



CIÈNCIES

Anàlisi dels factors determinants en la rebrotada del bruc boal (*Erica arborea* L.) després de l'incendi de l'Alt Empordà del 2012

Per Blanca Font,^(*) Roger Puig-Gironès,^(*) Pere Pons^(*)

Resum

S'han analitzat els factors determinants en el procés de rebrotada del bruc boal (*Erica arborea*) entre quatre i nou mesos després de l'incendi de l'Alt Empordà del 2012. Mitjançant models lineals generalitzats mixtos (GLMM) s'han analitzat quines variables (severitat del foc i altres variables biològiques) han influït en els indicadors de la rebrotada: la biomassa i el creixement dels rebrots. D'una banda, la biomassa s'ha vist influïda pels efectes de l'àrea de la rabassa i pel nombre i l'alçada dels rebrots. De l'altra, una severitat més gran del foc ha promogut el creixement dels rebrots en els primers quatre mesos després de l'incendi, tot i que en els cinc mesos següents s'ha donat l'efecte contrari. En canvi, a baixes severitats, el creixement inicial ha estat menor, incrementant-se en el segon període. La capacitat de resposta d'una espècie dominant, com el bruc, facilita la recuperació de l'ecosistema i s'ha de tenir en compte en la gestió postincendi.

Paraules clau

Severitat del foc, rabassa, creixement de rebrots, *Erica arborea*, regeneració vegetal

Abstract

Analysis of the main factors affecting the sprouting of the tree heath (*Erica arborea* L.) after the wildfire of Alt Emporda 2012. This study analyses the key factors in the resprouting process of the tree heath (*Erica arborea*) between four and nine months after a huge wildfire in Alt Empordà (Catalonia, Spain) in 2012. Generalized linear mixed models (GLMM) were used to analyse which variables (fire severity and other biological variables) affected the biomass and growth of resprouts, indicators of resprouting vigour. On the one hand, biomass was influenced by the lignotuber area and by the number and height of resprouts. On the other hand, a greater fire severity promoted the growth of resprouts in the first four months after the fire, although in the following five months it produced the opposite effect. However, at low severity, initial growth was lower, and it increased in the following period. The response capacity of a dominant species like the tree heath facilitates the recovery of the ecosystem and should be taken into account in post-fire management.

Keywords

Fire severity, lignotuber, resprout growth, *Erica arborea*, plant regeneration

Recepció: 28/04/2015 • Acceptació: 22/06/2015.

* Departament de Ciències Ambientals, Universitat de Girona.
Campus de Montilivi, 17071 Girona. c/e: blancafv@hotmail.com

DOI: 10.2436/20.8010.01.181

AIEE, Figueres, 46 (2015), pàg. 255-274

INTRODUCCIÓ*

El règim de pertorbació influeix en la dinàmica dels ecosistemes i exerceix una forta pressió evolutiva sobre les plantes (Pausas i Keeley, 2014). Conseqüentment, moltes espècies han desenvolupat mecanismes que els afavoreixen en entorns amb pertorbacions freqüents. Al clima mediterrani, el foc és una pertorbació natural que pot destruir la majoria dels teixits aeris de les plantes en molt poc temps, essent un dels processos naturals amb més impacte. Per tant, el foc tindrà un paper clau en la dinàmica de la vegetació. Hi ha dos mecanismes principals que permeten la persistència de les plantes en aquests ambients: la rebrotada de teixits parentals que han sobreviscut (espècies rebrotadores) i el reclutament de plàntules (espècies reclutadores o germinadores) (Keeley *et al.*, 2012; Pausas i Keeley, 2014).

El bruc boal (*Erica arborea*), arbust mediterrani en el qual es centra el treball, és una espècie rebrotadora (Terradas, 1996). El mecanisme de rebrotada consisteix en l'aparició de nous brots a partir de gemmes protegides, generalment en estat latent (inactives), després d'una pertorbació (Riba, 1998; Pausas, 2012). Aquest mecanisme confereix persistència no només a les poblacions, sinó també als individus, ja que una part de la planta, generalment la subterrània, no mor (Lamont, 2011; Pausas 2012).

La supervivència de les plantes rebrotadores després del foc depèn de la supervivència de les gemmes (Terradas, 1996; Clarke *et al.*, 2013). En el bruc boal, les gemmes són subterrànies, protegides del foc pel sòl. Després del foc, els rebrots sortiran de les gemmes latents de la rabassa, un engruiximent de la corona de l'arrel especialitzat en l'acumulació de gemmes i substàncies de reserva (Riba, 1998; Pausas, 2012). Per tant, el nombre de rebrots està condicionat per la superfície de rabassa, d'on es regenera la biomassa aèria després d'una pertorbació (Terradas, 1996; Paula i Ojeda, 2006).

* En primer lloc, volem agrair el suport i finançament de la campanya «Foc al cor» promoguda per la IAEDEN. Seguidament, volem agrair a Stéphanie Gascón l'ajut amb l'estadística, a Carles Tobella, amb el treball de camp, i a Jaume Ferrer, amb l'edició de mapes.

La capacitat de rebrotada després del foc (Paula i Pausas, 2013), es relaciona amb el balanç entre l'energia guanyada pels nous brots i les demandes respiratòries de les arrels (Riba, 1998). Per tant, el vigor de rebrotada de la planta dependrà de les característiques fisiològiques prèvies a l'incendi, de les característiques del foc i de les condicions ambientals posteriors a aquest. Segons Paula i Ojeda (2006), la biomassa rebrotada en pes sec és un bon indicador del vigor de rebrotada.

Característiques prèvies dels individus

La mida dels individus abans de l'incendi es relaciona directament amb la mida assolida després (Canadell i López-Soria, 1998; Keeley *et al.*, 2012). Per aquesta raó, l'àrea de la rabassa sovint s'utilitza com a substitut de la mida de la planta (Paula i Ojeda, 2006). Per tant, com més gran és la planta, més gran és la seva supervivència, produeix rebrots més grossos i rebrota abans (Terradas, 1996). De fet, en diversos estudis s'ha trobat una correlació positiva entre la biomassa i l'àrea de la rabassa (Riba, 1997).

Característiques de l'incendi

La intensitat del foc és un dels factors que pot induir més diferències en la resposta regenerativa de les plantes. En principi, la mortalitat augmenta quan augmenta la intensitat de l'incendi, i la rebrotada es veu limitada a elevades intensitats del foc, ja que es redueix el nombre de rebrots produïts i les plantes triguen més a rebrotar (Terradas, 1996; Moreno i Oechel, 1991; Keeley *et al.*, 2012).

El terme severitat del foc fa referència a la pèrdua o consum de matèria orgànica, tant al subsòl com a la superfície del sòl (Keeley, 2009). Un indicador de la pèrdua de biomassa és el diàmetre de les branques cremades permanents, de manera que a major diàmetre mitjà, major severitat del foc. Cal tenir en compte que factors com la composició vegetal prèvia a l'incendi, la topografia, el substrat, la meteorologia, etc., condicionaran la severitat del foc (Keeley, 2009).

L'època de l'any en què es produeix la pertorbació també és important, ja que afecta la disponibilitat de reserves (Terradas, 1996; Paula i Ojeda, 2006).

Condicions postincendi

L'herbivoria també pot afectar la resposta regenerativa de les plantes, bàsicament d'aquelles que no presentin estratègies específiques per a evitar-ho, com és el cas del bruc boal (Terradas, 1996). Tot i així, segons Paula i Ojeda (2011), el nivell d'herbivoria ha de ser molt elevat i recurrent per tal que la rebrotada quedi profundament limitada. Cal remarcar que en alguns casos pot fer disminuir la competència entre rebrots i afavorir aquells que no han estat depredats.

Generalment, els focs són heterogenis a causa de l'heterogeneïtat del paisatge (combustible disponible, vent, topografia...), fet que comporta que aquest presenti diferents intensitats i severitats segons la zona (Moreno *et al.* 2013). La intensitat del foc és, doncs, espacialment variable i es considera fonamental per entendre els efectes ecològics dels incendis. Es pot mesurar com la quantitat d'energia alliberada durant l'incendi per la combustió de la matèria orgànica. La dificultat d'obtenir aquesta mesura després d'un incendi accidental fa que s'utilitzi la variable severitat del foc atesa la seva correlació amb l'anterior (Keeley, 2009; Moreno i Oechel, 1989).

Alguns estudis han correlacionat l'increment de la severitat del foc amb la disminució del procés de rebrotada d'arbres i arbustos (Keeley, 2009). D'altra banda, en els primers moments després d'un incendi, la disponibilitat de refugi i aliment dependrà en bona part de la rebrotada. Entendre com la rebrotada es pot veure afectada per la severitat del foc, ens pot permetre anticipar accions de gestió on sigui necessari (Pons *et al.*, 2013).

Moreno i Oechel (1989) van comparar estimes de la intensitat del foc (màxima temperatura de l'aire a nivell del sòl i quantitat d'aigua evaporada) amb el diàmetre mínim de les branques que queden després del foc (mesura de severitat), obtenint una elevada correlació. Diàmetres més grans indiquen més severitat del foc, ja que més gran és la quantitat de combustible consumit i el temps de residència del foc. Aquesta tècnica s'ha adaptat per a altres espècies i ecosistemes com van fer Pons i Clavero (2010) amb l'espècie arbustiva *Cytisus oromediterraneus* als Pirineus Orientals.

OBJECTIUS

L'objectiu d'aquest treball és analitzar els factors determinants en el procés de rebrotada del bruc boal (*Erica arborea*), pocs mesos després d'un gran incendi forestal. Mitjançant models lineals generalitzats mixtos

(GLMM) s'ha analitzat quines variables explicatives (severitat del foc i altres variables biològiques que influencien la rebrotada) són determinants en el procés estudiat.

Les prediccions de partida de l'estudi van ser: (1) a major severitat del foc (diàmetres més grans de branques cremades), esperem trobar menor nombre de rebrots i menor alçada d'aquests i, per tant, menys biomassa (Terradas, 1996); (2) a més severitat del foc, esperem més afectació del sòl, que implicarà més fondària de les gemmes capaces de rebrotar i més mortalitat dels rebrots; (3) a major severitat del foc, esperem un creixement més ràpid dels rebrots (Riba, 1998).

METODOLOGIA

Àrea i espècie d'estudi

L'àrea d'estudi comprèn part de la zona cremada per l'incendi de l'Alt Empordà del 22 de juliol del 2012 (d'unes 13.000 hectàrees cremades), concretament la pertanyent al municipi de la Jonquera. La zona d'estudi abasta els primers contraforts de les serres de l'Albera i les Salines, en altituds compreses entre 169 i 415 m (Figura 1).

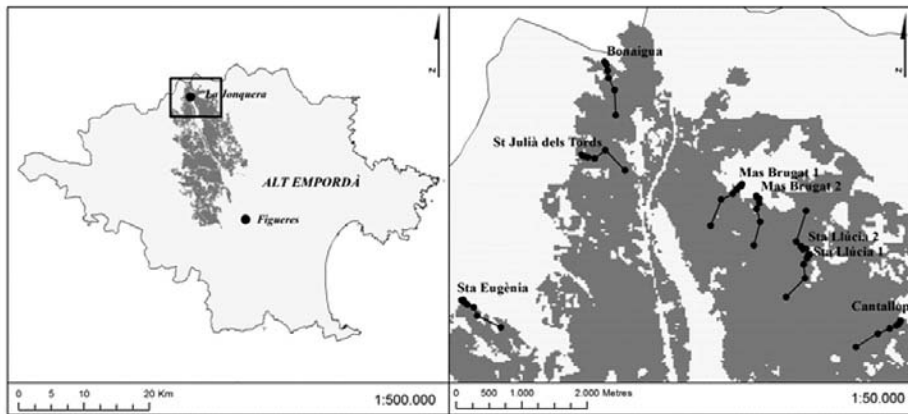


Figura 1. Perímetre de l'incendi de l'Alt Empordà del 2012 (esquerra) i mapa de l'àrea d'estudi (dreta) assenyalant les àrees cremades (en gris) les àrees no cremades (en blanc) i els transectes utilitzats (en negre). Font: <http://agricultura.gencat.cat/ca/serveis/cartografia-sig/bases-cartografiques/boscos/incendis-forestals>, modificat pels autors.

El municipi de la Jonquera es caracteritza per presentar un clima oromediterrani amb influència marítima. Cal remarcar que el vent predominant és la tramuntana, vent fort i sec que juga un paper clau en la inflamabilitat i risc d'incendi de la zona (Ajuntament de la Jonquera, 2004).

Pel que fa a la vegetació, l'hàbitat de la zona d'estudi és una formació boscosa de suredes amb sotabosc de brolla acidòfila, principalment d'estepes i brucs. Una de les espècies més abundants del sotabosc és l'escollida per a l'estudi: el bruc boal (*Erica arborea*), arbust perenne rebrotador de la família de les Ericàcies (Departament de Territori i Sostenibilitat, 2015).

Disseny del mostreig i de les mesures

La severitat del foc acostuma a ser menor prop del perímetre d'una àrea cremada que lluny d'aquest. Per tal d'obtenir un gradient ampli de severitats del foc, les estacions d'estudi es van disposar al llarg de transectes perpendiculars al perímetre exterior de l'àrea cremada o al perímetre d'illes de vegetació no cremades dins el mateix incendi. En total, es van situar vuit transectes (figura 1). Cada transecte té una longitud de 800 metres i conté 7 estacions de 10 metres de diàmetre cada una, situades a diferents distàncies creixents respecte al perímetre: a 0 m (sobre el perímetre), a 25 m, a 50 m, a 100 m, a 200 m, a 400 m i a 800 m. El total d'estacions estudiades va ser, per tant, de 56.

Es van realitzar dos mostrejos, un a la tardor (uns 4 mesos després de l'incendi), i un a finals de primavera (uns 10 mesos després), ja que és en aquesta darrera estació quan la rebrotada és més vigorosa (Paula i Ojeda, 2006).

Primer mostreig

El primer mostreig va tenir lloc del 19/11/2012 al 15/12/2012. Les estacions són els punts de referència on es van prendre les dades topogràfiques següents: UTM, orientació i altitud; i des d'on es va realitzar la selecció de 5 peus de bruc boal. La metodologia de la tria dels brucs es basava en seleccionar els més pròxims a l'estació, amb un radi màxim de 5 m, de forma que hi quedessin representades les diferents orientacions geogràfiques. Els 280 brucs seleccionats a les 56 estacions es van marcar amb l'objectiu de fer les mesures del segon mostreig en els mateixos peus.

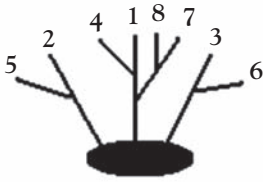


Figura 2. Esquema del procés de selecció de les branques (numerades) per a la mesura del diàmetre de branca cremada.

A cada bruc es van realitzar les mesures següents:

– **Diàmetre mínim de branca cremada.** Per a cada bruc es van seleccionar i mesurar vuit branques, iniciant les mesures per les branques principals i, si faltaven dades, a les ramificacions següents (figura 2).

Aquesta metodologia està basada en el mètode de Moreno i Oechel (1989) modificat per Pons i Clavero (2010). A la figura 3, podem observar un gradient de severitat en diferents brucs, des d'un que manté les fulles deshidratades pel foc (que acaben caient amb el pas del temps) fins a un altre on només resta la base de les branques principals.

– **Àrea de la rabassa.** Un cop delimitada la rabassa, que en el cas del bruc és senzill, ja que la part més ampla es troba a la zona superior d'aquesta i no cal desenterrar, es van mesurar la longitud i amplitud més greus per calcular l'àrea amb la fórmula de l'el·lipse (Paula i Ojeda, 2006).

– **Nombre de rebrots.** Es van comptabilitzar els rebrots de cada rabassa que emergien del sòl i, per tant, que eren visibles sense desenterrar-los.

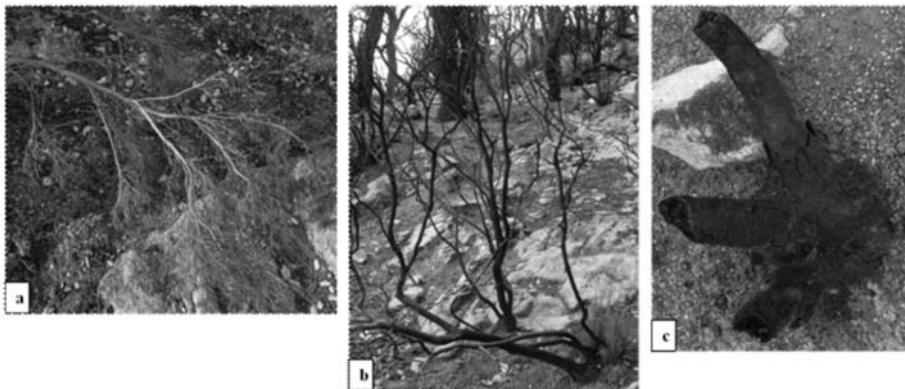


Figura 3. Brucs cremats amb diferent grau de severitat: a) mínima, b) intermèdia, c) molt alta.

– **Alçada dels tres rebrots més alts.** Es van seleccionar els tres rebrots més alts de cada rabassa i es va mesurar la seva alçada des del nivell del terra fins a la part apical del rebrot. També es van marcar per tal de poder mesurar-los al segon mostreig.

Segon mostreig

El segon mostreig es va realitzar entre el 06/05/2013 i el 28/05/2013 i, en els brucs que havien mantingut les marques (n=175), es van fer les mesures següents:

– **Nombre de rebrots.**

– **Alçada dels rebrots.** Dels marcats en el primer mostreig.

– **Fondària de les gemmes.** Es va seleccionar un dels brucs marcats per estació i, després d'excavar una part de la rabassa, es va mesurar la fondària de vuit gemmes amb rebrot seleccionades a l'atzar.

– **Biomassa.** De cada bruc es van tallar tots els rebrots arran de terra i es va calcular el seu pes sec, deixant-los 72 h en una estufa a 70°C (Pérez-Harguindeguy *et al.*, 2013) i a continuació es van pesar amb una balança de precisió 0,001 g.

– **Creixement.** A partir de les dues mesures d'alçada i de les setmanes transcorregudes entre els dos mostrejos, es va calcular el creixement dels rebrots:

$$\text{Creixement} = \frac{h_2 - h_1}{\text{nombre de setmanes}} ; [\text{mm/setmana}]$$

Anàlisi estadística

Les variables resposta de l'estudi són la biomassa i el creixement. Les variables explicatives són el diàmetre mínim de branca cremada, l'àrea de la rabassa, el nombre de rebrots al primer mostreig, el nombre de rebrots al segon mostreig, l'alçada al primer mostreig, la fondària de la gemma i l'orientació de l'estació.

Es van usar models lineals generalitzats mixtos (GLMM amb estructura d'errors *Poisson* i funció log link) per tal d'avaluar els factors que determinen el procés de rebrotada del bruc boal després d'un incendi forestal. Prèviament a l'anàlisi es va fer una exploració bàsica de les dades amb correlacions bivariants per esbrinar possibles relacions

entre les variables. En els casos necessaris, es van transformar les variables contínues logarítmicament i les ordinals per l'arrel quadrada, amb el propòsit de complir els supòsits necessaris de les correlacions i per ajustar-se millor al model en els GLMM (Riba, 1998). Seguidament, per minimitzar la pseudoreplicació espacial es varen incloure com a factors aleatoris l'estació aniuada dins de la localitat. D'aquesta manera es tenien en compte les relacions entre estacions, atès que diferents estacions compartien un mateix transecte generant, així, relacions de dependència.

Cada variable resposta es va treballar a dos nivells: bruc individual ($n=280$) i estació ($n=57$), ja que les variables d'orientació i fondària de la gemma només s'havien mesurat a l'estació. Tanmateix, la manca de significació d'aquestes dues variables, així com els efectes semblants de la resta de variables entre els dos nivells, ens han permès tractar els resultats només a nivell de bruc individual on la mida mostral és molt superior. D'altra banda, el nombre inicial de mostres s'ha vist reduït per la pèrdua de marques que va afectar el segon mostreig, i per la manca de brucs disponibles en fer el primer mostreig, disposant finalment de 175 brucs i 50 estacions.

Per a cada variable depenent, es va seleccionar el model adequat mínim (MAM) seguint un procediment manual de selecció cap enrere en el qual, inicialment, es van incloure totes les variables explicatives i es van anar eliminant aquelles que presentaven un p-valor no significatiu major fins a obtenir les variables significatives per al model. No es va fer ús dels criteris d'informació (és a dir, AIC) per a la construcció de models, ja que AIC tendeix a seleccionar un nombre més gran de variables explicatives en el model respecte al test F que és més conservador (Crawley, 2002). A més, hem mantingut només aquelles variables amb valors $p < 0,01$. Per realitzar aquesta anàlisi, es va utilitzar el programa estadístic R 2.9.2 (R Team, 2013) amb el paquet estadístic nlme 3.1-113 (Pinheiro et al., 2015).

D'altra banda, per avaluar l'efecte de la presència de pedres o de l'herbivoria sobre la rebrotada, es varen realitzar dues ANOVAs. Amb aquestes anàlisis vam comprovar si les diferències entre les mitjanes eren significatives ($p > 0,05$) per a la variable biomassa amb cada una de les variables categòriques: presència/absència de pedres i presència/absència d'herbivoria. Les variables van ser transformades prèviament si no assolien els supòsits de l'anàlisi.

RESULTATS

Descripció espacial de la severitat del foc

A la figura 4 s'observa la variabilitat del diàmetre de branca cremada en funció de la distància al perímetre de l'àrea cremada (de 0 a 800 m). El diàmetre de branca cremada, una mesura de severitat del foc, s'ha calculat primerament fent la mitjana dels diàmetres per a cada estació i, seguidament, fent la mitjana dels diàmetres de totes les estacions d'una mateixa distància respecte al perímetre.

Es pot observar un patró general de severitat creixent en relació amb la distància al perímetre, trobant els valors més baixos a l'estació 0 i els més alts a l'estació 800. Les estacions intermèdies no són tan clares i presenten una desviació estàndard considerable.

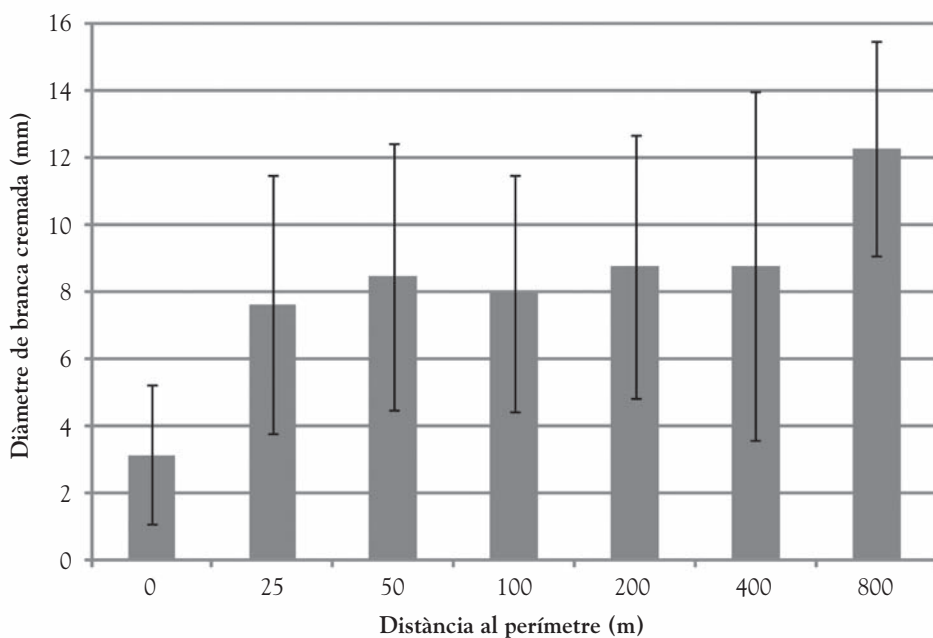


Figura 4. Diàmetre mitjà de branca cremada (mm) en funció de la distància al perímetre ($n=275$ brucs). Les barres d'errors representen la desviació estàndard.

Anàlisi dels factors implicats en el procés de rebrotada

Les variables significatives ($p < 0,01$) pel model de la biomassa són l'àrea de la rabassa (logaritme), l'alçada del primer mostreig (logaritme) i el nombre de rebrots presents al segon mostreig (arrel quadrada). La relació que s'estableix entre la biomassa i les tres variables explicatives és lineal positiva. A la figura 5,

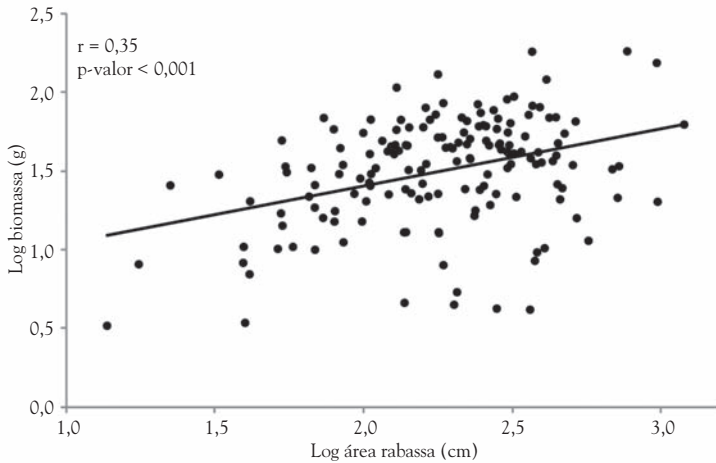


Figura 5.a) Relació bivariada ($r =$ coeficient de correlació de Pearson) entre l'àrea de la rabassa i la biomassa en pes sec en els rebrots de bruc boal, mesurat nou mesos després de l'incendi.

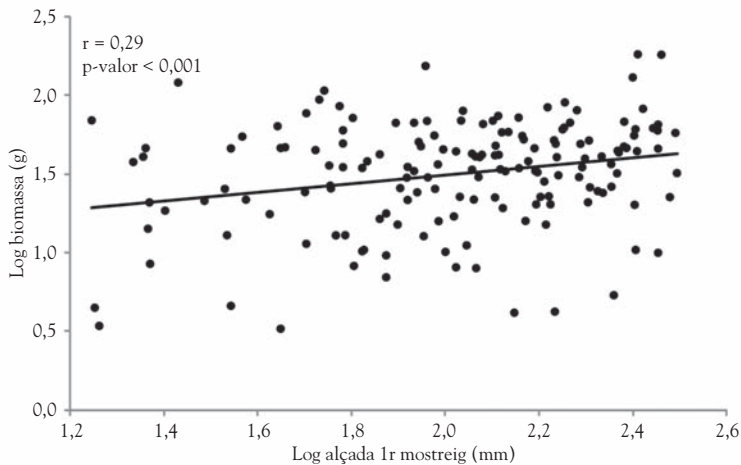


Figura 5.b) Relació bivariada ($r =$ coeficient de correlació de Pearson) entre l'alçada dels rebrots al primer mostreig i la biomassa en pes sec en els rebrots de bruc boal, mesurat nou mesos després de l'incendi.

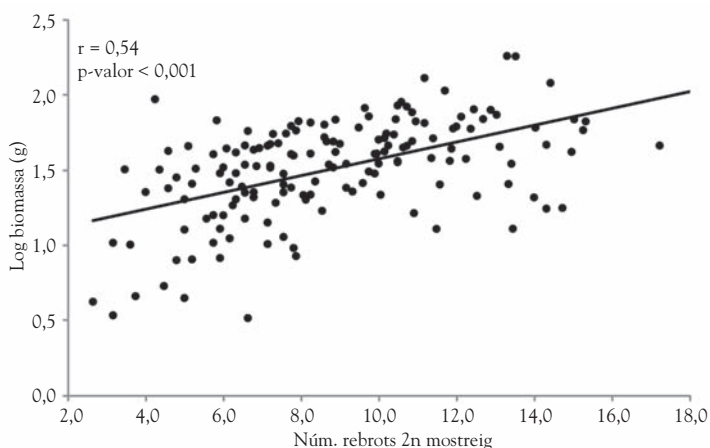


Figura 5.c) Relació bivariada (r = coeficient de correlació de Pearson) entre el nombre de rebrots en el segon mostreig i la biomassa en pes sec en els rebrots de bruc boal, mesurat nou mesos després de l'incendi.

es mostren les relacions bivariants de la biomassa per a cada una de les variables resposta. Cal remarcar que una relació significativa no implica una relació causa-efecte, i que aquestes relacions no han de ser forçosament les mateixes que les del model multivariant, ja que aquest es basa en la combinació dels efectes de les tres variables.

Pel que fa al creixement, l'única variable significativa ($p < 0,01$) ha estat el diàmetre de branca cremada (logaritme). En aquest cas, s'estableix una relació lineal negativa, és a dir, a major severitat menor creixement dels rebrots (Figura 6), tal com s'apuntava a la hipòtesi inicial. Al segon gràfic de la figura 6, es veu com el creixement final és menor a major alçada dels rebrots durant el primer mostreig, fet que ens aporta informació rellevant sobre el comportament d'aquesta variable.

Una gràfica significativa pel model bivariant que s'ha trobat rellevant en recolzar la hipòtesi de partida, tot i no aparèixer en el model multivariant, és la relació entre diàmetre de branca i fondària de la gemma. A la figura 7 s'observa com, a major severitat, les gemmes supervivents es troben a més fondària. D'altra banda, cal remarcar que la variable orientació no ha presentat relacions significatives amb cap de les variables resposta analitzades.

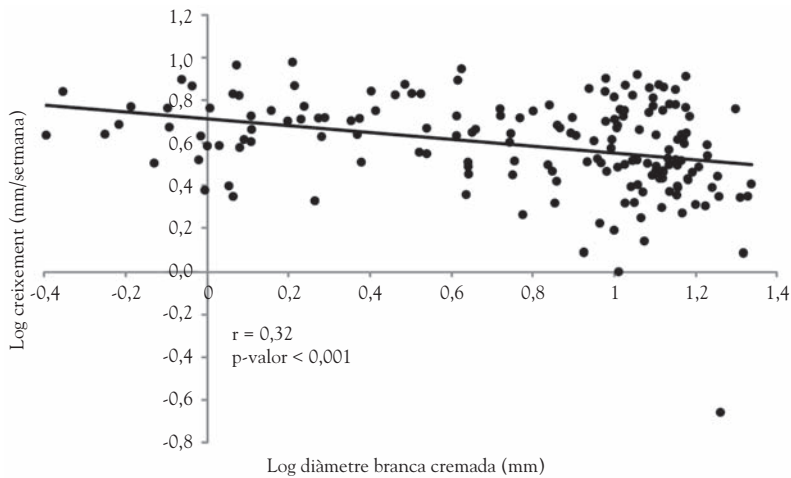


Figura 6.a) Relació bivariada (r = coeficient de correlació de Pearson) de la severitat del foc (diàmetre de branca cremada) i el creixement dels rebrots de bruc boal, mesurat nou mesos després de l'incendi.

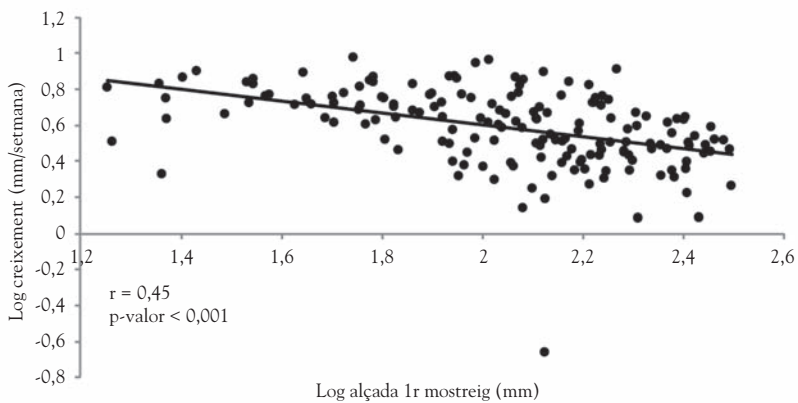


Figura 6.b) Relació bivariada (r = coeficient de Pearson) de l'alçada en el primer mostreig i el creixement dels rebrots de bruc boal, mesurat nou mesos després de l'incendi.

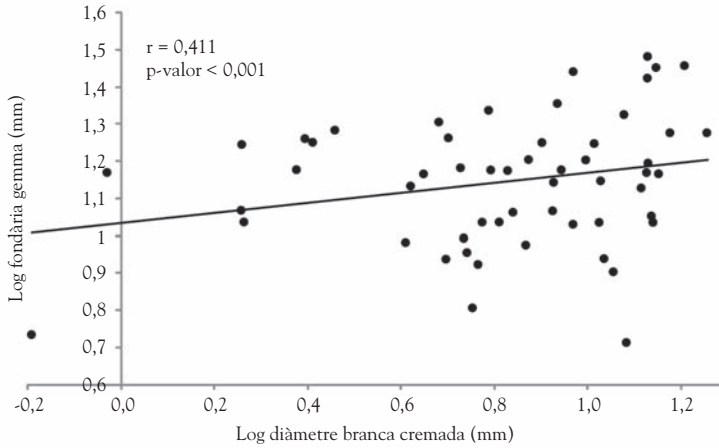


Figura 7. Relació (r = coeficient de correlació de Pearson) entre la severitat del foc (diàmetre de branca cremada) i la fondària de la gemma.

Efecte de la presència de pedres i de l'herbivoria

La presència de pedres no ha sortit significativa per a la rebrotada. En canvi, l'herbivoria, sí que ha sortit significativa ($p > 0,05$), implicant un menor creixement dels rebrots afectats.

DISCUSSIÓ

L'heterogeneïtat del foc

En primer lloc, cal remarcar que no disposem d'una mesura directa de la relació entre el diàmetre de branca cremada del bruc boal i la severitat del foc, ja que es requeriria un foc controlat. Per tant, la nostra mesura és una estima de la severitat, la qual indica la disminució del volum de vegetació per efecte del foc.

La severitat del foc en aquest incendi, tot i presentar un cert patró espacial en relació amb la distància al perímetre, té també un caràcter heterogeni a petita escala. La severitat del foc depèn de la disponibilitat,

tipus i estat del combustible, la força i direcció del vent, el relleu, etc., totes elles característiques heterogènies en el territori. Tots aquests elements expliquen que aquesta pugui variar entre dos punts molt propers. En aquest incendi, la severitat es veu modificada per dos factors clau: el fort vent durant l'incendi i els grans esforços d'extinció en les proximitats de nuclis habitatats i edificacions aïllades. Aquests fets també han permès la presència de nombroses taques de vegetació no cremada que s'observen a l'ortofotomapa realitzat poc després del pas del foc (Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Alimentació i Medi Natural, 2015).

Severitat del foc i creixement dels rebrots

D'una banda hem observat com la severitat durant els primers quatre mesos de l'estudi promou la rebrotada ja que, a més severitat, trobem més alçada en el primer mostreig. Aquesta idea coincideix amb els resultats de Riba (1998) que mostren que l'increment del dany pel que fa a la capçada promouria la rebrotada, ja que aquesta actua com a mecanisme compensatori. Per contrapartida, el creixement és menor a major severitat, és a dir, que es produeix l'efecte contrari després del primer mostreig. El fet que el 75% dels rebrots més alts del primer mostreig deixen de ser-ho en el segon, reforça aquesta idea. Aquest fet podria explicar-se per la vellesa dels peus, o per l'esgotament de recursos provinents de la rabassa, tot alentint el creixement. D'altra banda, a severitats menors tenim l'efecte contrari: en el primer moment els rebrots presenten menys alçada, però després el creixement s'incrementa (figura 8).

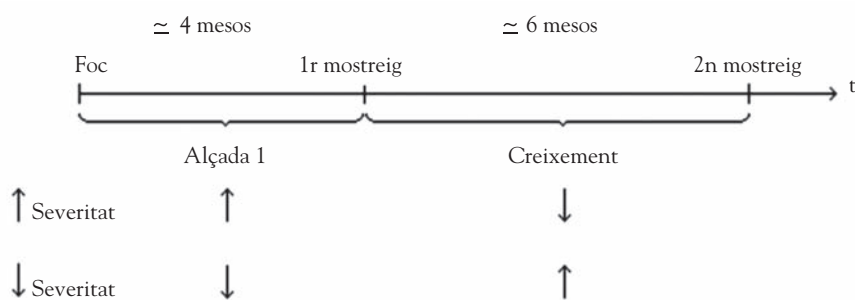


Figura 8. Esquema de les relacions de la severitat del foc amb les variables de creixement, al llarg del mostreig.

La biomassa dels rebrots

La biomassa dels rebrots, que depèn de l'àrea de la rabassa, del nombre de rebrots i de l'alçada, no ha esdevingut significativa com es preveia en les hipòtesis inicials. Aquest fet pot ser a causa d'una major complexitat d'aquesta variable, que les variables explicatives més importants no fossin avaluades o que el bruc presenti mecanismes diferents d'altres espècies estudiades. En aquest sentit l'edat de la rabassa, que és una variable important en la rebrotada (Riba, 1997), hi podria tenir una importància clau que no s'ha tingut en compte. Analitzant zones afectades per focs anteriors, es podria haver sabut l'edat dels brucs (sempre que hagin cremat), ja que després del foc tots rebroten gairebé al mateix moment.

Altres factors a destacar

La correlació positiva entre el diàmetre de branca i la fondària de la gemma sembla donar suport parcialment a la hipòtesi de partida que, a més severitat, les gemmes més superficials queden malmeses i rebroten les de més fondària. Ho fa parcialment perquè no acaba afectant l'alçada dels rebrots, que sembla més influenciada per l'efecte de la severitat.

Per manca de temps, de la fondària de la gemma només es va agafar una mostra per estació en lloc de cinc, quedant una grandària de la mostra més reduïda. També hauria estat molt interessant mirar la fondària de la gemma dels rebrots marcats per tal de poder analitzar la relació entre fondària de la gemma i alçada, però es va pensar un cop ja s'havien tallat els rebrots per calcular la biomassa.

L'herbivoria es va constatar durant el primer mostreig i no en el segon, segurament pel fet que ja havien sortit les herbàcies germinadores seleccionades positivament pels herbívors salvatges. Tal com s'ha trobat a la bibliografia, el creixement dels rebrots que havien patit herbivoria ha sortit significativament menor als que no l'han patida. La presència de pedres que podrien protegir la rabassa de les elevades temperatures durant el foc no ha tingut un efecte significatiu.

Implicacions per a la gestió

Les respostes de l'ecosistema davant d'un incendi inclouen alguns processos que estan afectats per la intensitat i la severitat del foc. Aquests

processos, tant abiòtics com biòtics, inclouen l'erosió, processos hidrològics, la regeneració de la vegetació, la recolonització faunística, entre altres. Poder predir com la intensitat o severitat del foc afecta aquestes respostes és un punt clau en la gestió postincendi (Keeley, 2009).

El bruc boal és il·lustratiu d'una vegetació mediterrània adaptada a pertorbacions recurrents. La capacitat de resposta d'aquesta vegetació facilita molt la recuperació de l'ecosistema i la seva gestió posterior. Tanmateix, les variacions d'intensitat del foc a l'àrea cremada s'haurien de tenir en compte a l'hora de gestionar els boscos cremats (Úbeda *et al.*, 2006). Per exemple, els arbres que sobreviuen al foc en zones cremades a baixa intensitat esdevenen refugis per a la fauna i fonts de colonització i, per aquest motiu, caldria preservar-los quan es fan aprofitaments forestals. Per tant, poder disposar de dades de severitat del foc en incendis forestals pot ajudar a millorar la gestió i adaptar-la a les condicions de cada rodal.

Depenent de l'objectiu de la gestió, la reacció de les espècies a la pertorbació determinarà unes mesures o unes altres. Si l'objectiu és que el bosc es regeneri de forma natural, en indrets on el bruc sigui dominant i hi hagi unes condicions postincendi semblants a les de l'estudi (precipitacions i temperatures no molt baixes) el sotabosc es recuperarà ràpidament i sense necessitat d'intervenció. Si l'objectiu és mantenir l'hàbitat obert per fer franges de seguretat, tallafocs, recuperació d'espais oberts, etc., caldrà tenir en compte la necessitat de realitzar tractaments postincendi (pastures, cremes controlades, etc.) si es vol limitar la rebrotada del bruc boal.

En una zona cremada de gran extensió, com és el cas de l'incendi de l'Alt Empordà, caldria una gestió coordinada que tingués en compte les especificitats de cada rodal. D'aquesta manera es podrien seleccionar les estratègies òptimes de gestió per a aspectes tècnics, econòmics, ecològics i ambientals.

Cal afegir que el nostre estudi es pot relacionar amb la recolonització animal de la zona cremada. La recuperació ràpida del sotabosc dominat per rebrotadores com el bruc boal té un paper clau en la mobilitat dels animals de mida més petita, ja que suposa un menor risc de depredació i, per tant, facilita una recolonització més ràpida (Brooker i Rowley, 1991).

En resum, hem pogut constatar que la severitat del foc afecta la capacitat de rebrotada del bruc i que aquesta capacitat de resposta a la pertorbació facilita la recuperació de l'ecosistema, per tant, s'hauria de tenir en compte en la gestió postincendi.

BIBLIOGRAFIA

- AJUNTAMENT DE LA JONQUERA, "Pla d'ordenació urbanística municipal (POUM)", 2004.
- BROOKER, M.G.; ROWLEY, I., "Impact of wildfire on the nesting behavior of birds in heathland." *Wildlife Research* 18, 1991, p. 249-263.
- CANADELL, J.; LÓPEZ-SORIA L., "Lignotuber reserves support regrowth following clipping of two Mediterranean shrubs", *Functional Ecology*, 12, 1998, p. 31-38.
- CLARKE, P.J.; LAWEA, M.J.; MIDGLEY, J.J.; LAMONT, B.B.; OJEDA, F.; BURROWS, G.E.; ENRIGHT, N.J.; KNOX, K.J., "Resprouting as a key functional trait: how buds, protection and resources drive persistence after fire". *New phytologist*, 197, 2013, p. 19-35.
- CRAWLEY, M.J., *An Introduction to Data Analysis using S-Plus*. West Sussex, Wiley Editorial., 2002.
- DEPARTAMENT D'AGRICULTURA, RAMADERIA, PESCA, ALIMENTACIÓ I MEDI NATURAL. Generalitat de Catalunya (2015) "Incendis forestals".
<http://agricultura.gencat.cat/ca/serveis/cartografia-sig/bases-cartografiques/bosc/incendis-forestals/>. Accedit el 12/04/2015.
- DEPARTAMENT DE TERRITORI I SOSTENIBILITAT, Generalitat de Catalunya (2015). "Habitats"
http://mediambient.gencat.cat/ca/o5_ambits_dactuacio/patrimoni_natural/sistemes_dinformacio/habitats. Accedit el 13/04/2015.
- KEELEY, J.E., "Fire intensity, fire severity and burn severity: a brief review and suggested usage". *International Journal of Wildland Fire*, 18, 2009, p. 116-126.
- KEELEY, J.E.; BOND, J.W.; BRADSTOCK, R.A.; PAUSAS, J.G., *Fire in Mediterranean Ecosystems. Ecology, Evolution and Management*. New York, Cambridge University Press, 2012.
- LAMONT B.B.; ENRIGHT N.J.; HE, T., "Fitness and evolution of resprouters in relation to fire". *Plant Ecology*, 212, 2011, p. 1945-1957.
- MORENO J.M.; OECHEL W.C., "Fire intensity in Californian Chaparral". *Acta OEcologica/OEcologia Plantarum*, 10, 1989, p. 57-68.
- MORENO J.M.; OECHEL W.C., "Fire intensity and herbivory effects on post-fire resprouting of *Adenostoma-fasciculatum* in Southern California Chaparral". *Acta OEcologica*, 85, 1991, p. 429-433.
- MORENO J.M.; TORRES, I.; LUNA, B.; OECHEL W.C.; KEELEY J.E., "Changes in fire intensity have carry-over effects on plant responses after the next fire in southern California chaparral". *Journal of Vegetation Science*, 24, 2013, p. 395-404.
- PAULA, S.; OJEDA, F., "Resistance of three co-occurring resprouter *Erica* species to highly frequent disturbance". *Plant Ecology*, 183, 2006, p. 329-336.
- PAULA, S.; OJEDA, F., "Response to recurrent disturbance in two co-occurring resprouter heath species: the ecological consequences of withstanding herbivores". *Plant Ecology*, 212, 2011, p. 2035-2045.
- PAULA, S. I PAUSAS, J.G., (2013) BROT: a plant trait database for Mediterranean Basin species. Version 2013.06. URL: <http://www.uv.es/jgpausas/brot.htm>. Accedit el 26/02/2015.
- PAUSAS, J.G., *Incendis forestals*. Madrid, CSIC i Catarata, 2012.

- PAUSAS, J.G.; KEELEY, J.K., "Evolutionary ecology of resprouting and seeding in fire-prone ecosystems". *New Phytologist*, 204, 2014, p. 55-65.
- PÉREZ-HARGUINDEGUY N.; DÍAZ S.; GARNIER E.; LAVOREL S.; POORTER H.; JAUREGUIBERRY P.; BRET-HARTE M. S.; CORNWELL W. K.; CRAINE J. M.; GURVICH D. E.; URCELAY C.; VENEKLAAS E. J.; REICH P. B.; POORTER L.; WRIGHT I. J.; RAY P.; ENRICO L.; PAUSAS J. G.; DE VOS A. C.; BUCHMANN N.; FUNES G.; QUÉTIER F.; HODGSON J. G.; THOMPSON K.; MORGAN H. D.; TER STEEGE H.; VAN DER HEIJDEN M. G. A.; SACK L.; BLONDER B.; POSCHLOD P.; VAIERETTI M. V.; CONTI G.; STAYER A. C.; AQUINO S.; CORNELISSEN J. H. C., "New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide". *Australian Journal of Botany*, 61, 2013, p. 167-234.
- PINHEIRO J.; BATES D.; DEBROY S.; SARKAR D.; CORE TEAM, R., Nime: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models. R package version 3.1-119, <http://CRAN.R-project.org/package=nlme>. Accedit el 13/02/2015.
- PONS, P.; CLAVERO, M., "Bird responses to fire severity and time since fire in managed mountain rangelands". *Animal Conservation*, 13, 2010, p. 294-305.
- PONS, P.; FONT, B. TOBELLA C.; CLARABUCH, O.; PUIG, R., "L'incendi de la Jonquera 2012 i la fauna: poblacions animals, funcions ecològiques i recomanacions de gestió". Informe final corresponent a l'ajut Foc al Cor. Universitat de Girona, 2013.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM, "R: A Language and Environment for Statistical Computing.", <http://www.R-project.org/>. Accedit el 13/02/2015.
- RIBA, M., "Effects of cutting and rainfall pattern on resprouting vigor and growth of *Erica arborea* L". *Journal of Vegetation Science*, 8, 1997, p. 401-404.
- RIBA, M., "Effects of intensity and frequency of crown damage in resprouting of *Erica arborea* L. (Ericaceae)". *Acta Oecologica*, 19, 1998, p. 9-16.
- TERRADAS, J., *Ecologia del foc*. Barcelona, Proa, 1996.
- ÚBEDA, X.; OUTEIRO, L.R, SALA, M., "Vegetation regrowth after a differential intensity forest fire in a Mediterranean environment, northeast Spain". *Land Degradation & Development*, 17, 2006, p. 429-440.