'acord amb això, no hi va haver un procés de debilitament lent com sí que s'ha observat en altres espècies de pins (Heres, A.M., Martínez-Vilalta, J., López, B.C. 2011. Growth patterns in relation to drought-induced mortality at two Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) sites in NE Iberian Peninsula. *Trees* 26, 621–630). I si no podem parlar de diferències significatives en la taxa de creixement, entre morts i vius, molt menys ho podem fer en relació a la variabilitat d'aquest creixement (en aquest sentit, les gràfiques de les Figures 15 i 16 ens mostres una gran correlació).

Els resultats obtinguts de la relació entre les variables climàtiques amb el Bai també ens fan descartar la tercera hipòtesis, en la que es proposava una major correlació entre les variables climàtiques i el creixement en els individus que han acabat morint. Les correlacions amb les variables anuals de pluviometria (figures 17 i 18) son molt semblants per vius ($P=0.003$) i morts ($P=0.007$) i per les variables anuals de temperatura (figures 19 i 20), exactament la mateixa en les dos casos ($P=0.036$). Per les variables estacionals veiem que correlacionen una mica millor els individus vius, en les pluviomètriques (figures 21 i 22) l'única

estació significativa es la primavera, tan per vius ($P=0.002$) com per morts ($P=0.017$), i en les de temperatura (figures 23 i 24) els vius tenen una correlació significativa en tres de les estacions i els morts tan sols en una, i en aquesta que comparteixen (estiu anterior) la correlació es pràcticament la mateixa, per vius ($P=0.006$) i per morts ($P=0.008$).

En relació a la primera hipòtesi dir que més que de la “interacció de la gestió forestal amb unes condicions particularment seques” podríem parlar de la coincidència temporal de la gestió forestal amb una plaga d’escolítids que va afectar els individus romanents de l’aclarida.

De tota manera no sabem quan va començar l’atac per escolítids i, per tant, no podem estar segurs de si el debilitament (menor creixement) dels individus afectats va ser una causa o una conseqüència d’aquesta infecció. En aquest sentit, estudis anteriors han mostrat que els escolítids afectaven individus sans o poc debilitats (Branco *et al.*, 2010).

Tampoc pensem que hi hagi una relació directa entre la forta aclarida que es va dur a terme i un debilitament dels peus romanents, ja que no hi ha cap variable que ens faci pensar que aquesta debilités el creixement dels peus romanents. El procés d’aclarida però, potser sí que va interferir, indirectament amb la taxa d’individus afectats per un nombre inicial concret d’escolítids.

Remarcar que el *Tomicus destruens* (descriu en el punt 1.6), al ser característic de les zones mediterrànies està especialitzat en colonitzar les seves espècies de *Pinus* (*P. pinea*, *P. pinaster*, *P. halepensis* i *P. brutia*), però, com exposa Faccoli (2007), en el que obté un règim més alt de reproducció (ous / femella) i de supervivència és en *Pinus halepensis*.

En el nostre cas d’estudi, probablement els escolítids es van establir als troncs dels individus post-aclarida i, seguidament van dur a terme el desenvolupament reproductiu i de posta, durant la tardor i principis d’hivern (com hem comentat en el punt 1.6, les postes es duen a terme durant aquests mesos de l’any).

Tot i així, el nostre anàlisi no situa l’escolítid com a únic o principal causant de la mort, d’acord amb Romón *et al.* (2006), sinó en l’associació d’aquest amb un

fong paràsit d'arbres i sobretot de coníferes, de la classe *blue stain*. Aquesta associació entre l'ordre scolytidae i el fong *blue stain*, fa temps que està descrita (Rennerfelt, 1950; Mathiesen-Käärik, 1953). La primera referència sobre la relació entre la família *Tomicus* (*T. Piniperda*) i un *blue stain* va ser a descrita a Escòcia (MacCallum, 1922).

Pensem, que el nostre cas, el *blue stain* té accés als arbres estudiats entrant conjuntament amb el seu hoste. Com es cita en Furniss, Solheim & Christiansen (1990), (tot i que ells ho fan per una altra espècie de coleòpter), els escolítids no tenen òrgans especialitzats pel transport del fong, si no que aquests duen les seves espores o bé externament (en els "porus" de la pronota i els èlitres) o internament (en el seu sistema digestiu).

Aquesta associació és profitosa pel fong per trobar nous hostes arboris, degut a les facilitats que té l'individu adult de *Tomicus* per desplaçar-se i arribar a nous espais lluny del seu l'origen (Horntvedt *et al.*, 1983). El fong també aprofita les galeries excavades per l'escarabat, per la dispersió de les espores ja que aquestes augmenten molt la superfície on disposar-se en primera instància i poder entrar al càmbium i germinar-hi.

Però els beneficis de la relació *Tomicus* / *blue stain* són recíprocs. Quan els arbres colonitzats detecten la presència d'insectes perforadors inicien, com a mecanisme de defensa, un procés de resinosi que provoca una gran dificultat en les larves i les postes dels *Tomicus*. En aquest estadi, el fong ajuda a l'escolítid ja que el seu desenvolupament afecta l'arbre i, per mitjà de la dessecació de l'albeca, facilita la inhabilitació dels processos de resinosi que afecten les larves i els ous de l'escarabat (Horntvedt *et al.*, 1983).

Aquest conjunt de fets, als que els nostres arbres es van veure sotmesos entre l'estiu i començaments d'hivern del 2012, va establir una situació molt adversa per als peus infectats d'aquests rodals, i un futur molt crític per al seu desenvolupament. Conseqüentment aquests peus van començar a mostrar símptomes negatius, similars als descrits per Heiniger *et al.* (2011) en individus de l'espècie *Pinus sylvestris* en una de les zones més seques de Suïssa (Rhone Valley, Valais), aquests autors associen la defoliació a les capçades dels pins i

la pèrdua d'acícules amb la infecció per un fong *blue stain*. En els estudis de Horntvedt *et al.* (1983) també trobem referències d'altres símptomes que vam poder observar en els nostres individus afectats, com són el canvi de color de verd a marronós de les acícules i per tant de la copa en general, degut també a la infecció per *Blue stain*.

Tenint en compte que, probablement, els coleòpters van entrar a la tardor del 2012 i sabent que el fong té un període de desenvolupament de 1-2 mesos (Solheim *et al.*, 1991), el decaïment dels primers peus es va produir probablement durant la primavera del 2013, ja que el temps de mort de l'hoste acostuma a ser d'uns 4 mesos (Solheim *et al.*, 1991). El *blue stain* pot arribar a produir un dany irreparable a l'arbre bloquejant el flux ascendent d'aigua que puja per l'albeca (el xilema) (Horntvedt *et al.*, 1983). Els fongs acaben produint embolisme als vasos conductors. Aquests conductes aspirats són menys permeables al transport d'aigua i, si el dany es generalitza, es produeix un dessecament en la fusta i la mort de l'arbre afectat.

5. CONCLUSIONS

No s'han trobat diferències substancials en els patrons de creixement entre els arbres morts i els supervivents, excepte en els dos anys immediatament anteriors a la mort. Igualment, tampoc s'han trobat diferències importants en la resposta del creixement a la precipitació i a la temperatura entre arbres vius i morts.

La forta aclarida que es va dur a terme en aquesta zona, juntament amb les elevades temperatures i la sequera ocorreguda l'estiu del 2012, van afavorir l'atac per *Tomicus destruens*. Aquests darrers van ser els causants de la introducció de les malures fúngiques associades (*blue stain*). Probablement van ser aquests fongs els causants directes de la mort dels individus estudiats.

6. BIBLIOGRAFIA

Allen, C.D., Macalady, A.K., Chenchouni, H., Bachelet, D., McDowell, N., Vennetier, M., Kitzberger, T., Rigling, A., Breshears, D.D., Hogg, E.H., Gonzalez, P., Fensham, R., Zhang, Z., Castro, J., Demidova, N., Lim, J-H., Allard, G., Running, S.W., Semerci, A., Cobb, N. 2009. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management*. doi:10.1016/j.foreco.2009.09.001.

Barceló, J., Nicolás, G., Sabater, B., Sánchez, R. 2001. Fisiología vegetal. Ediciones Piràmide (ed. 2007). ISBN: 978-84-368-1525-2.

Bigler, C., Bräker, O.U., Bugmann, H., Dobbertin, M., Rigling, A. 2006. Drought as an Inciting Mortality factor in Scots Pine Stands of the Valais, Switzerland. *Ecosystems* 9, 330–343.

Bigler, C., Gavin, D.G., Gunning, C., Veblen, T.T. 2007. Drought induces lagged tree mortality in a subalpine forest in the Rocky Mountains. *Oikos* 116, 1983-1994

Branco, M., Pereira, J.S., Mateus, E., Tavares, C., Paiva, M.R. 2010. Water stress affects *Tomicus destruens* host pine preference and performance during the shoot feeding phase. *Ann. For. Sci.* 67, 608 (pp 1-7).

Bueno, A., Diez, J.J., Fernández, M.M. 2010. Ophiostomatoid fungi transported by *Ips sexdentatus* (Coleoptera; Scolytidae) in *Pinus pinaster* in NW Spain. *Silva Fennica* 44(3): 387–397.

Chaparro, D., Martínez-Vilalta, J., Vayreda, J., Vall-llossera, M. setembre 2013. Regional-scale forest decline responds to climatic anomalies and remotely sensed soil moisture. Master thesis – UPC-CREAF-UAB.

Christiansen, E., Waring, R., Berryman, A. 1987. Resistance of conifers to bark beetle attack: searching for general relationships. *Forest Ecology and Management* 22, 89–106.

Cook E.R., Johnson A.H., Blasing, T.J. 1987. Forest decline: modeling the effect of climate in tree rings. *Tree Physiology* 3, 27-40 (1987).

Croisé, L., Lieutier, F., Cochard, H., Dreyer, E., 2001. Effects of drought stress and high density stem inoculations with *Leptographium wingfieldii* on hydraulic properties of young Scots pine trees. *Tree Physiology* 21, 427–436.

Delgado de la Torre, R., 2008. Probabilidad y Estadística para ciencias e ingenierías. *Publicaciones Delta*. ISBN: 84-96477-74-6.

DiGuistini, S., Ralph, S.G., Lim, Y.W., Holt, R., Jones, S., Bohlmann, J., Breuil, C. 2007. Generation and annotation of lodgepole pine and oleoresin-induced expressed sequences from the blue-stain fungus *Ophiostoma clavigerum*, a Mountain Pine Beetle-associated pathogen. *FEMS Microbiol Lett* 267, 151–158.

Duarte, C., Alonso, S., Benito, G., Dachs, J., Montes, C., Pardo, M., Ríos, A., Simó, R., Valladares, F. 2006. Cambio global. Impacto de la actividad humana sobre el sistema tierra. CSIC Madrid. ISBN: 978-84-00-08452-3.

Espelta, JM., Arnan, X., Verkaik, I., Guitart, L. (2008). Avaluació ecològica de diferents tractaments silvícoles de millora de la regeneració natural en zones afectades per incendi i sequeres extremes. En: *Models silvícoles en boscos privats mediterranis. Diputació de Barcelona. Col·lecció: Documents de Treball, Sèrie Territori 5.* 153-181.

Faccoli M, Pisedda A, Salvato P, Simonato M, Masutti L & Battisti A. 2005. Phylogeography of the pine shoot beetles *Tomicus destruens* and *T. piniperda* (Coleoptera Scolytidae) in Italy. *Annals of Forest Sciences* 62, 361–368.

Faccoli, M. 2007. Breeding performance and longevity of *Tomicus destruens* on Mediterranean and continental pine species. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 123, 263–269.

Faccoli, M., Anfora, G., Tasin, M. 2008. Responses of the Mediterranean Pine Shoot Beetle *Tomicus destruens* (Wollaston) to Pine Shoot and Bark Volatiles. *J. Chem. Ecol.* 34, 1162–1169.

Furniss, M.M., Solheim, H., Christiansen, E. 1990. Transmission of blue-stain fungi by *Ips typographus* (Coleoptera: Scolytidae) in Norway spruce. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 83, 712-716.

Gallego, D., Galián, J. 2001. The internal transcribed spacers (ITS1 and ITS2) of the rDNA differentiate the bark beetle forest pests *Tomicus destruens* and *T. piniperda*. *Insect Molecular Biology*, 10, 415–420.

Gallego, D., Canovas, F., Esteve, M., Galian, J. 2004. Descriptive biogeography of *Tomicus* (Coleoptera: Scolytidae) species in Spain. *Journal of Biogeography* 31, 2011–2024.

Gallego, D., Galián, J., Diez, J.J., Pajares, J.A. 2008. Kairomonal responses of *Tomicus destruens* (Col., Scolytidae) to host volatiles α -pinene and ethanol. *J. Appl. Entomol.* 132, 654–662.

Gracia, M., Ordoñez, J.L. (CREAF) i A.A.V.V. 2009. Els alzinars. Manuals de gestió d'hàbitats. *Gabinet de premsa i comunicació de la Diputació de Barcelona.* ISBN: 978-84-9803-321-2.

Gracia, M., Ordoñez, J.L. (CREAF) i A.A.V.V. 2010. Les pinedes de pi blanc. Manuals de gestió d'hàbitats. *Gabinet de premsa i comunicació de la Diputació de Barcelona.* ISBN: 978-84-9803-368-7.

Gracia, M., Ordoñez, J.L. (CREAF) i A.A.V.V. 2011. Les pinedes de pi roig. Manuals de gestió d'hàbitats. *Gabinet de premsa i comunicació de la Diputació de Barcelona.* ISBN: 978-84-9803-436-3.

Gracia, M., Ordoñez, J.L. (CREAF) i A.A.V.V. 2011. Les pinedes de pinassa. Manuals de gestió d'hàbitats. *Gabinet de premsa i comunicació de la Diputació de Barcelona.* ISBN: 978-84-9803-435-6.

Gracia, M., Ordoñez, J.L. (CREAF) i A.A.V.V. 2012. Les pinedes de pi negre. Manuals de gestió d'hàbitats. *Gabinet de premsa i comunicació de la Diputació de Barcelona*. ISBN: 978-84-9803-485-1.

Gracia, M., Ordoñez, J.L. (CREAF) i A.A.V.V. 2013. Les fagedes. Manuals de gestió d'hàbitats. *Gabinet de premsa i comunicació de la Diputació de Barcelona*. ISBN: 978-84-9803-494-3.

Gracia, M., Ordoñez, J.L. (CREAF) i A.A.V.V. 2013. Les pinedes de pi pinyer. Manuals de gestió d'hàbitats. *Gabinet de premsa i comunicació de la Diputació de Barcelona*. ISBN: 978-84-9803-516-2.

Guerrero, A., Feixas, J., Pajares, J., Wadhams, L.J., Pickett, J.A., Woodcock, C.M. 1997. Semiochemically Induced Inhibition of Behaviour of *Tomicus destruens* (Woll.) (Coleoptera: Scolytidae) *Naturwissenschaften* 84, 155–157.

Heiniger, U., Theile, F., Rigling, A., Rigling, D. 2011. Blue-stain infections in roots, stems and branches of declining *Pinus sylvestris* trees in a dry inner alpine valley in Switzerland. *Forest Pathology* 41, 501–509.

Heres, A.M., Martínez-Vilalta, J., López, B.C. 2011. Growth patterns in relation to drought-induced mortality at two Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) sites in NE Iberian Peninsula. *Trees* 26, 621–630.

Horn, A., Roux-Morabito, G., Lieutier, F., Kerdelhue, C. 2006. Phylogeographic structure and past history of the circum-Mediterranean species *Tomicus destruens* Woll. (Coleoptera: Scolytinae). *Molecular Ecology* 15, 1603–1615.

Horn, A., Kerdelhué, C., Lieutier, F., Rossi, J-P. 2012. Predicting the distribution of the two bark beetles *Tomicus destruens* and *Tomicus piniperda* in Europe and the Mediterranean region. *Agricultural and Forest Entomology* 14, 358–366.

Horntvedt, R., Christiansen, E., Solheim, H., Wang, S. 1983. Artificial inoculation with *Ips typographus*-associated blue-stain fungi can kill healthy Norway spruce trees. *Meddelelser fra Norsk institutt for skogforskning* 38 (4),1-20.

Kohlmayr, B., Riegler, M., Wegensteiner, R., Stauffer, C. 2002. Morphological and genetic identification of the three pine pest of the genus *Tomicus* (Coleoptera, Scolytidae) in Europe. *Agricultural and Forest Entomology*, 4, 151–157.

Krokene, P., Solheim, H. 1998. Pathogenicity of four blue-stain fungi associated with aggressive and nonaggressive bark beetles. *Phytopathology* 88, 39-44.

Martínez-Vilalta, J., López, B.C., Loepfe, L., Lloret, F. 2012. Stand- and tree-level determinants of the drought response of Scots pine radial growth. *Oecologia* 168, 877–888.

Martínez-Vilalta, J., Lloret, F., Breshears, D.D. 2012. Drought-induced forest decline: causes, scope and implications. *Biology letters* 8, 689–691.

Pearson, C., Dale, D., Brewer, P., Kuniholm, P., Lipton, J., Manning, S.W. 2009. Dendrochemical analysis of a tree-ring growth anomaly associated with the Late Bronze Age eruption of Thera. *Journal of Archaeological Science* 36, 1206–1214.

Piñol, J., Martínez-Vilalta, J., 2006. Ecología con números. *Lynx Edicions*. ISBN: 84-96553-01-9.

Romon, P., Zhou, X.D., Iturrondobeitia, J.C., Wingfield, M.J., Goldarazena, A. 2007. Ophiostoma species (Ascomycetes: Ophiostomatales) associated with bark beetles (Coleoptera: Scolytinae) colonizing *Pinus radiata* in northern Spain. *Canadian Journal of Microbiology* 53, 756–767.

Sabbatini Peverieri, G., Capretti, P., Tiberi, R. 2006. Associations between *Tomicus destruens* and *Leptographium* spp. in *Pinus pinea* and *P. pinaster* stands in Tuscany, central Italy. *Forest Pathology* 36, 14–20.

Solheim H, 1991. Oxygen deficiency and spruce resin inhibition of growth of fungi associated with *Ips typographus*. *Mycological Research* 95, 1387-92.

Solheim, H., Långström, B. 1991. Blue-stain fungi associated with *Tomicus piniperda* in Sweden and preliminary observations on their pathogenicity. *Annales des Sciences Forestières* 48, 149-156.

Solheim, H., Krokene, P., Långström, B. 2001. Effects of growth and virulence of associated blue-stain fungi on host colonization behaviour of the pine shoot beetles *Tomicus minor* and *T. Piniperda*. *Plant Pathology* 50, 111-116.

Steiner, G., Buhner, E.M. 1934. *Aphelenchoides xylophilus*, n.sp., a nematode associated with blue-stain and other fungi in timber. *Journal of agricultural research*. Vol 48 nº 10, 949-951.

Suarez, M.L., Ghermandi, L., Kitzberger, T. 2004. Factors predisposing episodic drought-induced tree mortality in *Nothofagus* – site, climatic sensitivity and growth trends. *Journal of Ecology* 92, 954–966.

Terradas, J. 2001. Ecología de la vegetación. De la ecofisiología de las plantas a la dinámica de comunidades y paisajes. Ed. Omega;. ISBN: 84-282-1288-0.

Tyree, M.T. and J.S. Sperry. 1989. Vulnerability of xylem to cavitation and embolism. *Annu. Rev. Plant. Physiol. Plant. Mol. Biol.* 40, 19–38.

Urli, M., Porté, A.J., Cochard, H., Guengant, Y., Burlett, R., Delzon, S. 2013. Xylem embolism threshold for catastrophic hydraulic failure in angiosperm trees. *Tree Physiology* 33, 672–683.

Valladares, F., Vilagrosa, A., Peñuelas, J., Ogaya, R., Camarero, J.J., Corcuera, L., Sisó, S., Gil-Pelegrín, E., 2004. Estrés hídrico: ecofisiología y escalas de la sequía. Ecología del bosque Mediterráneo en un mundo cambiante. Ed. Ministerio de Medioambiente, EGRAF,S.A. 163-190. ISBN: 84-8014-552-8.

Vasconcelos, T., Horn, A., Lieutier, F., Branco, M., Kerdelhué, C. 2006. Distribution and population genetic structure of the Mediterranean pine shoot beetle *Tomicus destruens* in the Iberian Peninsula and Southern France. *Agricultural and Forest Entomology* 8, 103–111.

7. ANNEXES

A. Mostreig i metodologia

B. Gràfics

A. Mostreig i metodologia

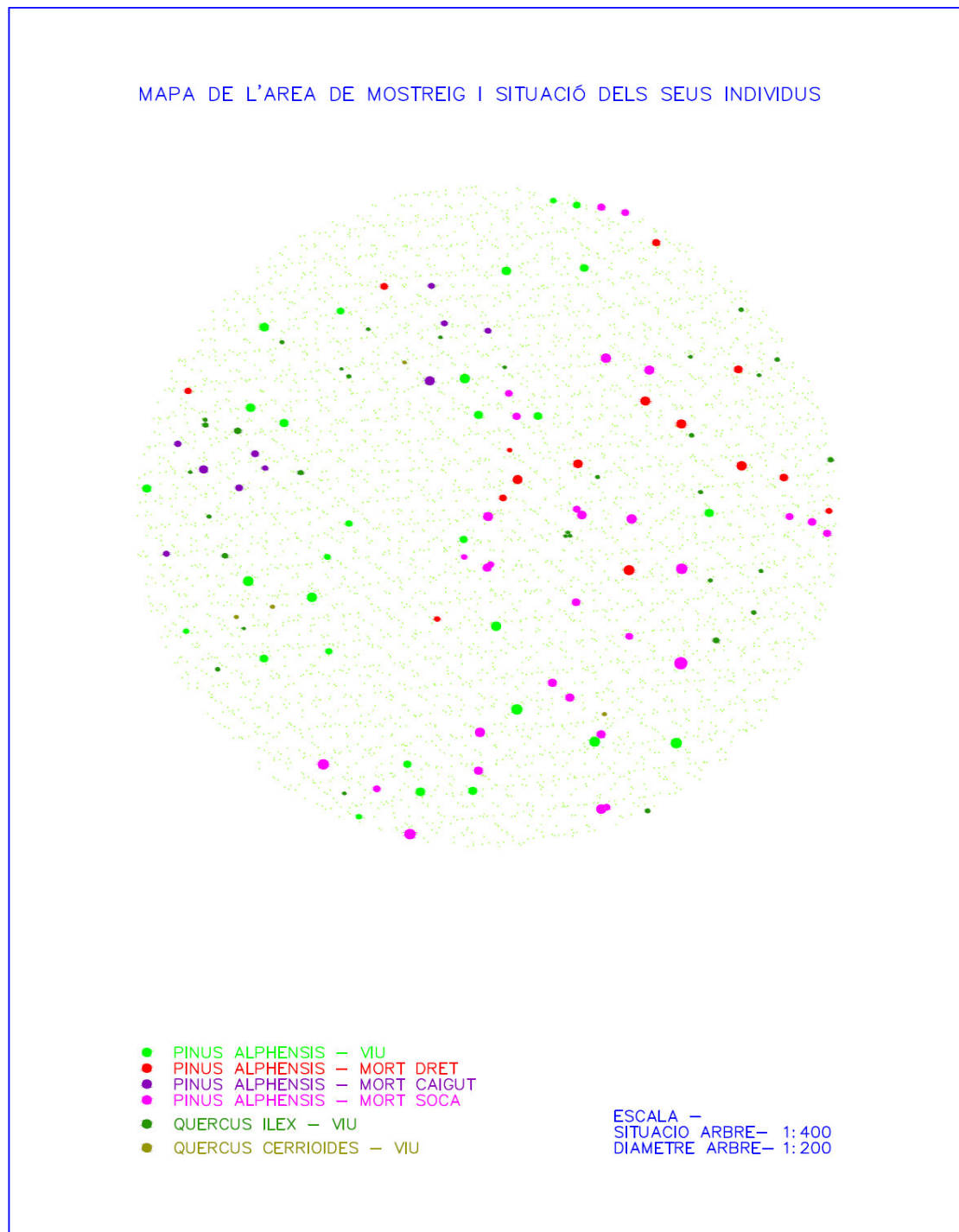


Figura 26: Disposició de tots els individus recopilats a l'àrea de mostreig. **Font:** pròpia



Figura 27. Extracció de cores amb la barrina.
(2 febrer del 2014)



Figura 28. Core apegat al suport i preparat per polir



Figura 29. Core en imatge informàtica



Figura 30. Conjunt de cores de l'estudi.



Figura 31. Exemple de cores infectats per fongs.

B. Gràfics

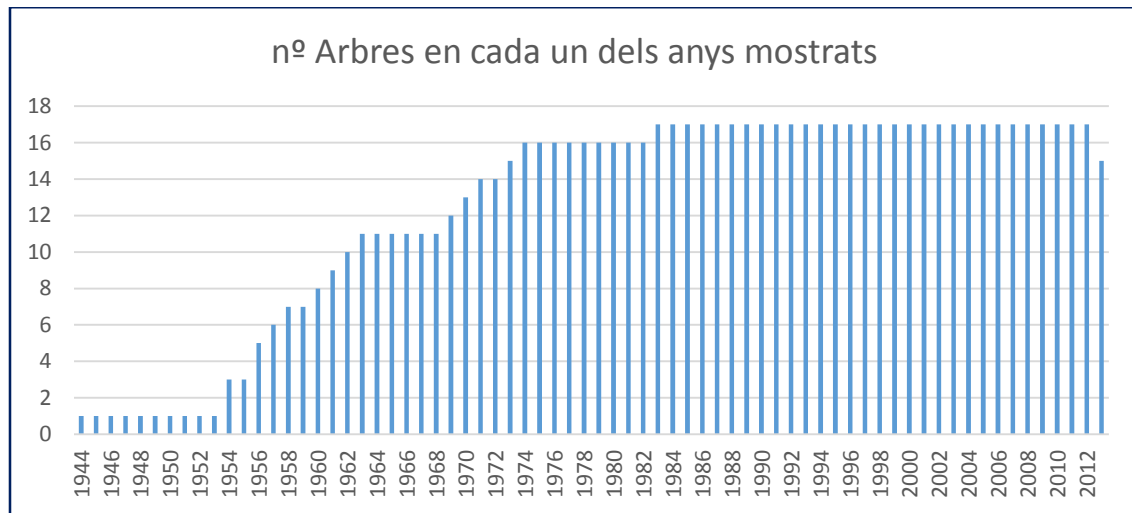


Figura 32: Nombre d'arbres utilitzats en l'anàlisi, presents en cadascun dels anys indicats.
Font: pròpia

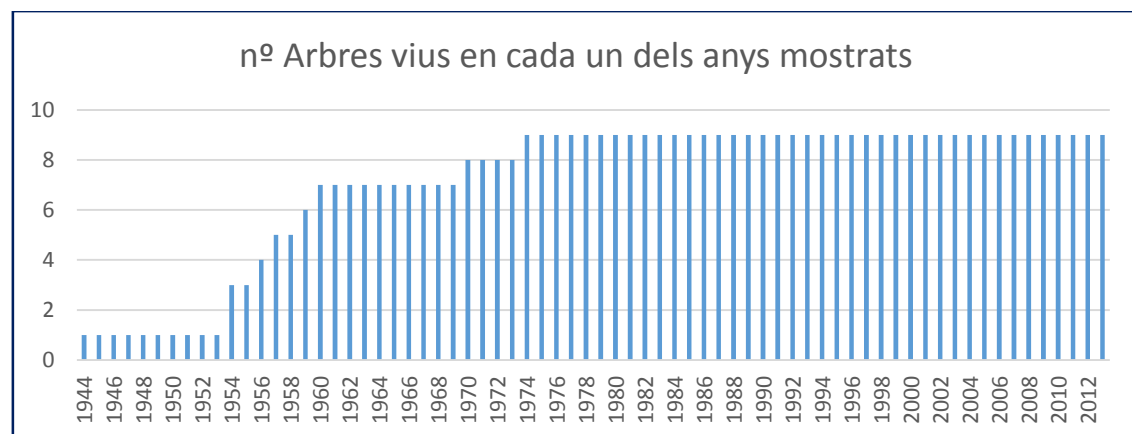


Figura 33: Nombre d'arbres vius utilitzats en l'anàlisi, presents en cadascun dels anys indicats.
Font: pròpia

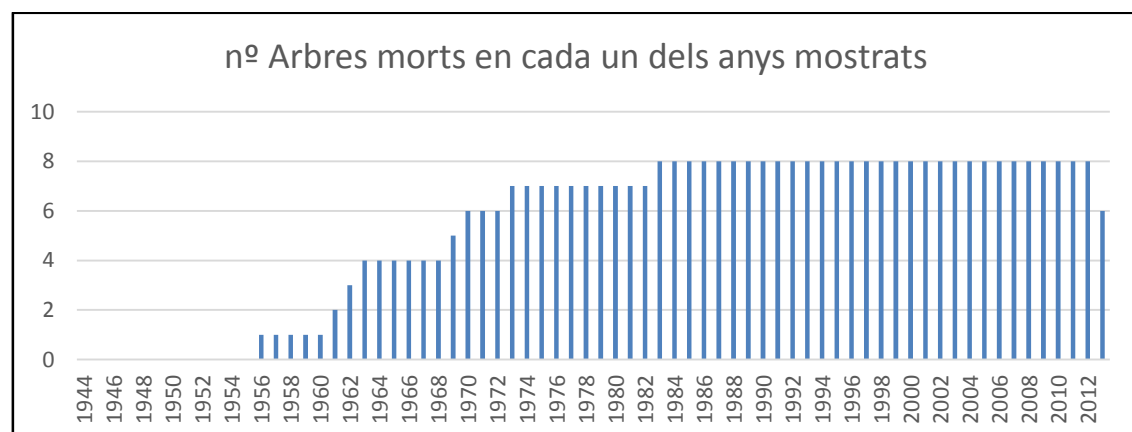


Figura 34: Nombre d'arbres morts utilitzats en l'anàlisi, presents en cadascun dels anys indicats.
Font: pròpia