

# Aproximació a la dinàmica successional de combustible en brolles mediterrànies

Eduard Pla Ferrer

Ferran Rodà

Universitat Autònoma de Barcelona. Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals  
08193 Bellaterra (Barcelona). Spain

Manuscrit rebut el març de 1999

## Resum

S'ha estudiat la dinàmica de combustible en brolles mediterrànies a partir d'una crono-seqüència de tres incendis de 3, 10 i 17 anys al Baix Camp (Tarragona). S'ha recol·lectat la biomassa aèria en 8 quadrats de 9 m<sup>2</sup> per incendi, distribuïts en vessants nord i sud. Al laboratori s'han determinat diferents paràmetres estructurals (mort/viu i classes de gruixària) i funcionals (producció de brots) de la comunitat. Els resultats han mostrat les tendències principals en la dinàmica d'aquestes comunitats en relació al risc d'incendi. No s'han observat diferències significatives entre les càrregues de combustible recollides en diferents orientacions per a un mateix incendi. La taxa d'acumulació de combustible és més elevada en els períodes inicials de la successió i s'atenua en els períodes posteriors, coincidint amb la presència d'un nombre major d'espècies arbustives però amb clara dominància del garric (*Quercus coccifera*). També s'ha observat una estabilització de la biomassa foliar de la comunitat. L'increment de les diferents fraccions de material arbustiu viu i mort i del combustible herbaci condiciona l'augment del risc d'incendi amb l'edat regenerativa de la brolla. Finalment, s'ha utilitzat el sistema BEHAVE de simulació d'incendis forestals per avaluar quantitativament el risc associat a cada escenari regeneratiu.

**Paraules clau:** biomassa aèria, BEHAVE, risc d'incendi, ecologia del foc, combustible, matollars mediterranis, incendi forestal.

## Abstract. Successional fuel dynamics in a Mediterranean shrubland

Successional changes of some structural and functional properties related to fire behaviour in a Mediterranean shrubland were studied through a wildfire chronosequence, which comprised fires of 3, 10 and 17 years of regenerative age in southern Catalonia. Aerial biomass has been collected from 8 plots of 9m<sup>2</sup> for each fire. Plots were located on south and north-facing slopes. Laboratory processing of plant material has allowed to determine structural (diameter classes and dead to live ratio) and functional (leaves and twigs production) community parameters. No significant differences between fuel loads in opposite slopes for the same fire have been found. The fuel accumulation rate was higher in the early successional stages than in the mature ones where it has also been observed dominance of kermes oak (*Quercus coccifera*). Leaf biomass reaches a steady state in the intermediate successional period, earlier than total biomass. The increase in the different components of fuel complex (fine materials and dead fuel) determines the incre-

ase of fire hazard with the regenerative age of the shrubland. Finally, the BEHAVE fire simulation system has been used to evaluate, in a quantitative way, the fire risk related to fuel dynamics.

**Key words:** Aerial biomass, BEHAVE, Fire risk, Fire ecology, Fuel complex, Mediterranean shrublands, Successional changes, Wildfire.

---

## Introducció

Les característiques climàtiques i de la vegetació dels ecosistemes mediterranis han fet del foc un factor ecològic rellevant en la major part de les regions mediterrànies, per bé que no pas exclusiu. A la conca mediterrània, l'augment en les darreres dècades de la incidència dels incendis forestals en nombre, àrea i freqüència (Piñol et al., 1998) ha fet que esdevinguin una de les principals problemàtiques socioecològiques en moltes zones d'aquesta regió (Folch, 1996). Els episodis dels estius de 1994 i 1998 als Països Catalans i a d'altres indrets de l'àrea mediterrània ibèrica han posat de manifest l'abast de la problemàtica i la necessitat prioritària de respostes en diferents àmbits relacionats amb la recerca en ecologia del foc.

A més dels factors ambientals (climatològics i topogràfics) relacionats amb el risc d'incendi, cal prendre en consideració els factors biòtics, és a dir, les característiques de la vegetació que es relacionen amb la seva susceptibilitat al foc. Les propietats combustibles de la vegetació determinen si el material vegetal cremarà i de quina manera. L'estructura, la disposició espacial, les característiques físiques i la composició química dels materials vegetals intervenen en la inflamabilitat (la capacitat de prendre flama) i la combustibilitat (facilitat per cremar desprenent energia i consumint-se).

Les propietats físiques i estructurals del combustible (tant a nivell de partícula com del conjunt de la comunitat) determinen en gran mesura la probabilitat d'ignició i el comportament del foc. En relació amb les partícules a nivell d'individu (com les fulles o altres parts de la planta), els paràmetres determinants en són la relació superfície/volum o bé la densitat del material. Pel que fa al conjunt de combustible a nivell de coberta interessa conèixer paràmetres com la càrrega de combustible (fitomassa aèria), la relació de material viu i mort, la distribució del material per fraccions de gruixària, la porositat i la continuïtat horitzontal i vertical del combustible (Pyne, 1984; Papió i Trabaud, 1990; Bond i van Wilgen, 1996).

Les característiques morfològiques i fisiològiques de moltes espècies llenyoses mediterrànies (contingut hídric relativament baix, alt contingut en resines, greixos i substàncies volàtils, elevada relació superfície/volum de fulles i tiges, presència d'elements morts en capçada, etc.) les fan especialment susceptibles als incendis. A més, moltes de les formacions mediterrànies presenten una neta continuïtat en l'espai, tant vertical com horitzontal (Sabaté, 1986; Sala, 1986; Sala et al., 1987).

Les comunitats arbustives mediterrànies sovint s'han trobat força exposades a un règim històric de perturbacions marcat per la recurrència i, en el cas del foc, condicionat pels nivells d'acumulació de combustible. Aquesta dinàmica determina l'establiment de cicles relativament curts on la composició específica de la comunitat es modifica relativament poc (Hanes, 1971). Aquest procés d'autosuccessió està força estudiat i documentat en diferents contextos (Franquesa, 1989; Trabaud, 1994). A la península Ibèrica, formacions arbustives pròpies d'estadis inicials de la successió han esdevingut un component important del paisatge com a resultat del canvi d'usos del sòl o l'augment de la freqüència d'incendis (Le Houérou, 1987; Masalles i Vigo, 1987; Lloret, 1998).

La caracterització de les comunitats vegetals segons les seves propietats estructurals ha conduït a la definició de models de combustible, atenent a les diferents tipologies de vegetació (Rothermel, 1983). L'ús d'aquest tipus d'aproximacions han anat associades a sistemes de simulació d'incendis forestals com BEHAVE (Rothermel, 1983; Burgan i Rothermel, 1984; Andrews, 1986; Andrews i Chase, 1989). La dinàmica de les característiques estructurals de la vegetació al llarg del temps, poden fer que models associats a nivells amb baix risc d'incendi evolucionin cap a nivells d'alt risc. Aquí neix la necessitat d'estudiar els canvis d'aquestes propietats estructurals amb el temps.

L'estudi de la dinàmica de combustible s'ha desenvolupat en algunes formacions arbustives mediterrànies, com el *chaparral* californià (Rothermel i Philpot, 1973) o el *fyndos* sud-africà (van Wilgen et al., 1992). Per a ecosistemes arbustius de la conca mediterrània es disposa de certa informació referent als efectes de l'edat regenerativa en els canvis estructurals i la seva relació amb el risc d'incendi, tasca que s'ha anat desenvolupant en formacions com la garriga (Trabaud i Papió, 1987) o l'argelagar d'*Ulex parviflorus* (Baeza et al., 1998), però que resulta encara insuficient per al desenvolupament de models de dinàmica de combustible en aquest tipus de comunitats.

Recollint aquests precedents, els objectius proposats en aquest treball són els següents:

- Comparar les característiques estructurals d'aquestes comunitats en diferents situacions topogràfiques (orientació).
- Estudiar la dinàmica successional de les seves característiques estructurals i funcionals a partir de la comparació d'una cronoseqüència d'incendis.
- Utilitzar el sistema BEHAVE de simulació d'incendis forestals a fi d'avaluar l'increment del risc d'incendi al llarg de la successió després del foc i determinar els estadis de desenvolupament de la vegetació que s'associen a situacions de risc potencial més elevat.

## Material i mètodes

### Àrea d'estudi

El treball s'ha desenvolupat a partir de l'estudi de brolles litorals calcícoles pertanyents a una cronosequència d'incendis ubicats a la part baixa de les serres litorals del sud de Catalunya. Aquestes formacions s'inclouen fitosociològicament dins l'aliança *Rosmarino-Ericion*. Constitueixen bosquines termòfiles perennifòlies integrades bàsicament per petits arbustos, majoritàriament esclerofil·les. Es tracta de bosquines secundàries en el país de les màquies litorals de garric i margalló (Folch, 1981), força esteses en el litoral meridional català. Són comunitats diverses sovint dominades per romaní (*Rosmarinus officinalis*) i bruc d'hivern (*Erica multiflora*) amb presència d'altres espècies que com el garric (*Quercus coccifera*) poden esdevenir dominants en alguns casos. Poden presentar un estrat herbaci notable sota els arbustos i, sovint, van acompanyades d'un estrat arbori de pi blanc (*Pinus halepensis*). Cal destacar en aquest tipus de comunitats la presència d'espècies característiques i distintives d'aquest context meridional mediterrani com l'esteperola (*Cistus clusii*) i l'albada (*Anthyllis cytisoides*), entre d'altres. La presència de virosta és poc significant en aquest tipus de formacions.

L'àrea d'estudi s'ha localitzat principalment a la comarca del Baix Camp (Tarragona), en zones d'elevada recurrència d'incendis forestals. A partir del registre d'incendis forestals proporcionat pel Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca de la Generalitat de Catalunya, l'ús de fotointerpretació i la recopilació del treball fet al CREAM per R. Díaz-Delgado, X. Pons, R. Salvador i J. Valeriano, s'han escollit tres incendis de 3, 10 i 17 anys d'edat respectivament. S'ha procurat que les tres àrees de brolla incloses en la cronosequència presentin les màximes similituds en les condicions climatològiques, litològiques i en el tipus de vegetació.

Les zones estudiades presenten un clima termomediterrani, d'hivern suau i de períodes eixuts de llarga durada. Les mitjanes anuals de temperatura se situen entorn els 15 i 16°C i els totals anuals de precipitació vora els 500 mm (Generalitat de Catalunya, 1997). El vent pren molta importància, especialment a les planes i vessants litorals. La intensitat i freqüència del mestral (NW) és força elevada en aquestes zones, fet que fa augmentar els índexs d'ariditat (Folch, 1980).

La litologia de les zones és formada per roques calcàries i dolomies del triàsic i el juràssic (IGME, 1980, 1981). Els sòls són prims per efecte de l'erosió o del poc desenvolupament.

Per cada incendi s'han localitzat dos vessants, un solell i l'altre obac. S'ha procurat situar les zones mostrejades a mig vessant, en pendents el més comparables possible. Els pendents dels vessants a les tres zones d'estudi han quedat compresos entre els 13° i els 20°. Aquests vessants no presenten indicis d'haver estat conreats en el passat, però no es descarta un antic ús pastoral. Actualment, l'ús predominant en els vessants estudiats és la caça.

En totes les zones, la vegetació abans dels incendis que les van afectar era

constituïda per bosc de pi blanc (*Pinus halepensis*). La regeneració natural del pi en aquestes zones després del foc ha estat pràcticament nul·la o escassa. El mostreig, doncs, s'ha centrat en l'estudi de brolles no arbrades i d'aquesta manera s'ha exclòs la incorporació de factors relacionats amb la presència de l'estrat arbori.

Zona 1: incendi del març de 1995. Desdoblament de l'antiga N-340-Collet del Vent. Municipi de Vandellòs i l'Hospitalet de l'Infant. Coordenades UTM (318485,4535227). Altituds: 130 m (solell) i 100 m (obaga). Brolla poc desenvolupada amb presència abundant d'individus cremats en peu.

Zona 2: incendi de l'agost de 1988. Zona del Cocó d'en Jaume. Municipi de Pratdip. Coordenades UTM (324856,4547328). Altituds: 220 m (obaga) i 180 m (solell).

Zona 3: incendi del desembre de 1981. Zona dels vessants de Mas del Frare-Costers Rojals-Serra de la Pedrera. Municipi de Mont-roig del Camp. Coordenades UTM (325786,4549895). Altituds: 230 m (obaga) i 240 m (solell).

A la taula 1 es recullen els recobriments i les alçàries màximes mitjanes de la vegetació en els diferents vessants de les zones d'estudi.

### Metodologia de camp

Per a cada incendi estudiat i, dins d'aquest, en dues posicions contrastades de solell i obaga, s'han definit aleatòriament 4 quadrats de  $3 \times 3 \text{ m}^2$ . En total, han estat 8 quadrats per incendi, 4 per cada orientació. Als quadrats definits s'ha dut a terme un mostreig destructiu precedit de l'avaluació de recobriments i alçàries de les espècies presents a partir del mètode de transecte *point quadrat* (Smith, 1990).

S'ha tallat arran de sòl tota la fitomassa i s'ha separat per espècies. Els peus morts s'han inclòs en una sola categoria, sense diferenciar espècies. Posteriorment, s'ha pesat la biomassa aèria de cada quadrat amb un dinamòmetre, obtenint-ne

**Taula 1.** Recobriments i alçades màximes mitjanes de la vegetació en els vessants de les tres zones d'estudi. Mitjana  $\pm$  error estàndard.\*

	Recobriment (%)		Alçada màxima (cm)	
	solell	obaga	solell	obaga
<b>Zona 1.</b> Incendi de 1995.				
Vandellòs	79.0 $\pm$ 3.9 <sup>a</sup>	64.2 $\pm$ 4.1 <sup>b</sup>	16.4 $\pm$ 1.1 <sup>c</sup>	17.4 $\pm$ 0.8 <sup>c</sup>
<b>Zona 2.</b> Incendi de 1988.				
Pratdip	91.2 $\pm$ 3.5 <sup>a</sup>	88.0 $\pm$ 0.8 <sup>a</sup>	26.5 $\pm$ 1.8 <sup>c</sup>	22.4 $\pm$ 0.8 <sup>c</sup>
<b>Zona 3.</b> Incendi de 1981.				
Mont-roig del Camp	96.7 $\pm$ 1.1 <sup>a</sup>	93.5 $\pm$ 1.0 <sup>a</sup>	45.2 $\pm$ 6.4 <sup>c</sup>	39.9 $\pm$ 2.4 <sup>c</sup>

\* Els nombres d'una mateixa fila (d'un mateix incendi) seguits de lletres diferents indiquen diferències significatives ( $p < 0.05$ ) entre vessants.

el pes fresc (PF) per categoria. De cada categoria se n'ha separat per quarteig una alíquota representativa per a ser processada al laboratori.

El treball de camp s'ha fet durant els mesos de juliol i agost de 1998.

### *Metodologia de laboratori*

En fresc, se separa per cada alíquota el material viu del mort. De la part viva se'n separen els brots amb fulles (es designen indistintament com a *brots verds*). S'identifiquen les brotades de l'any per a les espècies on és identificable de la resta de brotades.

El material mort es distribueix en diferents fraccions de mides (segons el diàmetre):  $\phi < 6\text{mm}$  (combustible fi amb un *temps de retard* d'1 hora),  $6\text{mm} \geq \phi < 25\text{mm}$  (de 10 hores),  $25\text{mm} \geq \phi < 75\text{mm}$  (de 100 hores). El terme *temps de retard* (Byram, 1963) es relaciona amb el temps necessari perquè els combustibles estabilitzin el seu contingut d'humitat amb la humitat atmosfèrica, i presenta una relació directa amb el diàmetre, de manera que s'usen de forma equivalent. El material viu s'ha distribuït segons les mateixes classes diamètriques que el mort:  $\phi < 6\text{mm}$  (combustible viu fi), de  $6\text{mm} \geq \phi < 25\text{mm}$  i de  $25\text{mm} \geq \phi < 75\text{mm}$ . Si bé els *brots verds* pertanyen pel seu gruix a la categoria de combustible viu fi, s'han considerat separatament perquè aporten una informació més detallada de la comunitat a nivell funcional.

Cada fracció de material diferenciat s'asseca a l'estufa (105 °C durant 24h) i es pesa en sec. Dels brots, se'n separen les fulles de les tiges i se'n mesura també el pes sec (PS), un cop assecats.

Per a les espècies en les quals no ha estat possible la identificació de les brotades de l'any (menys del 20% de la biomassa recollida en cada quadrat) s'han aplicat les proporcions mitjanes entre brots de l'any i brots anteriors obtingudes per a les altres espècies.

Els procediments anteriors s'han aplicat a les espècies arbustives.

Tot el material herbaci s'ha tractat com una sola categoria sense diferenciar viu i mort. En el moment que es va fer el mostreig, la major part del material herbaci era mort i les espècies dominants eren, amb diferència, el llistó (*Brachypodium retusum*) i la jonça (*Aphyllantes monspeliensis*).

El contingut hídric, en percentatge, es calcula a partir de:

Contingut hídric (%) =  $((\text{PF}-\text{PS})/\text{PF}) \cdot 100$  sobre el pes fresc, i

Contingut hídric (%) =  $((\text{PF}-\text{PS})/\text{PS}) \cdot 100$  sobre el pes sec.

En el nostre cas s'ha calculat a partir del pes fresc, per bé que sovint s'avalua sobre el pes sec.

### **Aplicació del sistema BEHAVE**

Les dades obtingudes s'han utilitzat per a l'aplicació d'un model de simulació d'incendis forestals. El sistema BEHAVE és capaç de simular el comportament del foc en una zona homogènia, a partir dels factors principals que intervenen en la seva propagació: el tipus de vegetació, el contingut d'humitat de la vegetació,

les condicions meteorològiques i les característiques topogràfiques de la zona (pendent). Per fer-ho, el sistema incorpora 13 models de vegetació estàndard que abasten la majoria de tipologies de vegetació presents als Estats Units, per bé que permet la creació de nous models per part de l'usuari a partir del programa NEWMDL. El programa permet la definició dels valors inicials dels paràmetres del model de combustible. El procediment general en l'ús de NEWMDL és, per a cada nou model de combustible, el següent:

- Establiment de la càrrega de combustible i el gruix dels seus components estructurals (fullaraca, estrat herbaci, arbustos i restes de tala).
- Assignació de les relacions superfície/volum dels components.
- La definició del contingut calorífic del combustible.

Les càrregues de combustible mitjanes per a cada incendi, els gruixos i recobriments dels components principals del complex de combustible (estrat herbaci i arbusti) s'han obtingut de la informació recollida al camp. De les càrregues de material arbusti, BEHAVE només preveu, a més del material mort fi i gruixut, el material fi viu pertanyent a fulles i brots ( $\phi < 6\text{mm}$ ). La resta de combustible viu de més gruix no es pren en consideració a l'hora de caracteritzar les propietats combustibles de la formació estudiada. Cal precisar que en la definició dels models no s'han tingut en compte les categories referents a la virosta ni a restes de poda o tala (*slash*).

Les relacions superfície/volum del material combustible i el seu contingut calorífic no s'han avaluat directament i s'han derivat de la bibliografia existent i els seus valors s'han assumit constants en els tres contextos modelats. Les relacions superfície/volum varien en funció del tipus de material i si d'aquest és viu o mort. Per al material herbaci mort s'ha pres una relació de  $100\text{ cm}^{-1}$  i per al viu de  $80\text{ cm}^{-1}$  (Burgan i Rothermel, 1984). Per al component arbusti, aquestes relacions s'han establert de  $60\text{ cm}^{-1}$  per a la fracció morta i de  $45\text{ cm}^{-1}$  per a la viva (Burgan i Rothermel, 1984; Papió, 1994). El contingut calorífic mig per a la brolla s'ha fixat en  $20\text{ kJ/g}$ , valor força comú entre els citats per a espècies i comunitats arbustives mediterrànies (Burgan i Rothermel, 1984; Pereira et al., 1995).

Tota aquesta informació ha conduït a la definició de tres models de combustible (14, 15 i 16) corresponents a les tres edats regeneratives de les brolles estudiades. Els models creats són del tipus estàtic i descriuen la vegetació considerant les condicions que presenta la vegetació en l'època de mostreig (especialment pel que fa a les relacions entre la fracció viva i morta de l'estrat herbaci). S'ha considerat que durant el període estival estudiat, el 15% de l'estrat herbaci és viu.

S'ha simulat el comportament del foc en les comunitats modelades en situacions d'elevat risc d'incendi (sequera estival). La humitat del combustible considerada ha estat de 12% d'humitat del combustible mort i 50% en el fi viu. S'ha utilitzat una velocitat de vent de  $40\text{ km/h}$  i un pendent del vessant del 40%. Les condicions topogràfiques i d'exposició al vent són força representatives dels vessants mostrejats de les zones d'estudi.

## Resultats

### *Càrregues de combustible*

En el treball de camp s'ha avaluat la càrrega de combustible a nivell de comunitat, és a dir, la quantitat de fitomassa aèria (expressada en PS per unitat de superfície) de cada situació analitzada. En cada incendi i per a cada vessant s'ha fet la mitjana de les càrregues de combustible dels quatre quadrats (taula 2). En cinc de les sis situacions mostrejades, l'error estàndard de la fitomassa aèria, expressat com a percentatge de la mitjana, és inferior al 10%. En el cas restant (obaga de l'incendi de 17 anys) arriba al 19%, que s'ha considerat acceptable per als objectius proposats. Les càrregues mitjanes de combustible han oscil·lat entre 4.0 i 13.5 t/ha en les diferents situacions mostrejades.

En els incendis de 1988 (Pratdip) i 1981 (Mont-roig) les mitjanes de càrrega de combustible són majors en els vessants obacs que a les solanes; l'incendi de 1995 (Vandellòs) mostra la tendència inversa. Una ANOVA de les càrregues de combustible amb 2 factors (orientació i edat postincendi) i efectes fixos, ha permès determinar que no hi ha diferències estadísticament significatives degudes al factor orientació ( $F_{1,18,0.05} = 0.09$ ,  $P = 0.76$ ) mentre que l'efecte de l'edat regenerativa és altament significatiu ( $F_{1,18,0.05} = 23.85$ ,  $P < 0.0001$ ). Aquest fet ha permès agregar les dades corresponents als dos vessants en una sola categoria referent a l'any d'incendi.

Les dades de càrrega de combustible al llarg de la cronosequència proporcionen informació de la tendència en l'acumulació de fitomassa aèria al llarg de la successió (figura 1). L'incendi de 1995 va deixar, com a mínim, 1 t/ha d'individus cremats morts en peu, i s'ha pres aquest valor com a càrrega inicial just després del foc. La corba resultant es podria ajustar a una tendència logarítmica, amb un període inicial de creixement més elevat i una estabilització posterior, tot i que en el període abastat pels incendis mostrejats (3-17 anys) la càrrega augmenta linealment. En el període dels 0 als 3 anys després del foc l'increment de fitomassa aèria se situaria entorn a 1.2 t/ha/any, mentre que decreix fins a poc més de 0.5 t/ha/any en el període entre 3 i 17 anys després del foc.

**Taula 2.** Càrregues de combustible (t/ha) per cada quadrat de mostreig en cada incendi i orientació (N i S).

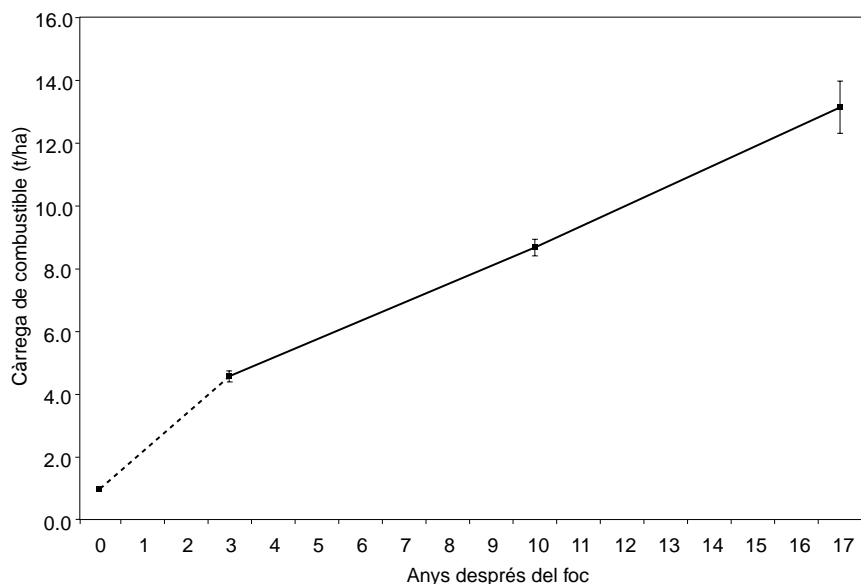
	Vandellòs 1995/N	Vandellòs 1995/S	Pratdip 1988/N	Pratdip 1988/S	Mont-roig 1981/N	Mont-roig 1981/S
quadrat 1	3.89	5.41	7.56	6.94	9.26	12.03
quadrat 2	4.01	4.67	9.90	8.65	12.44	9.69
quadrat 3	3.31	5.37	8.73	8.01	21.01	14.45
quadrat 4	4.79	5.25	11.33	8.32	11.07	14.79
<b>mitjana</b>	<b>4.00</b>	<b>5.17</b>	<b>9.38</b>	<b>7.98</b>	<b>13.45</b>	<b>12.74</b>
error estàndard	0.30	0.17	0.81	0.37	2.60	1.19



### *Distribució de la biomassa aèria en fraccions*

Pel que fa a les distribucions de mides de la càrrega de combustible, els resultats s'han agrupat segons les categories determinades al laboratori (taula 3). A l'incendi més recent (3 anys), la fracció predominant correspon als brots verds seguida de la resta de material fi viu ( $\phi < 6\text{mm}$ ) i el combustible herbaci. Aquesta pauta de distribució de la càrrega en les diferents fraccions es manté força similar en l'incendi intermedi (10 anys) pel que fa a les dues fraccions principals, per bé que s'observa una baixada molt important del pes relatiu dels brots verds respecte a la resta de fi viu ( $\phi < 6\text{mm}$ ). El percentatge de combustible herbaci ja no és tan elevat com en l'incendi de 1995, i la seva quantitat es veu superada pel material viu més gruixut ( $6\text{mm} \geq \phi < 25\text{mm}$ ). L'incendi més antic (17 anys) mostra una distribució de la càrrega substancialment diferent a les anteriors. La fracció predominant correspon al material fi viu sense fulla, seguit del material viu gruixut i dels brots verds.

El seguiment dels canvis en les quantitats i proporcions de les fraccions al llarg de la cronoseqüència pot ajudar a entendre la dinàmica successional de la brolla. A la figura 2 es desglossa la biomassa de brots verds en la quantitat corresponent als brots de l'any i la resta de brotades anteriors, en els tres incendis. La biomassa corresponent als brots de l'any oscil·la entre 0.74 t/ha a 2 t/ha en els tres incendis. La biomassa de brots verds presenta el seu màxim increment en el



**Figura 1.** Corba d'acumulació de la càrrega de combustible al llarg de la cronoseqüència (mitjana  $\pm$  error estàndard) i significació ( $p < 0.05$ ). Lletres diferents equivalen a diferències significatives.

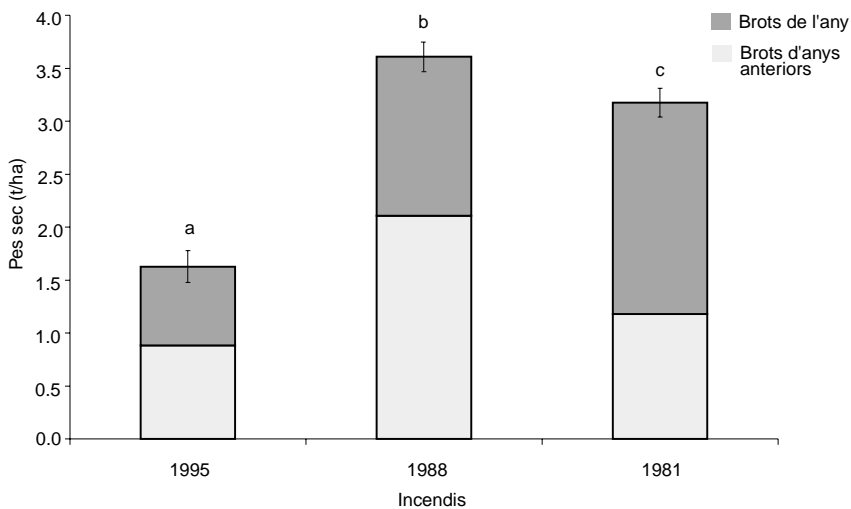
període comprès entre els incendis de 3 a 10 anys (de 1.6 a 3.6 t/ha). És en aquest darrer incendi on s'observa el màxim d'aquesta fracció. L'incendi de 17 anys mostra una lleu però significativa davallada respecte a l'incendi de 10 anys (figura 2). Aquest patró també s'observa en el desglossament d'aquests brots en fulles i tiges, on és constatable una proporció semblant entre la biomassa foliar i la de tiges en els brots de les espècies estudiades en els tres incendis. Aquesta relació se situa entre 3 i 4 per als diferents incendis (figura 3). La biomassa foliar oscil·la entre 1.3 t/ha i 2.5 t/ha en les tres situacions estudiades.

Pel que fa a la resta de biomassa viva de la comunitat, les dues categories de gruix ( $\varnothing < 6\text{mm}$ ,  $6\text{mm} \geq \varnothing < 25\text{mm}$ ) presenten una pauta clarament creixent. En els incendis de 3 i 10 anys hi ha una predominança de la biomassa fina en detriment de les fraccions més gruixudes. Aquesta predominança es redueix en l'incendi de 17 anys, on aquestes diferències tendeixen a igualar-se amb un lleuger predomini del material fi (figura 4).

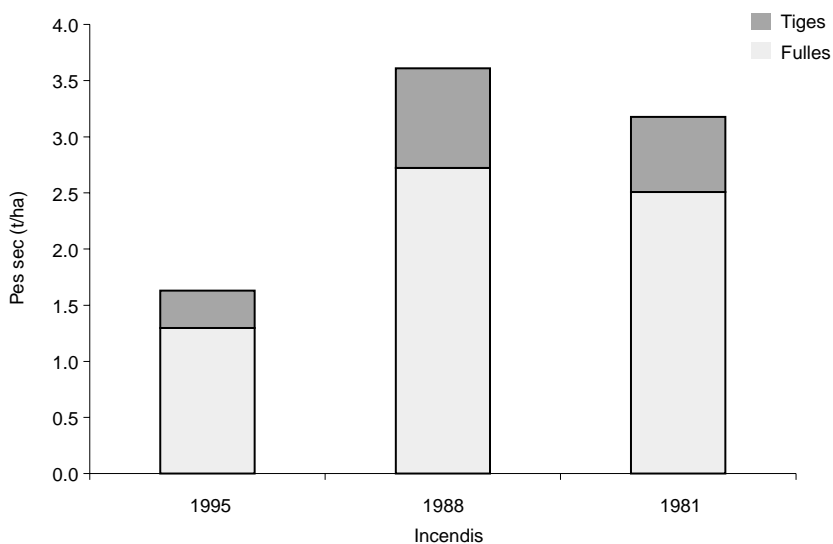
El material mort segueix una dinàmica diferent que el viu, i s'observen també diferències notables entre les fraccions de mida (figures 5 i 6). Cal precisar que aquesta categoria inclou tant els individus morts en peu com les parts mortes dels individus vius recollits. El material mort fi (1h) presenta unes quantitats força estables en els primers períodes estudiats (incendis de 3 i 10 anys), però es dispara en l'incendi de 17 anys, doblant-se respecte a l'incendi intermedi (10 anys). El material mort de més gruix mostra un comportament gairebé invers i unes càrregues inferiors respecte al combustible mort d'1h. Presenta la seva càrrega màxima en els primers anys després de l'incendi. En l'incendi de 10 anys aquesta quantitat disminueix a valors molt inferiors als recollits a l'incendi de 3 anys i s'incrementa, per bé que sense significació estadística, als 17 anys. És molt important destacar, tal com apareix amb detall a les figures 5 i 6, que els valors de combustible mort recollits als 3 anys corresponen, gairebé totalment, a peus morts cremats a l'incendi i que encara romanen en peu. Per al combustible mort d'1h, la fracció de material cremat equival a gairebé el 90% del total recollit per aquesta categoria (0.63 t/ha). Per al combustible mort de 10h, aquesta fracció co-

**Taula 3.** Mitjanes (en t/ha) i error estàndard per les fraccions de la càrrega de combustible en els diferents incendis mostrejats.

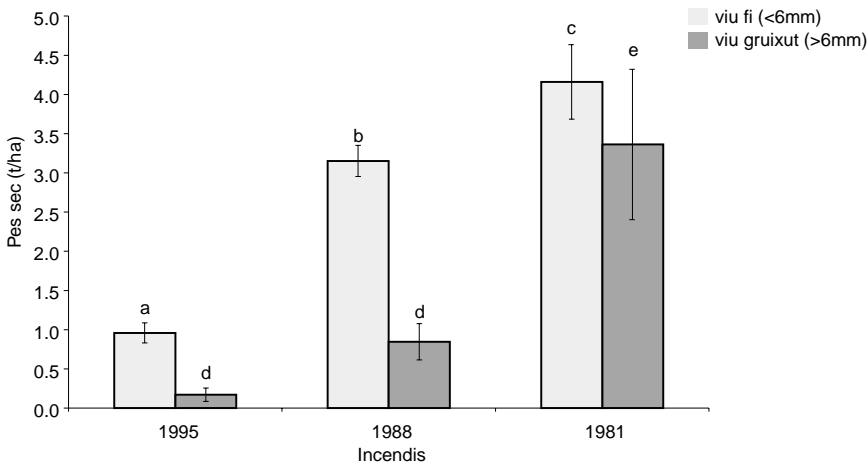
Arbustiu	Incendi 1995		Incendi 1988		Incendi 1981	
	mitjana	EE	mitjana	EE	mitjana	EE
Brots verds (inclou fulles)	<b>1.63</b>	0.15	<b>3.61</b>	0.14	<b>3.18</b>	0.14
Resta de viu fi ( $\varnothing < 6\text{mm}$ )	<b>0.96</b>	0.13	<b>3.15</b>	0.20	<b>4.16</b>	0.48
Viu ( $6\text{mm} \geq \varnothing < 25\text{mm}$ )	<b>0.17</b>	0.08	<b>0.85</b>	0.23	<b>3.36</b>	0.96
Mort 1h	<b>0.63</b>	0.13	<b>0.46</b>	0.05	<b>1.38</b>	0.24
Mort 10h	<b>0.44</b>	0.12	<b>0.05</b>	0.04	<b>0.28</b>	0.16
Complex herbaci	<b>0.76</b>	0.13	<b>0.56</b>	0.12	<b>0.74</b>	0.15
<b>Total</b>	<b>4.59</b>	0.12	<b>8.68</b>	0.26	<b>13.15</b>	0.83



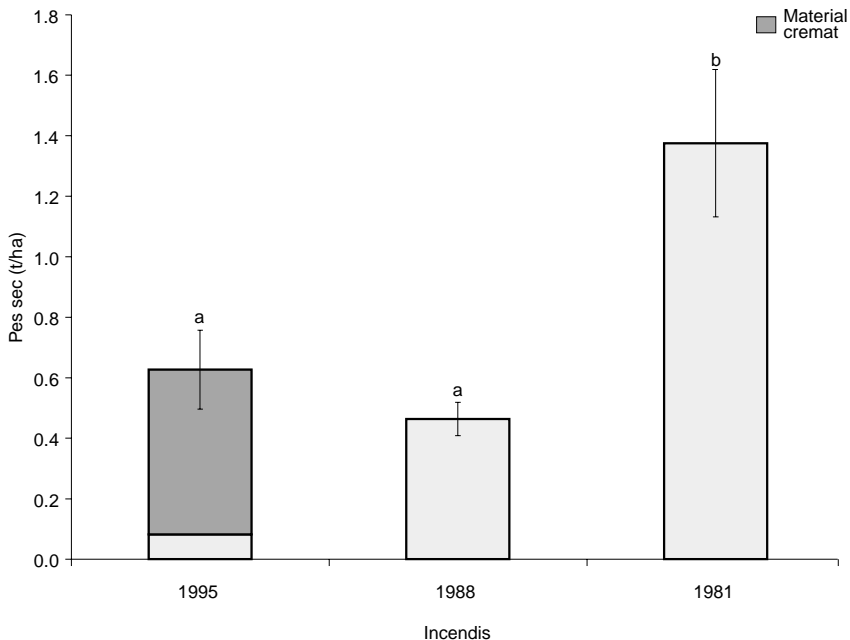
**Figura 2.** Distribució de la biomassa arbustiva de brots verds en brots de l'any i brotades anteriors. Les barres d'error estàndard i la significació estadística ( $p < 0.05$ ) es refereixen a les mitjanes del conjunt de brots verds. Lletres diferents indiquen diferències significatives.



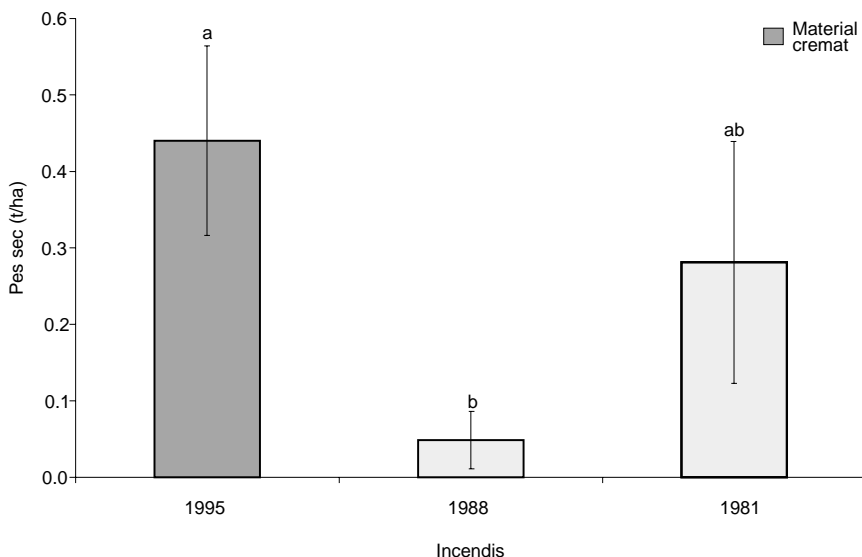
**Figura 3.** Distribució de la biomassa arbustiva de brots verds en fulles i tiges.



**Figura 4.** Biomassa aèria arbustiva viva fina de  $\varnothing < 6\text{mm}$  (sense incloure els brots verds) i gruixuda ( $6\text{mm} \geq \varnothing < 25\text{mm}$ ). Mitjana  $\pm$  error estàndard i significació ( $p < 0.05$ ). Lletres diferents dins d'una mateixa sèrie (categoria) indiquen diferències significatives.



**Figura 5.** Biomassa aèria arbustiva morta d'1h. La fracció tramada correspon a material cremat mort en peu. Mitjana  $\pm$  error estàndard i significació ( $p < 0.05$ ). Lletres diferents indiquen diferències significatives.



**Figura 6.** Biomassa aèria arbustiva morta de 10h. La fracció tramada correspon a material cremat mort en peu. Mitjana  $\pm$  error estàndard i significació ( $p < 0.05$ ). Lletres diferents indiquen diferències significatives.

respon a la totalitat del material recollit (0.44 t/ha). En total, i com ja s'ha esmentat, gairebé 1 t/ha de la càrrega de la brolla de 3 anys és material cremat.

Quant al combustible herbaci, les càrregues tenen valors similars en els tres incendis sense presentar diferències significatives a nivell estadístic, i oscil·len entre el 17% de la càrrega total als 3 anys fins al 6% als 10 i 17 anys.

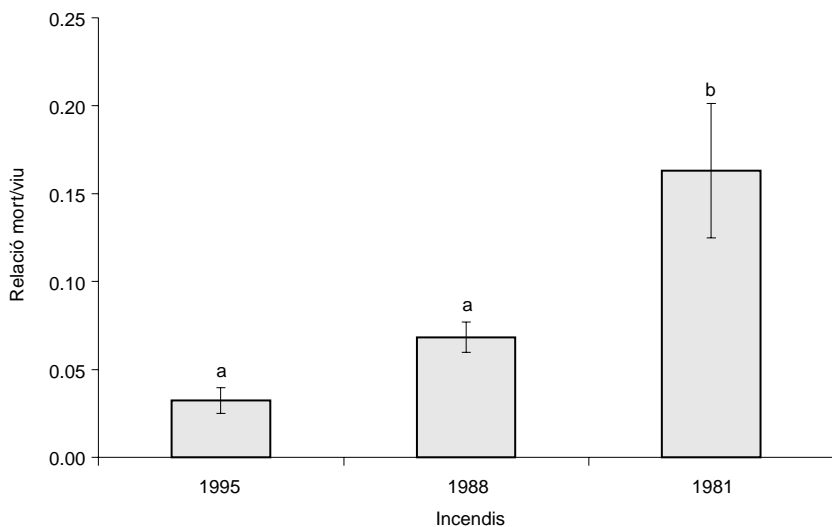
### *Relació mort/viu*

Un paràmetre utilitzat en la caracterització estructural de les formacions vegetals en relació amb el risc d'incendi és la relació mort/viu. A la figura 7 són observables les diferències d'aquest paràmetre en les tres edats i situacions estudiades. Per a l'incendi de 1995 no s'ha tingut en compte en la relació mort/viu la fracció cremada del material mort i, per tant, no s'ha representat la notable influència que als tres anys del foc té el material cremat que roman en peu. Si l'incloguéssim, obtindríem una relació mort/viu per a l'incendi de 1995 molt més elevada (0.45) que les obtingudes en els altres anys d'incendi estudiats. Així, tenint en compte aquesta consideració, la relació mort/viu mostra una tendència clarament creixent al llarg del període estudiat. Aquesta relació augmenta més del doble en el període comprès entre els 3 i els 10 anys (de 0.3 a 0.7) i també ho fa en el període següent dels 10 als 17 anys (de 0.7 a 0.16).

### Composició i propietats específiques

En aquest apartat, s'han ordenat les espècies en funció de la seva càrrega mitjana en cada vessant mostrejat. S'ha inclòs, també, el percentatge que cadascuna representa sobre el total de la càrrega, el percentatge acumulatiu i el contingut hídric de cada espècie (taules 4-9). Aquesta darrera informació és certament variable en funció de l'època de l'any i el moment del mostreig (especialment dels dies transcorreguts després de l'última pluja) (Viegas et al., 1998). Tanmateix, són observables tendències i diferències entre espècies, informació rellevant a l'hora de considerar la seva inflamabilitat i combustibilitat i la resposta de la comunitat. S'han inclòs tres categories no específiques: la d'*altres espècies arbustives*, la d'*estrat herbaci* (constituït principalment per *Brachypodium retusum* i *Aphyllantes monspeliensis*) i la d'*individus morts en peu*.

En línies generals, cal destacar que el garric (*Quercus coccifera*) és l'espècie amb més biomassa aèria en tots els vessants estudiats. La composició específica és força similar en tots els vessants, per bé que existeixen algunes espècies que no presenten correspondència en tots els vessants mostrejats. S'observen dues tendències principals en comparar les dades recollides per als



**Figura 7.** Relacions mort/viu en termes de biomassa aèria arbustiva per als diferents incendis. Per a l'any 1995 no s'hi ha inclòs el material mort cremat. Mitjana  $\pm$  error estàndard i significació ( $p < 0.05$ ). Les columnes amb lletres diferents són significativament diferents.

percentatges acumulats de càrrega de combustible. D'una banda, per a explicar la totalitat de la biomassa aèria (sense incloure els individus morts en peu) són necessàries més espècies-categories per a la brolla més antiga (10 espècies als 17 anys) que per a la brolla més jove (7 espècies als 3 anys). D'altra banda, als 17 anys la major part de la càrrega recau en una o molt poques espècies (només *Q. coccifera* ja explica més del 50% de la càrrega mitjana total) mentre que als 3 anys la major part de la càrrega es reparteix entre les espècies codominants. La brolla de 10 anys mostra una posició intermèdia en les dues tendències descrites.

Pel que fa al contingut hídic es poden diferenciar les espècies-categories en cinc grups principals (Papió, 1994). De primer, el material vegetal mort recollit en la categoria d'individus morts en peu, amb un contingut hídic molt baix normalment per sota del 15%. El segon grup és constituït per l'estrat herbaci que presenta un contingut hídic força baix en aquest mostreig estival (per sota del 30%). El tercer grup el formen les espècies arbustives amb continguts hídrics baixos, especialment a l'estiu, com *Genista scorpius* i *Ulex parviflorus*. El quart el conformen un seguit d'espècies de nivells intermedis de contingut hídic que varien entre el 30 i el 40%. El darrer grup està format per arbustos com *Pistacia lentiscus* que conserven un contingut hídic elevat (major del 40%) durant els períodes eixuts.

**Taula 4.** Incendi 1995. Vessant nord. Vandellòs.

Espècies i categories	Càrrega mitjana (g/m <sup>2</sup> ) <sup>a</sup>	Error estàndard	% càrrega total	% càrrega acumulada	Contingut hídic (%) <sup>b</sup>
<i>Quercus coccifera</i>	140.47	21.1	35.11	35.1	37.1
<i>Erica multiflora</i>	111.51	26.7	27.87	63.0	38.0
Complex herbaci	62.48	8.4	15.62	78.6	26.6
<i>Juniperus oxycedrus</i>	7.52	4.4	1.88	80.5	35.6
Altres espècies <sup>c</sup>	4.56	2.3	1.14	81.6	38.7
<i>Globularia alypum</i>	1.70	1.7	0.43	82.0	39.6
<i>Scabiosa</i> sp.	0.93	0.9	0.23	82.3	54.7
<i>Pistacia lentiscus</i>	0.65	0.7	0.16	82.4	45.7
<i>Genista scorpius</i>	0.59	0.6	0.15	82.6	35.6
Individus morts en peu	69.67	8.8	17.41	100.0	13.0
<b>Total</b>	<b>400.08</b>	<b>22.5</b>	<b>100.00</b>	<b>100.0</b>	<b>35.8</b>

a. Biomassa total aèria (viva i morta).

b. Contingut hídic avaluat sobre el PF.

c. Altres espècies: agregació de totes aquelles espècies arbustives amb molt poca abundància en els quadrats mostrats i que en cap cas supera el 2% del total de la biomassa aèria recollida en els quadrats.

**Taula 5.** Incendi 1995. Vessant sud. Vandellòs.

Espècies i categories	Càrrega mitjana (g/m <sup>2</sup> ) <sup>a</sup>	Error estàndard	% càrrega total	% càrrega acumulada	Contingut hídic (%) <sup>b</sup>
<i>Quercus coccifera</i>	178.44	63.0	34.50	34.5	35.5
Complex herbaci	89.90	23.4	17.38	51.9	19.8
<i>Globularia alypum</i>	85.66	21.4	16.56	68.4	31.8
<i>Anthyllis cytisoides</i>	10.65	4.5	2.06	70.5	31.3
Altres espècies <sup>c</sup>	10.25	2.8	1.98	72.5	35.2
<i>Rosmarinus officinalis</i>	8.86	5.4	1.71	74.2	37.8
<i>Erica multiflora</i>	1.90	1.9	0.37	74.6	35.4
<i>Pistacia lentiscus</i>	1.85	1.9	0.36	74.9	44.4
<i>Cistus clusii</i>	1.83	1.8	0.35	75.3	43.5
Individus morts en peu	127.94	41.0	24.73	100.0	12.7
<b>Total</b>	<b>517.27</b>	<b>37.9</b>	<b>100.00</b>	<b>100.0</b>	<b>31.7</b>

a. Biomassa total aèria (viva i morta).

b. Contingut hídic avaluat sobre el PF.

c. Altres espècies: agregació de totes aquelles espècies arbustives amb molt poca abundància en els quadrats mostrejats i que en cap cas supera el 2% del total de la biomassa aèria recollida en els quadrats.

**Taula 6.** Incendi 1988. Vessant nord. Pradip.

Espècies i categories	Càrrega mitjana (g/m <sup>2</sup> ) <sup>a</sup>	Error estàndard	% càrrega total	% càrrega acumulada	Contingut hídic (%) <sup>b</sup>
<i>Quercus coccifera</i>	396.23	43.6	42.26	42.3	36.7
<i>Erica multiflora</i>	213.44	32.1	22.77	65.0	31.7
<i>Pistacia lentiscus</i>	105.88	67.2	11.29	76.3	40.5
Complex herbaci	81.65	13.0	8.71	85.0	24.4
<i>Juniperus oxycedrus</i>	40.80	40.8	4.35	89.4	39.1
<i>Genista scorpius</i>	36.10	16.8	3.85	93.2	22.7
<i>Rosmariuns officinalis</i>	19.95	19.8	2.13	95.4	31.2
<i>Globularia alypum</i>	12.24	7.1	1.31	96.7	31.5
<i>Cistus monspeliensis</i>	11.05	6.8	1.18	97.8	38.2
Altres espècies <sup>c</sup>	8.70	2.7	0.93	98.8	49.7
<i>Chamaerops humilis</i>	6.75	4.2	0.72	99.5	31.4
<i>Rhamnus lycioides</i>	4.30	4.3	0.46	100.0	31.4
Individus morts en peu	0.45	0.4	0.05	100.0	19.1
<b>Total</b>	<b>937.54</b>	<b>81.3</b>	<b>100.00</b>	<b>100.0</b>	<b>34.7</b>

a. Biomassa total aèria (viva i morta).

b. Contingut hídic avaluat sobre el PF.

c. Altres espècies: agregació de totes aquelles espècies arbustives amb molt poca abundància en els quadrats mostrejats i que en cap cas supera el 2% del total de la biomassa aèria recollida en els quadrats.



**Taula 7.** Incendi 1988. Vessant sud. Pradip.

Espècies i categories	Càrrega mitjana (g/m <sup>2</sup> ) <sup>a</sup>	Error estàndard	% càrrega total	% càrrega acumulada	Contingut hídric (%) <sup>b</sup>
<i>Quercus coccifera</i>	428.15	66.3	53.65	53.7	31.5
<i>Erica multiflora</i>	211.50	31.4	26.50	80.2	29.7
<i>Genista scorpius</i>	57.96	48.7	7.26	87.4	27.4
Complex herbaci	30.62	10.8	3.84	91.3	19.0
<i>Chamaerops humilis</i>	28.84	22.1	3.61	94.9	29.2
<i>Globularia alypum</i>	18.97	11.1	2.38	97.2	31.1
<i>Rosmarinus officinalis</i>	11.83	4.2	1.48	98.7	33.7
Altres espècies <sup>c</sup>	3.63	2.3	0.46	99.2	79.7
<i>Thymus vulgaris</i>	1.23	1.2	0.15	99.3	22.5
Individus morts en peu	5.26	3.2	0.66	100.0	7.6
<b>Total</b>	<b>798.00</b>	<b>36.2</b>	<b>100.00</b>	<b>100.0</b>	<b>31.0</b>

a. Biomassa total aèria (viva i morta).

b. Contingut hídric avaluat sobre el PF.

c. Altres espècies: agregació de totes aquelles espècies arbustives amb molt poca abundància en els quadrats mostrejats i que en cap cas supera el 2% del total de la biomassa aèria recollida en els quadrats.

**Taula 8.** Incendi 1981. Vessant nord. Mont-roig del Camp.

Espècies i categories	Càrrega mitjana (g/m <sup>2</sup> ) <sup>a</sup>	Error estàndard	% càrrega total	% càrrega acumulada	Contingut hídric (%) <sup>b</sup>
<i>Quercus coccifera</i>	677.05	319.0	50.32	50.3	34.0
<i>Erica multiflora</i>	281.11	41.0	20.89	71.2	28.2
<i>Rosmariuns officinalis</i>	167.80	49.1	12.47	83.7	31.7
<i>Bupleurum fruticulosum</i>	54.04	8.2	4.02	87.7	32.5
Complex herbaci	50.61	16.1	3.76	91.5	20.4
<i>Globularia alypum</i>	27.99	21.0	2.08	93.5	28.9
<i>Genista scorpius</i>	19.69	17.3	1.46	95.0	27.6
Altres espècies <sup>c</sup>	13.68	3.9	1.02	96.0	25.6
<i>Pistacia lentiscus</i>	13.55	13.6	1.01	97.0	39.9
<i>Ulex parviflorus</i>	6.72	4.3	0.50	97.5	26.3
<i>Coronilla glauca</i>	5.40	5.4	0.40	97.9	30.0
<i>Rhamnus lycioides</i>	2.93	2.9	0.22	98.1	30.0
Individus morts en peu	24.89	5.7	1.85	100.0	9.7
<b>Total</b>	<b>1345.46</b>	<b>258.6</b>	<b>100.00</b>	<b>100.0</b>	<b>31.7</b>

a. Biomassa total aèria (viva i morta).

b. Contingut hídric avaluat sobre el PF.

c. Altres espècies: agregació de totes aquelles espècies arbustives amb molt poca abundància en els quadrats mostrejats i que en cap cas supera el 2% del total de la biomassa aèria recollida en els quadrats.

**Taula 9.** Incendi 1981. Vessant sud. Mont-roig del Camp.

Espècies i categories	Càrrega mitjana (g/m <sup>2</sup> ) <sup>a</sup>	Error estàndard	% càrrega total	% càrrega acumulada	Contingut hídic (%) <sup>b</sup>
<i>Quercus coccifera</i>	911.33	101.5	71.51	71.5	36.6
<i>Chamaerops humilis</i>	82.08	23.3	6.44	77.9	42.9
<i>Bupleurum frutescens</i>	37.65	21.9	2.95	80.9	25.0
<i>Pistacia lentiscus</i>	30.15	20.2	2.37	83.3	42.3
<i>Erica multiflora</i>	16.35	11.2	1.28	84.6	27.2
<i>Cistus albidus</i>	11.45	11.5	0.90	85.5	30.5
<i>Olea europaea</i>	6.34	6.3	0.50	85.9	32.7
<i>Pinus halepensis</i>	4.51	4.5	0.35	86.3	49.6
<i>Dorycnium pentaphyllum</i>	2.68	2.7	0.21	86.5	27.2
<i>Ulex parviflorus</i>	0.63	0.6	0.05	86.6	30.0
Altres espècies <sup>c</sup>	19.03	6.0	1.49	88.1	34.8
Complex herbaci	84.99	24.8	6.67	94.7	22.7
Individus morts en peu	67.22	31.6	5.27	100.0	12.1
<b>Total</b>	<b>1274.44</b>	<b>98.1</b>	<b>100.00</b>	<b>100.0</b>	<b>35.9</b>

a. Biomassa total aèria (viva i morta).

b. Contingut hídic avaluat sobre el PF.

c. Altres espècies: agregació de totes aquelles espècies arbustives amb molt poca abundància en els quadrats mostrejats i que en cap cas supera el 2% del total de la biomassa aèria recollida en els quadrats.

### Simulació d'incendis amb BEHAVE

La taula 10 recull els resultats obtinguts per als tres models de combustible després d'executar el programa de simulació FIRE 1 del sistema BEHAVE per a l'escenari proposat. Alhora, s'ha inclòs el resultat d'una simulació del model estàndard 5 del sistema BEHAVE. El model 5 correspon a la categoria de models de matollar i, d'aquests, és el que s'ajusta a nivell descriptiu i fisiognòmic a la major part de les brolles estudiades (especialment les més joves amb baixes càrregues de combustible).

En línies generals, es detecta un augment en les variables simulades característiques del comportament del foc amb l'edat regenerativa de la brolla. Els valors obtinguts en totes les variables de sortida per als nous models de brolles de 3 i 10 anys són considerablement inferiors als recollits a la simulació amb el model 5 estàndard de BEHAVE (Andrews, 1986) en les mateixes condicions ambientals. Els resultats de la brolla de 17 anys presenten una similitud força elevada amb els del model 5.

**Taula 10.** Resultats de les simulacions per als tres models construïts per a les diferents edats regeneratives i per al model 5 estàndard de BEHAVE. Condicions de simulació: 12% d'humitat del combustible mort i 50% del combustible fi viu. Velocitat del vent de 40 km/h. Pendent del 40%.

	<b>Brolla 3 anys</b>	<b>Brolla 10 anys</b>	<b>Brolla 17 anys</b>	<b>Model 5</b>
Velocitat de propagació (m/min)	<0.5	1	107	99
Calor per unitat de superfície (cal/m <sup>2</sup> )	482	1003	5170	6526
Intensitat de la línia de foc (cal/m/s)	4	16	9206	10745
Longitud de les flames (m)	0.1	0.3	5.2	5.5
Intensitat de reacció (cal/m <sup>2</sup> /min)	46	78	425	477

## Discussió

La fitomassa aèria ens indica la quantitat màxima de combustible que podria consumir-se en un foc de màxima intensitat (càrrega de combustible potencial). La quantitat de combustible determina o influeix bona part de les propietats de comportament del foc: la taxa de propagació, l'alçària de la flama o la potència del front entre d'altres (Chandler et al., 1983).

Molts treballs de caracterització del complex combustible d'espècies i comunitats arbustives es basen en el mostreig a nivell d'individu o bé a partir de quadrats de mostreig més petits (de 0.25 a 2 m<sup>2</sup>) (Papió, 1994; Rego et al., 1994; Pereira et al., 1995; Abad et al., 1997; Baeza et al., 1998) que els utilitzats en aquest estudi. El present treball parteix d'un enfocament a nivell de comunitat en el qual s'integren les dades recollides a una escala de 9 m<sup>2</sup>, amb un total de 216 m<sup>2</sup> mostrejats. Aquest plantejament permet incorporar les variacions del micromosaic espacial, associat a la pedregositat i altres factors, que caracteritza l'estructura de moltes brolles calcícoles mediterrànies.

La dinàmica de la biomassa aèria de la comunitat estudiada és representada per la corba d'acumulació (figura 1). Els valors recollits són comparables amb els descrits per a altres comunitats arbustives mediterrànies, per bé que són superiors a resultats obtinguts en brolles més esclarissades (Riba i Terradas, 1985) i argelagars (Abad et al., 1997); són equiparables al *chaparral* californià d'*Adenostoma fasciculatum*, al *mallee* australià (Specht, 1981), a algunes garrigues del Garraf i del sud de França (Specht, 1981; Trabaud i Papió, 1987); i molt inferiors a les garrigues denses del sud de França i al *chaparral* de *Ceanothus* spp. (Specht, 1981; Riba i Terradas, 1985).

El període inicial després del foc presenta un creixement més vigorós (1.2 t/ha/any) que tendeix a atenuar-se quan s'ha assolit un cert nivell de desenvolupament de la brolla (0.5 t/ha/any entre els 3 i els 17 anys). Cal destacar aquestes

baixes taxes d'increment de biomassa, comparables a les recollides en d'altres brolles esclarissades del sud-oest peninsular (Merino et al., 1990), al *mallee* australià i a algunes garrigues obertes del sud de França (Specht, 1981), i que són degudes probablement a l'escàs desenvolupament del sòl i al fort dèficit hídric, agreujat pel caràcter ventós de la zona. D'altra banda, el vigor inicial és un fenomen àmpliament descrit en ecosistemes mediterranis, relacionat amb les característiques pròpies de la vegetació (presència d'espècies rebrotadores), amb les condicions favorables després de la pertorbació (absència de competència, disponibilitat de nutrients) i amb l'ús dels reservoris de les arrels (Sala, 1986).

Els objectius inicials del treball plantejaven la comparació de càrregues en orientacions contrastades (solell-obaga) amb la finalitat d'incorporar una de les fonts d'heterogeneïtat espacial més rellevants. Els resultats han posat de manifest que no s'evidencien diferències estadísticament significatives entre els valors recollits en les diferents orientacions dels tres incendis. Per a la interpretació d'aquest resultat, cal considerar diferents aspectes que poden intervenir en la no diferenciació de les fitomasses aèries en les orientacions estudiades. D'una banda, cal tenir present que les formacions mostrejades es troben en ambients poc favorables al desenvolupament de la vegetació. A més, cal destacar que els pendents relativament moderats dels vessants fan que la irradiància sigui molt elevada fins i tot a les obagues. En aquestes situacions, els factors limitants en el desenvolupament de la comunitat es troben sovint relacionats amb mancances hídriques i nutritives a nivell local que eclipsen en bona mesura els possibles efectes lligats a l'exposició solar.

Quant a la distribució de la biomassa de la comunitat en fraccions de gruixària, cal destacar el patró que s'observa en determinades fraccions i categories. L'observació dels brots verds (brots que mantenen les fulles) aporta un apunt interessant per entendre la dinàmica de la comunitat al llarg de la successió. A l'incendi de 10 anys, la biomassa de brots verds assoleix el seu estat màxim, que presenta un lleuger descens als 17 anys. En aquesta edat, és quan s'observa una proporció més elevada de brots de l'any respecte als brots d'anys anteriors que mantenen fulla. La producció de brots de l'any es troba dins el rang, per bé que lleugerament superior, que altres treballs han recollit en matollars del sud de la península Ibèrica (Merino et al., 1990; Martínez Fernández et al., 1994). La producció anual de brots és un paràmetre que presenta força variabilitat interanual, marcadament sensible a les condicions climatològiques del període estudiat.

Mentre el combustible viu de les dues classes de gruixària estudiades presenta una tendència creixent al llarg de les edats avaluades, la biomassa de brots verds, i amb ella la biomassa foliar, presenta una dinàmica pròpia caracteritzada per un creixement inicial molt elevat i una estabilització i lleu decreixement posterior. Aquesta tendència es relaciona, a nivell estructural i funcional, amb els processos ecofisiològics implicats en la producció de fulles i en l'evolució de l'índex d'àrea foliar (LAI). La producció de fulles presenta els valors màxims a les fases inicials de la successió i la seva limitació es dona ja en estadis primerencs de la successió, condicionada per les constriccions ambientals i l'accés als recursos. La biomassa aèria total de la comunitat s'estabilitza en estadis posteriors, fet que

es tradueix en un decreixement del quocient entre la biomassa foliar i la biomassa aèria total (o llenyosa) amb l'edat regenerativa. Les brolles estudiades presenten una evolució d'aquesta relació de 0.3 en els estadis inicials a 0.2 en estadis madurs, valors comuns als recollits en garrigues i *chaparrals* (Gray i Schlesinger, 1981; Sala et al., 1987; Papió, 1994).

En els primers anys, la resta de biomassa es concentra (excloent els brots verds) en material fi ( $\phi < 6\text{mm}$ ), mentre que el material més gruixut ( $6\text{mm} \geq \phi < 25\text{mm}$ ) és pràcticament inexistent. Al cap de 10 anys, el balanç és clarament favorable al material fi malgrat el lleuger ascens de la biomassa gruixuda. Als 17 anys, sembla que hi ha una distribució més o menys equivalent en els gruixos de la biomassa estructural de la comunitat. Aquesta distribució dels materials per classes de gruixària es troba determinada principalment pel grau de desenvolupament de les espècies presents i per les característiques pròpies de l'arquitectura de la planta. Els materials primers juguen un paper molt important en la inflamabilitat de la vegetació i en la propagació del foc, mentre que els gruixuts costen més de cremar, però quan ho fan s'eleva la intensitat del foc, la seva durada i el seu impacte (Trabaud, 1992).

La necromassa segueix un patró diferent. L'elevat contingut de material mort gruixut que caracteritza l'etapa immediata després del foc correspon, en gairebé la seva totalitat, a individus cremats que encara romanen en peu durant un període llarg després de l'incendi i que s'integren a poc a poc a la virosta durant la successió. Tanmateix, la vegetació en aquests períodes inicials està pràcticament desproveïda de material mort del tipus estructural (1h), que serà força important en els períodes posteriors de la successió tal com mostra l'evolució d'aquesta fracció en el nostre cas. La proporció de material mort varia segons l'edat, l'espècie, l'esdeveniment de períodes crítics i la competència entre individus i dintre dels mateixos individus. Per a formacions arbustives mediterrànies se sol predir un augment de la intensitat i propagació del foc en comunitats de 10 a 20 anys d'edat (Rothermel i Philpot, 1973). Aquest augment es troba determinat per la presència de material mort en prou proporció com per poder dessecar els materials vius i implicar-los en la combustió.

Finalment, el combustible herbaci desenvolupa un paper determinant a l'hora d'avaluar el risc d'inflamabilitat en els contextos estudiats. Per bé que la biomassa de l'estrat herbaci roman força constant al llarg de la successió, els resultats ressalten l'elevada proporció d'aquesta categoria en les fases inicials després de la successió si la comparem amb la resta de fraccions de biomassa. En altres estudis en comunitats arbustives, la proporció de material herbaci també disminueix amb l'edat regenerativa (Trabaud, 1991; Papió, 1994).

Un paràmetre sintètic per a l'avaluació de les comunitats en relació amb el seu risc d'incendi és la seva relació mort/viu. Aquesta relació seria molt més elevada en l'incendi de 3 anys si hi consideréssim el material cremat mort en peu. Aquest tipus de material presenta unes propietats d'inflamabilitat i combustibilitat menys actives que la resta de material mort de tipus estructural, tot i que depèn del seu grau d'afectació pel foc. En etapes posteriors, la influència del material cremat es fa menys evident i dona pas a components morts de tipus estructural

(sobretot a la coberta arbustiva). Si només atenem a aquest tipus de fracció, la relació mort/viu segueix una tendència clarament creixent que esdevé un paràmetre descriptiu de la dinàmica successional de producció i distribució de la biomassa aèria que es dona amb l'edat regenerativa de la brolla.

Els resultats han posat l'èmfasi, també, en la contribució específica a la càrrega total del vessant i al contingut hídric de les espècies presents. En general, les brolles madures han tendit a presentar un major nombre d'espècies rellevants per la seva biomassa que en les etapes primerenques després del foc, per bé que s'acompanya d'una dominància hegemònica del garric. En les fases inicials, la distribució de la fitomassa aèria arbustiva es reparteix principalment entre dues espècies codominants (sovint *Quercus coccifera*, *Erica multiflora* o *Globularia alypum*) amb un pes força important de l'estrat herbaci. Aquestes diferències observades poden estar, però, condicionades per molts factors deslligats de la dinàmica successional: les condicions ambientals de cada vessant, l'època i la intensitat del foc, l'edat de la brolla en el moment del foc o la relació inicial entre espècies germinadores i rebrotadores poden ser factors determinants en les pautes observades, poc controlables en el disseny en cronosequència.

Les espècies dominants de la comunitat no presenten continguts hídrics baixos, encara que la presència d'espècies com *Genista scorpius*, *Ulex parviflorus*, *Thymus vulgaris*, *Globularia alypum*, *Anthyllis cytisoides* o *Juniperus oxycedrus*, juntament amb uns continguts alts de combustible herbaci i material mort, poden ser determinants a l'hora d'avaluar el risc potencial d'incendi i el comportament del foc en períodes d'eixut. Les espècies de contingut hídric baix es relacionen amb arquitectures estructurals d'elevada relació superfície/volum i amb proporcions elevades de parts mortes en capçada.

Les brolles estudiades pateixen episodis d'extrema sequera no només en èpoques d'eixut estival, sinó provocats per la forta exposició al vent que caracteritza aquestes zones. D'aquestes, les dominades per brolles madures són les que presenten un risc potencial més elevat. S'ha definit una relació directa entre la quantitat de combustible i variables com la calor alliberada o la potència de la línia de front (Chandler et al., 1983; Pyne, 1984; Trabaud, 1992). En aquest sentit els resultats de BEHAVE estarien en concordança amb aquesta tendència, per bé que existeix una determinada sensibilitat per part del sistema de simulació envers les proporcions de material viu i mort de la càrrega de combustible a l'hora de construir i fer córrer els models de combustible.

L'alçària de la flama, per exemple, és un bon indicador de la magnitud del foc i presenta una bona relació amb el seu esforç d'extinció (Rothermel, 1983; Teie, 1994). En la situació simulada, per exemple, els focs descrits en les brolles de 3 i 10 anys podrien ser atacats en el seu front mitjançant estris manuals i mànegues convencionals. Tanmateix, la brolla de 17 anys presentaria una virulència molt elevada, que dificultaria el seu control, i el seu atac en el front seria impossible. Aquesta informació resulta útil per a l'avaluació del risc i per a la seva valoració (dels efectes i del seu control), i en aquest sentit, pot complementar la presa de decisions encaminades a la gestió del combustible. Cal prendre consciència, però, de les limitacions d'aquest tipus d'eines a l'hora d'interpretar els resultats i transcriure'ls

damunt del territori. Aquestes limitacions es troben condicionades per les assumpcions de les quals parteix l'enfocament d'aquests models (superfícies homogènies, simplificació dels processos físics implicats en la propagació).

## Agraïments

Un agraïment molt especial a l'equip que ha col·laborat en el treball de camp dut a terme l'estiu de 1998: l'Ester Prat, en Josep Ganyet, la Patrícia Torres, la Montse Matas, l'Emma Piera, la Marga Crous i la Mireia Tarradell. Aquest treball ha estat possible gràcies a una beca predoctoral per part del Ministeri d'Educació i Cultura, i ha estat finançat pels projectes CICYT AMB95-247 i AGF97-533.

## Bibliografia

- Abad, N.; Caturla, R.N.; Baeza, J. et al. 1997. Regeneración de los montes quemados. *In*: Vallejo, R. (ed.) La restauración de la cubierta vegetal en la comunidad valenciana. CEAM i Generalitat Valenciana.
- Andrews, P.L. 1986. BEHAVE: Fire behaviour prediction and fuel modeling system. FUEL subsystem. BURN subsystem. Part 1. USDA. Forest Service, Intermountain Research Station.
- Andrews, P.L.; Chase, C.H. 1989. BEHAVE: Fire behaviour prediction and fuel modeling system. FUEL subsystem. BURN subsystem. Part 2. USDA. Forest Service, Intermountain Research Station.
- Baeza, M.J.; Raventós, J.; Escarré, A. 1998. Structural changes in relation to age in fire-prone Mediterranean shrubland. Proceedings of the 3<sup>d</sup> International Conference on Forest Fire Research.
- Bond, W.J.; Wilgen, B.W. van. 1996. Fire and Plants. Chapman & Hall.
- Burgan, R.E.; Rothermel, R.C. 1984. BEHAVE: Fire behaviour prediction and fuel modeling system. FUEL subsystem. USDA. Forest Service, Intermountain Research Station.
- Byram, G.M. 1963. An analysis of the drying process in forest fuel material. International Symposium on Humidity and Moisture.
- Chandler, C.; Cheney P.; Thomas, P.; Trabaud, L.; Williams, D. 1983. Fire in Forestry. Forest Fire Behaviour and Effects. Vol. I. John Wiley & Sons.
- Folch, R. 1980. La flora de les comarques litorals compreses entre la riera d'Alforja i el riu Ebre. Institut d'Estudis Catalans.
- 1981. La vegetació dels Països Catalans. Ketres.
- 1996. Socioecologia dels incendis forestals. *In*: Terradas, J. (ed.) Ecologia del foc. Enciclopèdia Catalana.
- Franquesa, T. 1989. El paisatge vegetal de la Península del Cap de Creus. Tesi doctoral. Universitat de Barcelona.
- Generalitat de Catalunya 1997. Atlas climàtic de Catalunya. Institut Cartogràfic de Catalunya i Departament de Medi Ambient.
- Gray, J.T.; Sclesinger, W.H. 1981. Nutrient cycling in Mediterranean Type Ecosystems. *In*: Miller, P.C. (ed.) Resource Use by Chaparral and Matorral. Springer-Verlag.
- Hanes, T.L. 1971. Succession after fire in the chaparral of southern California. Ecological Monographs 41: 27-52.
- IGME. 1980. Mapa Geològic de España. Escala 1: 50.000. Full 472 (Reus). Instituto Geológico y Minero de España.

- 1981. Mapa Geològic de Espanya. Escala 1: 50.000. Full 498 (Hospitalet de l'Infant). Instituto Geológico y Minero de Espanya.
- Le Houérou, H.N. 1987. Vegetation wildfires in the Mediterranean basin: evaluation and trends. *Ecologia Mediterranea* 13: 13-24.
- Lloret, F. 1998. Fire, canopy cover and seedling dynamics in Mediterranean shrubland of northeastern Spain. *Journal of Vegetation Science* 9: 417-430.
- Martínez Fernández, J.; Romero Díaz, M.A.; López Bermúdez, F. 1994. Parámetros estructurales y funcionales de *Rosmariuns officinalis* en ecosistemas mediterráneos semiáridos. *Studia Oecologica* 10-11: 289-216.
- Masalles, R.; Vigo, J. 1987. La successió a les terres mediterrànies: sèries de vegetació. *In: Terradas, J. (ed). Ecosistemes terrestres. La resposta als incendis i a d'altres perturbacions. Quaderns d'ecologia aplicada. Diputació de Barcelona.*
- Merino, O.; Martín, M.P.; Martín, A.; Merino, J. 1990. Successional and temporal changes in primary productivity in two mediterranean scrub ecosystems. *Acta Oecologica* 11 (1): 103-112.
- Papió, C.; Trabaud, L. 1990. Structural characteristics of fuel components of five Mediterranean shrubs. *Forest Ecology and Management* 35: 249-259.
- Papió, C. 1994. Ecologia del foc i regeneració en garrigues i pinedes mediterrànies. Institut d'Estudis Catalans.
- Pereira, J.M.C.; Sequeira, N.M.S.; Carreiras J.M.B. 1995. Structural properties and dimensional relations of some Mediterranean shrub fuels. *International Journal of Wildland Fire* 5: 35-42.
- Piñol, J.; Terradas, J.; Lloret, F. 1998. Climate warming, wildfire hazard, and wildfire occurrence in Coastal Eastern Spain. *Climatic change* 38: 345-357.
- Pyne, S.J. 1984. Introduction to wildland fire management in the United States. Wiley.
- Riba, M.; Terradas, J. 1985. Regeneració d'un bruguera d'*Erica arborea* i una brolla de *Cistus* spp. sotmesos a estassada. *Orsis* 1: 81-90.
- Rothermel, R.C.; Philpot, C.W. 1973. Predicting changes in chaparral flammability. *Journal of Forestry* 71: 640-643.
- Rothermel, R.C. 1983. How to predict the spread and intensity of forest and range fire. USDA Forest Service.
- Rego, F.C.; Pereira J.P.; Fernandes, P.; Almeida, A.F. 1994. Biomass and aerial structure characteristics of some Mediterranean shrub species. Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Conference on Forest Fire Research.
- Sabaté, S. 1986. Evolució de l'estructura horitzontal i ocupació de l'espai de la garriga després del foc. Tesi de llicenciatura. Universitat de Barcelona.
- Sala, A. 1986. Evolució de l'estructura vertical de la garriga després del foc: índex foliar i gradients morfològics. Tesi de llicenciatura. Universitat de Barcelona.
- Sala, A.; Sabaté, S.; Gracia, C.A. 1987. Structure and organisation of a *Quercus coccifera* garrigue after fire. *Ecologia Mediterranea* 13: 99-110.
- Smith, R.L. 1990. Student Resource Manual to Accompany Ecology and Field Biology. Harper Collins Publishers.
- Specht, R.L. 1981. Primary production in Mediterranean-climate ecosystems regenerating after fire. *In: Di Castri, F.; Goodall, D.W.; Specht, R.L. (ed.) Mediterranean-type shrublands.* Elsevier.
- Teie, W.C. 1994. Firefighter's Handbook on Wildland Firefighting. Deer Valley Press.
- Trabaud, L. 1991. Fire regimes and phytomass growth dynamics in a *Quercus coccifera* garrigue. *Journal of Vegetation Science* 2: 307-314.



- 1992. Les feux de forêts. Mecanismes, comportement et environnement. France-selection.
- 1994. Postfire plant community dynamics in the Mediterranean Basin. *In*: Moreno, J.M.; Oechel W.C. The Role of Fire in Mediterranean-type Ecosystems. Springer-Verlag.
- Trabaud, L.; Papió, C. 1987. Regeneració de les garrigues de Montpeller i Garraf. *In*: Terradas, J. (ed). Ecosistemes terrestres. La resposta als incendis i a d'altres perturbacions. Quaderns d'ecologia aplicada. Diputació de Barcelona.
- Viegas, D.X.; Piñol, J.; Viegas, M.T.; Ogaya, R. 1998. Moisture content of living forest fuels and their relationship with meteorological indices in the Iberian Peninsula. Proceedings of the 3<sup>d</sup> International Conference on Forest Fire Research.
- Wilgen, B. W. van; Richardson, D.M.; Kruger, F.J.; Hensbergen, H. J., van. 1992. Fire in South African Mountain Fynbos. Springer-Verlag.