



This is the **accepted version** of the article:

Ogaya Inurriagarro, Romà; Escolà, Anna; Liu, Daijun; [et al.]. «Efectes de l'estassada en un alzinar amb baixa disponibilitat d'aigua». Actes de la V Jornades sobre el Bosc de Poblet i les Muntanyes de Prades, L'Espluga de Francolí, Tarragona, : 2020.

This version is available at <https://ddd.uab.cat/record/218304>

under the terms of the  license

1 Efectes de l'estassada en un alzinar amb baixa disponibilitat 2 d'aigua.

3 Romà Ogaya^{1,2}, Anna Escolà^{1,2}, Daijun Liu^{1,2}, Adrià Barbeta^{1,2,3}, Josep Peñuelas^{1,2}.

4

5 ¹CREAF, Cerdanyola del Vallès, 08193, Barcelona.

6 ²CSIC, Unitat d'Ecologia Global CREAM-CEAB-CSIC, UAB, 08193, Cerdanyola del
7 Vallès, Barcelona.

8 ³INRA, UMR ISPA, F-33140, Villenave d'Ornon, France.

9

10 **Resum.**

11 En un alzinar natural s'ha realitzat una estassada selectiva per a estudiar el seu ús com a
12 eina per a reduir la mortalitat d'arbres, l'augment de la productivitat forestal, i invertir la
13 regressió recent que està patint l'espècie dominant (l'alzina, *Quercus ilex*) degut al canvi
14 climàtic. Durant els 4 anys estudiats, l'estassada ha comportat un augment de la
15 productivitat i una disminució de la mortalitat de troncs en aquest alzinar, contribuint al
16 manteniment del funcionament de l'ecosistema sota les condicions climàtiques canviants.
17 *Q. ilex* ha estat l'única espècie que ha experimentat un major creixement dels troncs,
18 independentment del seu tamany, i una disminució de la mortalitat degut a l'estassada
19 selectiva. En canvi, el creixement i la mortalitat de troncs no ha variat significativament
20 en les altres espècies arbustives, més resistents a la sequera que *Q. ilex*. Els nostres
21 resultats posen de manifest la utilitat de l'estassada selectiva com a eina per a augmentar
22 la productivitat forestal i contribuir a la conservació d'aquest bosc mediterrani. Altres
23 beneficis de l'aclarida selectiva, com la disminució del risc d'incendi forestal i
24 l'increment de la disponibilitat d'aigua per a la població, també han estat discutits en
25 aquest treball.

26

27 **Introducció.**

28 La temperatura de l'aire ha augmentat arreu del món, i està previst que continuï
29 augmentant durant les properes dècades. Unes taxes d'evaporació més elevades degudes
30 a un increment de la temperatura, junt amb un augment en la freqüència d'episodis de
31 sequera extrema, estan previstes per a la Conca Mediterrània, la qual ja està actualment
32 sotmesa a episodis de sequera (IPCC, 2013). Un augment de la temperatura i de la sequera
33 pot comportar importants canvis en la funció dels boscos com a embornals de carboni
34 (Reichstein et al., 2013). A més, una forta relació entre dèficit de precipitació i episodis
35 de sequera extrema han estat observats arreu del món, i per les regions mediterrànies,
36 s'espera un increment en la freqüència d'onades de calor coincidint amb l'estiu, que
37 comportaran una evapotranspiració més elevada, i per tant una disponibilitat d'aigua cada
38 cop més baixa (Fischer i Schar, 2010). Varis ecosistemes forestals semiàrids i
39 mediterranis estan estacionalment exposats a la sequera i poden ser particularment
40 vulnerables fins i tot a petits increments de dèficit hídric, cosa que pot reduir el creixement
41 (Ogaya i Peñuelas, 2007; Barbeta et al., 2013) i incrementar la mortalitat dels arbres
42 (Williams et al., 2013).

43 Els ecosistemes forestals contenen grans estocs de carboni (C) i representen un
44 important embornal potencial de C (Pan et al., 2011). Els ecosistemes forestals poden
45 esmorteir el canvi climàtic segrestant C, per tant, cal avaluar els efectes de la gestió
46 forestal sobre la seva funció com a embornals de C. L'estassada selectiva és una pràctica
47 comuna per millorar la salut dels boscos, la seva productivitat i accelerar la successió
48 forestal. Els arbres romanents després de l'aclarida generalment reben més radiació solar,
49 humitat del terra, matèria orgànica i nutrients al sòl, que augmenten la seva capacitat
50 fotosintètica (Chang et al., 2016). L'estassada selectiva és una gestió estratègia comuna

51 a zones mediterrànies per incrementar el creixement dels arbres i la productivitat forestal,
52 però l'estassada pot a més incrementar la capacitat dels arbres mediterranis de tolerar
53 condicions de sequera, tot reduint la densitat de troncs i el consegüent increment de
54 disponibilitat d'aigua per tronc (Chang et al., 2016). Varis boscos mediterranis son boscos
55 menuts amb una elevada densitat de troncs degut a gestions ancestrals adreçades a obtenir
56 fusta i carbó, seguit d'un elevat nombre de rebrots per tronc tallat.

57 L'alzina (*Quercus ilex* L.) és una espècie d'arbre dominant molt abundant en
58 boscos subhumits de la conca mediterrània. Vàries espècies de port arbustiu alt, amb
59 menors taxes de creixement però més resistents a la sequera que l'alzina també estan
60 presents en aquests boscos (Ogaya i Peñuelas, 2007). Una major mortalitat d'arbres, junt
61 amb una menor germinació de llavors i una supervivència de les plàntules més baixa en
62 *Q. ilex*, pot comportar una disminució progressiva d'aquesta espècie dominant en favor
63 d'altres espècies associades a aquest bosc, que son més resistents a condicions de dèficit
64 de disponibilitat d'aigua (Barbeta et al., 2013; Liu et al., 2015). En una estassada
65 convencional, tots els troncs petits son tallats i només romanen els tronc més grans, de
66 manera que sovint pràcticament tots els troncs romanents son de *Q. ilex*, en canvi tots els
67 troncs d'altres espècies de menor tamany son pràcticament eliminats. Així doncs, una
68 estassada convencional confereix un avantatge addicional per a *Q. ilex*, més enllà de la
69 disminució de la densitat de troncs.

70 El principal objectiu d'aquest treball és estudiar l'ús de l'estassada selectiva com
71 a eina per a compensar el decaïment forestal i la mortalitat d'arbres en un bosc mediterrani,
72 i investigar la interacció entre els factors que contribueixen al canvi climàtic i les
73 pràctiques recents de gestió forestal (Doblas-Miranda et al., 2015). També hem comparat
74 les respostes de *Q. ilex* i les altres espècies coexistents (més resistents a condicions de
75 sequera) a l'aclarida selectiva experimental. Hem estudiat aquestes respostes en vàries

76 espècies tallant els troncs més petits de cada individu, de manera que els troncs més grans
77 de totes les espècies han romàs després de l'estassada selectiva.

78

79 **Material i mètodes.**

80 *Zona d'estudi.*

81 La zona d'estudi està situada en un vessant sud (25% de pendent) de les Muntanyes de
82 Prades (41°21' N, 1°2' E), a una altitud de 950 m. El sòl és un Dystric Cambisol sobre
83 esquist paleozoic, la seva profunditat varia entre 35 i 100 cm. La temperatura mitjana
84 anual és de 12.3 °C, i la pluja anual és de 603 mm (dades del període 1998-2015). El
85 període eixut durant l'estiu és pronunciat i dura uns tres mesos. La vegetació és un bosc
86 molt dens (16616 troncs ha⁻¹) dominat per *Q. ilex* (8633 troncs ha⁻¹), *Phillyrea latifolia*
87 L. (3600 troncs ha⁻¹) i *Arbutus unedo* L. (2200 troncs ha⁻¹), amb una abundància d'altres
88 espècies ben adaptades a la sequera, i ocasionalment espècies de fulla caduca. Aquest
89 bosc no ha estat pertorbat durant els darrers 80 anys, i l'alçada màxima dels arbres
90 dominants és d'uns 6-10 m. Una estació meteorològica automàtica instal·lada a la zona
91 d'estudi ha registrat la temperatura de l'aire, la humitat i la pluja des de finals de 1998.

92

93 *Disseny experimental i creixement dels arbres.*

94 Tres parcel·les de 15 × 10 m han estat delimitades a la mateixa altitud al llarg del vessant,
95 en les quals es va realitzar l'estassada a finals de 2011, extraient un 20% de l'àrea basal
96 (BA) (Taula 1). Unes altres quatre parcel·les de 15 × 10 m utilitzades en un altre
97 experiment situades a la mateixa zona no han estat estassades i han estat considerades
98 parcel·les control (Liu et al., 2015).

99

100 Taula 1. Àrea basal (BA) de les espècies dominants a cada parcel·la aclarida
 101 immediatament abans i després de l'estassada.
 102

Parcel·la	Espècie	BA abans estassada (m ² ha ⁻¹)	BA després estassada (m ² ha ⁻¹)	BA eliminada (%)
1	<i>Q. ilex</i>	43.57	38.41	11.84
	<i>P. latifolia</i>	2.64	1.10	58.39
	<i>A. unedo</i>	10.06	5.80	42.37
	Totes	56.27	45.31	19.48
2	<i>Q. ilex</i>	29.31	24.59	16.09
	<i>P. latifolia</i>	2.57	1.77	31.04
	<i>A. unedo</i>	9.75	6.43	34.02
	Totes	41.83	33.00	21.11
3	<i>Q. ilex</i>	42.14	33.86	19.64
	<i>P. latifolia</i>	4.94	1.45	70.53
	<i>A. unedo</i>	5.15	3.59	30.36
	Totes	53.71	39.53	26.39

103

104 El diàmetre dels troncs ha estat mesurat els hiverns de 2012 i 2016 a totes les
 105 parcel·les (estassades i control), i també a finals de tardor de 2011 a les parcel·les
 106 estassades (just abans de l'estassada) per tal de calcular-ne el percentatge de BA eliminat.
 107 El diàmetre dels troncs ha estat calculat a partir del perímetre mesurat a 50 cm d'alçada
 108 amb una cinta mètrica, a tots els troncs de qualsevol espècie majors de 2 cm de diàmetre.
 109 La BA ha estat calculada a cada tronc a partir del seu perímetre a 50 cm d'alçada, assumint
 110 que la secció del tronc equival a una circumferència. El tamany dels troncs ha estat

111 classificat en tres categories: troncs petits (2-6 cm de diàmetre), troncs mitjans (6-10 cm
112 de diàmetre) i troncs grans (>10 cm de diàmetre). La taxa de mortalitat anual (m) ha estat
113 calculada tal i com es descriu a Sheil et al. (1995): $m=1-(1-(N_o-N_t)/N_o)^{1/t}$, on “ N_o ” és el
114 nombre de troncs a l’inici de l’experiment, “ N_t ” és el nombre de troncs al final de
115 l’experiment i “t” és el nombre d’anys transcorreguts durant l’experiment.

116 La biomassa aèria ha estat estimada a partir d’equacions al·lomètriques entre la
117 biomassa aèria (AB) i el diàmetre del tronc mesurat a 50 cm d’alçada (D50). Arbres de
118 *Q. ilex* i *P. latifolia* han estat tallats fora de les parcel·les mesurar-ne el diàmetre a 50 cm
119 d’alçada i pesar-ne tota la biomassa aèria després d’assecar-la en una estufa a 105°C fins
120 a assolir un pes constant. La biomassa aèria de *Q. ilex* i *P. latifolia* a cada parcel·la ha
121 estat estimada a partir de les següents equacions al·lomètriques: ($\ln AB=4.9+2.3 \ln D50$,
122 $R^2=0.98$, $n=12$, $P<0.001$ per a *Q. ilex* i $\ln AB=4.3+2.5 \ln D50$, $R^2=0.97$, $n=13$, $P<0.001$
123 per a *P. latifolia*). La biomassa aèria d’*A. unedo* a cada parcel·la ha estat estimada a partir
124 d’una equació al·lomètrica calculada prèviament a la mateixa zona d’estudi per Lledó
125 (1990) ($\ln AB=3.8+2.6 \ln D50$, $R^2=0.99$, $n=10$, $P<0.001$). Per a les altres espècies, la seva
126 AB ha estat estimada a partir de les equacions al·lomètriques de *Q. ilex* per a les altres
127 espècies arbòries, i a partir de les equacions al·lomètriques de *P. latifolia* per a les altres
128 espècies arbustives.

129

130 *Dades d’index d’àrea foliar.*

131 La biomassa de les fulles també ha estat estimada a partir d’equacions al·lomètriques
132 entre la biomassa foliar a cada arbre (BL) i el seu diàmetre a una alçada de 50 cm (D50),
133 mesurades en arbres de *Q. ilex* i *P. latifolia* fora de les parcel·les, en els quals a part de
134 mesurar el perímetre a 50 cm també s’ha mesurat la biomassa de totes les fulles després
135 d’assecar-les en una estufa a 105°C fins a assolir un pes constant. La biomassa de les

136 fulles de *Q. ilex* i *P. latifolia* han estat estimades a partir de les següents equacions
 137 al·lomètriques: ($\ln BL = 3.5 + 1.7 \ln D50$, $R^2 = 0.91$, $n = 12$, $P < 0.001$ per a *Q. ilex* i
 138 $\ln BL = 1.4 + 2.4 \ln D50$, $R^2 = 0.81$, $n = 13$, $P < 0.001$ per a *P. latifolia*). La biomassa de les
 139 fulles d'*A. unedo* ha estat estimada a partir d'una equació al·lomètrica calculada
 140 prèviament a la mateixa zona d'estudi per Lledó (1990) ($\ln BL = 1.9 + 2.2 \ln D50$, $R^2 = 0.95$,
 141 $n = 10$, $P < 0.001$). Per les altres espècies, la seva biomassa foliar ha estat estimada a partir
 142 de les equacions al·lomètriques de *Q. ilex* per a les altres espècies arbòries, i a partir de
 143 les equacions al·lomètriques de *P. latifolia* per a les altres espècies arbustives.

144 La superfície de totes les fulles ha estat estimada assumint una relació entre la
 145 massa i l'àrea foliar de 20 mg cm⁻² per a *Q. ilex* leaves i de 15 mg cm⁻² per a *P. latifolia* i
 146 totes les altres espècies, tal i com ha estat observat en un altre estudi realitzat a la mateixa
 147 zona (Ogaya i Peñuelas, 2006). L'índex d'àrea foliar (LAI) ha estat calculat a partir de la
 148 biomassa de les fulles i de la seva superfície, per a cada espècie (*Q. ilex*, *P. latifolia*, i *A.*
 149 *unedo*), i un LAI total per a cada parcel·la (Taula 2).

150

151 Taula 2. Índex d'àrea foliar (LAI) de les espècies dominants a cada parcel·la aclarida
 152 immediatament abans i després de l'estassada.

153

Parcel·la	Espècie	LAI abans estassada (m ² de fulles per m ² de superfície de parcel·la)	LAI després estassada (m ² de fulles per m ² de superfície de parcel·la)	LAI eliminat (%)
1	<i>Q. ilex</i>	4.52	3.86	14.54
	<i>P. latifolia</i>	0.16	0.07	59.49
	<i>A. unedo</i>	0.77	0.44	43.25
	Totes	5.45	4.36	19.95

2	<i>Q. ilex</i>	3.13	2.52	19.49
	<i>P. latifolia</i>	0.18	0.13	28.74
	<i>A. unedo</i>	0.75	0.48	36.55
	Totes	4.07	3.14	22.98
3	<i>Q. ilex</i>	4.69	3.54	24.54
	<i>P. latifolia</i>	0.44	0.10	77.54
	<i>A. unedo</i>	0.39	0.30	29.22
	Totes	5.64	3.97	29.61

154

155 *Anàlisi de les dades.*

156 L'efecte de l'estassada en l'increment de BA durant tot el període estudiat (2012-2015)

157 ha estat testat amb un model lineal general, amb el tractament d'estassada, la categoria de

158 tamany de tronc i l'espècie com a factors independents, i amb el percentatge d'increment

159 de BA a cada parcel·la com a variable dependent. Tests post-hoc han servit per comparar

160 els efectes de l'estassada en els increments de BA per a cada espècie i categoria de tamany

161 de tronc. Anàlisis de variança (ANOVAs) han estat realitzats per testar l'efecte de

162 l'estassada en la mortalitat dels troncs i l'increment de biomassa aèria, amb el tractament

163 d'estassada i l'espècie com a factors independents, i la taxa de mortalitat anual i el

164 percentatge d'increment de biomassa aèria com a variables dependents. Les dades

165 d'increment de BA i biomassa aèria (p) i la taxa de mortalitat anual (m) han estat

166 transformades: $\arcsin(p)^{1/2}$ i $\arcsin(m)^{1/2}$ per tal d'assolir les assumpcions d'una

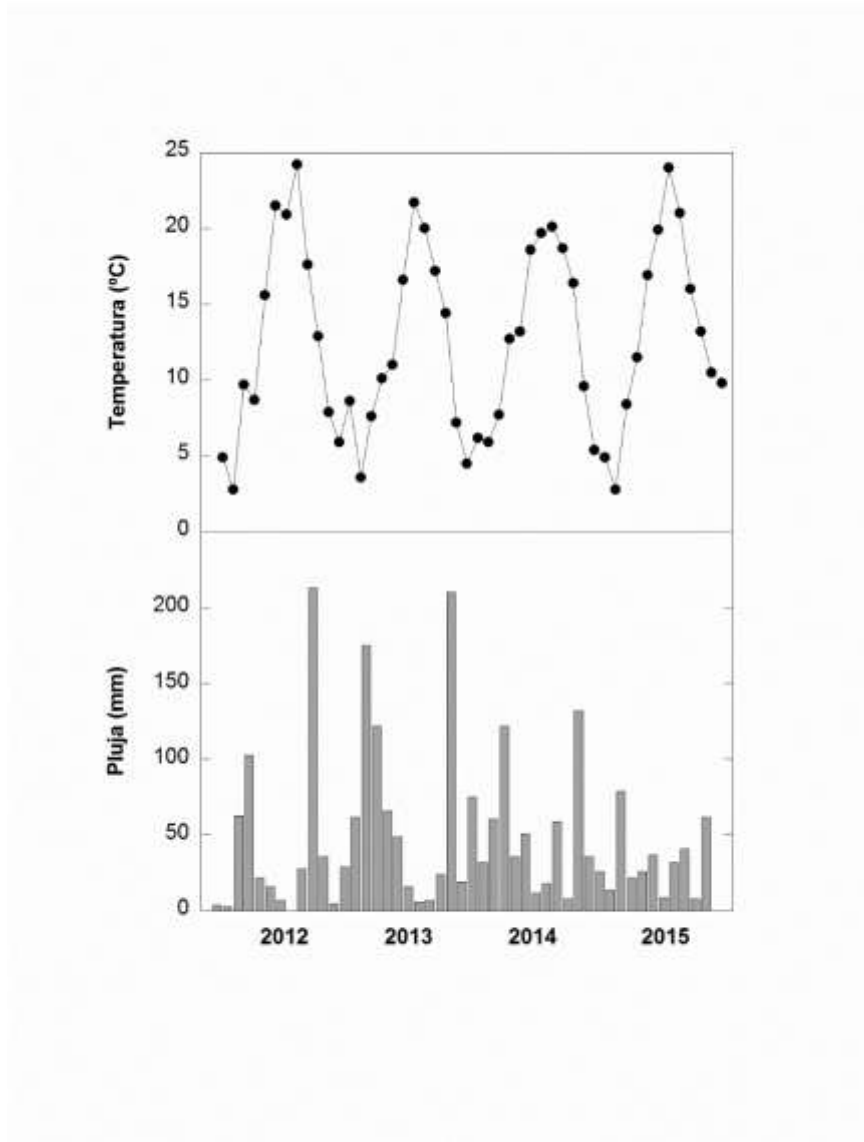
167 distribució normal. Finalment, un altre ANOVA ha estat realitzat amb les dades de LAI

168 per parcel·la com a variable dependent, i l'espècie i el tractament d'estassada com a

169 factors independents. Totes les anàlisis han estat realitzades amb el paquet estadístic

170 Statistica10 (StatSoft Inc., Palo Alto, CA, USA).

171 Fig. 1. Temperatura mitjana anual i pluja anual de la zona d'estudi durant tot el període
172 estudiat.



173

174

175 **Resultats.**

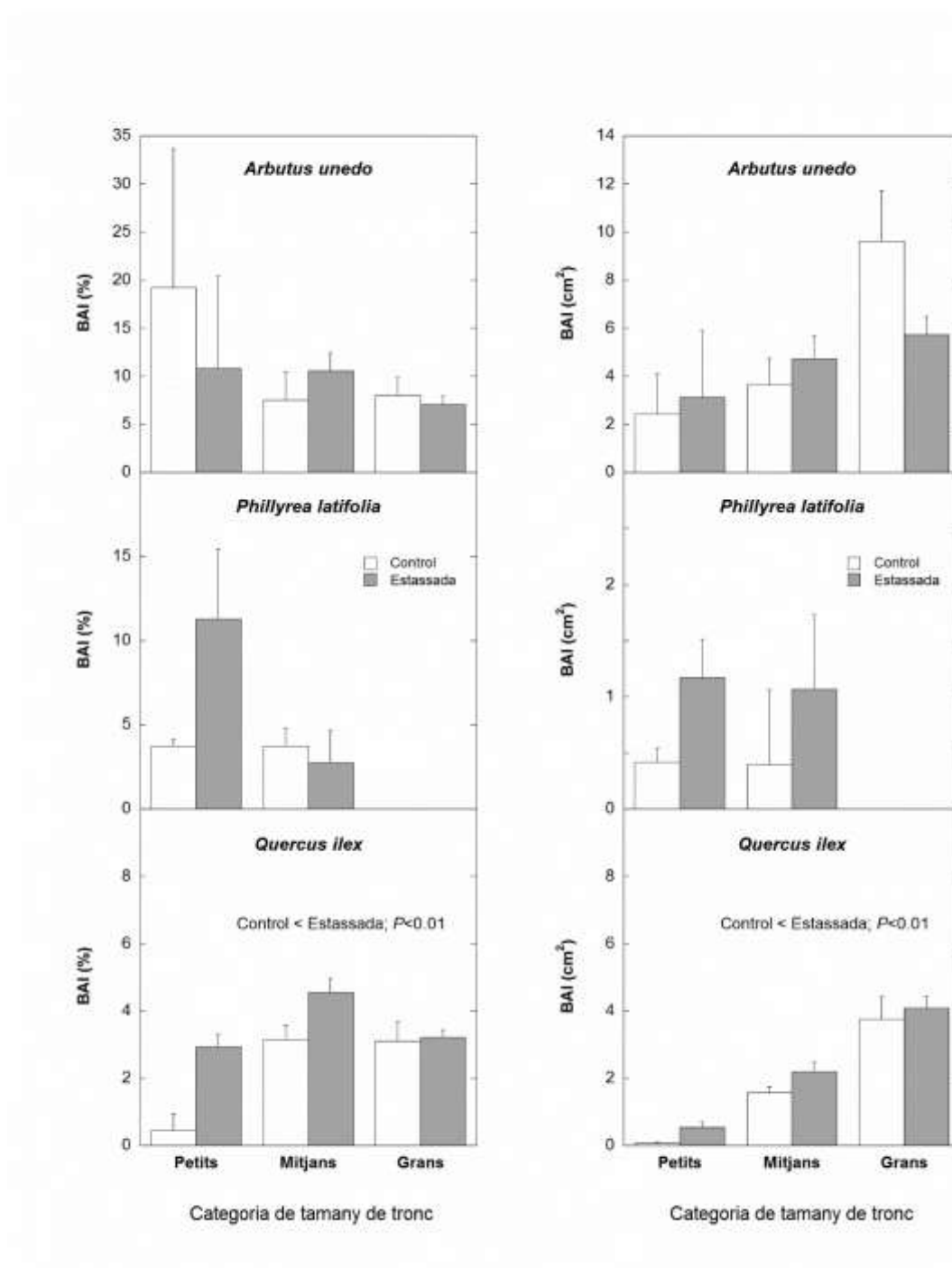
176 *Dades climàtiques.*

177 En general, les condicions climàtiques durant el període estudiat (2012-2015) han estat
178 les típiques de zones mediterrànies, amb estius secs i càlids, i hiverns moderadament freds.
179 L'any 2015 va ser especialment sec i calorós (13.3°C de temperatura mitjana i 355 mm
180 de pluja anuals), l'any 2013 especialment plujós i fred (11.9°C de temperatura mitjana i

181 783 mm de pluja anuals), i les condicions durant els anys 2012 i 2014 van ser més
 182 semblants a les habituals en aquesta zona (Fig. 1).

183

184 Fig. 2. Increment d'àrea basal (BAI) a les parcel·les aclarides i control (3 i 4 parcel·les,
 185 respectivament) per a cada espècie i categoria de tamany de tronc, durant tot el període
 186 estudiat. Les barres d'error corresponen a l'error estàndard de la mitja.



187

188

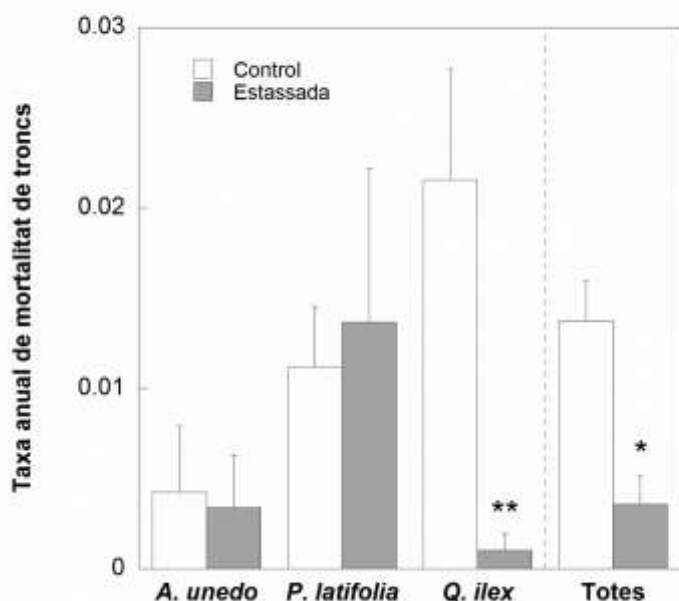
189 *Àrea basal i mortalitat.*

190 L'estassada ha fet augmentar significativament l'increment de BA en *Q. ilex* ($P < 0.01$),
191 en canvi no ha fet augmentar significativament l'increment de BA en *A. unedo* i només
192 ha comportant un augment de l'increment de BA en els troncs més petits de *P. latifolia*
193 ($P = 0.09$) (Fig. 2). El BA ha augmentat més en els troncs més petits d'*A. unedo* i *P.*
194 *latifolia*, però ha augmentat més en els arbres mitjans i grans de *Q. ilex*. El BA ha
195 augmentat més en *A. unedo* que en les altres dues espècies, però l'estassada experimental
196 no ha fet augmentar l'increment de BA d'aquesta espècie en cap categoria de tamany de
197 tronc. L'increment de BA ha estat més elevat en *P. latifolia* que en *Q. ilex* en els troncs
198 més petits (que també han experimentat un gran creixement degut a l'estassada), en canvi
199 el creixement de troncs mitjans va ser similar en *P. latifolia* i *Q. ilex*, però només en *Q.*
200 *ilex* hi ha un augment del creixement degut a l'estassada experimental.

201 La taxa anual de mortalitat de troncs ha estat més elevada en *Q. ilex* que en *P.*
202 *latifolia*, i en *P. latifolia* que en *A. unedo* a les parcel·les control, però l'estassada ha reduït
203 dràsticament la mortalitat en *Q. ilex*, mentre que en les altres dues espècies no hi ha hagut
204 una reducció significativa de la mortalitat de troncs, de manera que a les parcel·les
205 estassades, la mortalitat de troncs en *Q. ilex* ha estat fins i tot inferior a la de les altres
206 dues espècies (Fig. 3). L'estassada també ha comportat una reducció de la mortalitat de
207 troncs quan analitzem totes les espècies alhora.

208

209 Fig. 3. Taxes anuals de mortalitat de troncs a les parcel·les aclarides i control (3 i 4
210 parcel·les, respectivament) per a cada espècie. Les barres d'error corresponen a l'error
211 estàndard de la mitja. *, $P < 0.05$; **, $P < 0.01$.



212

213

214 *Biomassa aèria i index d'àrea foliar.*

215 La biomassa aèria ha augmentat més a les parcel·les estassades que a les control ($P=0.02$)

216 (Fig. 4), i a les parcel·les control, el percentatge d'increment de biomassa aèria ha estat

217 més elevat en *A. unedo* que en les altres dues espècies. Tanmateix, a les parcel·les

218 estassades, el percentatge d'increment de biomassa aèria és semblant en *A. unedo* i *P.*

219 *latifolia*, i la diferència entre *A. unedo* i *Q. ilex* ha estat menor que a les parcel·les control,

220 ja que l'estassada ha fet incrementar l'augment de biomassa en *Q. ilex* ($P<0.01$) i *P.*

221 *latifolia* ($P<0.05$) però no en *A. unedo* (Fig. 4). En valors absoluts, l'estassada ha duplicat

222 l'increment de biomassa aèria en *Q. ilex*, mentre que no hi ha hagut cap augment

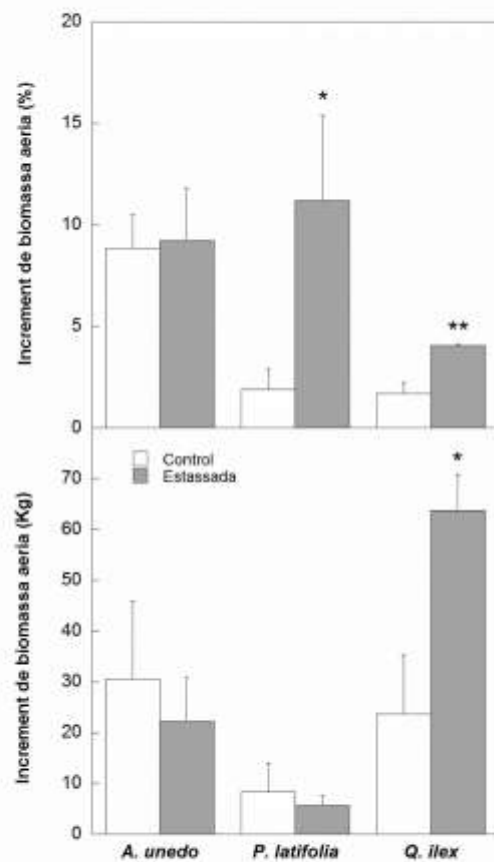
223 significatiu (en valors absoluts) en les altres dues espècies (Fig. 4). Degut a això, a les

224 parcel·les estassades l'increment de biomassa aèria ha estat més elevat en *Q. ilex* que en

225 les altres dues espècies, mentre que aquesta diferència no ha estat observada a les

226 parcel·les control.

227 Fig. 4. Increments de biomassa aèria (en percentatge i valors absoluts) a les parcel·les
 228 aclarides i control (3 i 4 parcel·les, respectivament) per a cada espècie, durant tot el
 229 període estudiat. Les barres d'error corresponen a l'error estàndard de la mitja. *, $P < 0.05$;
 230 **, $P < 0.01$.



231
 232 L'estassada experimental ha comportat un augment en el percentatge d'increment
 233 de LAI ($P < 0.05$), tant en *Q. ilex* ($P < 0.01$) com en *P. latifolia* ($P < 0.05$), però no en *A.*
 234 *unedo* (Fig. 5). Per altra banda, el percentatge d'increment de LAI en *Q. ilex* no ha estat

235 significativament diferent del de *P. latifolia* i *A. unedo* tant a les parcel·les control com a
236 les estassades.

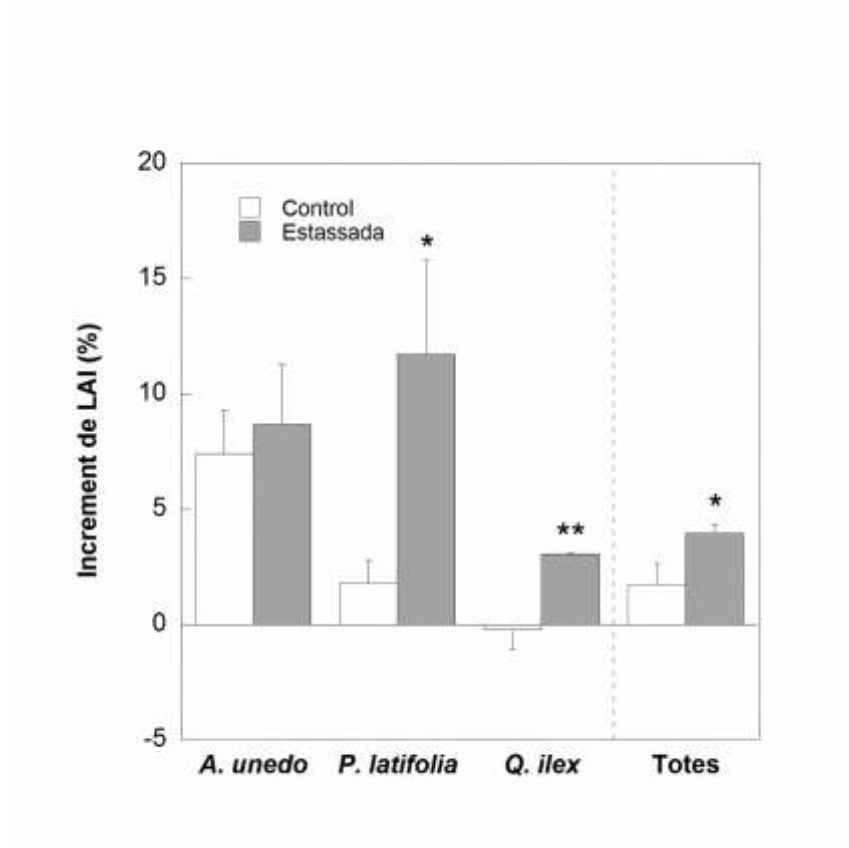
237

238 **Discussió.**

239 Varis estudis han mostrat un augment del creixement dels troncs i del segrest de C induïts
240 per una estassada selectiva, cosa que concorda amb els nostres resultats d'un augment de
241 creixement dels troncs i biomassa aèria a les parcel·les estassades, però aquesta resposta
242 a l'estassada ha variat entre les diferents espècies estudiades. A la mateixa zona d'estudi,
243 s'ha observat que algunes espècies arbustives com *P. latifolia* tenen una habilitat per fer
244 front a les condicions de sequera que les dota d'un avantatge competitiu respecte *Q. ilex*
245 (Barbeta et al., 2013; Liu et al., 2015). També s'ha observat que sota condicions de
246 sequera experimental, hi ha hagut una forta disminució del creixement i un augment de
247 la mortalitat dels arbres en *Q. ilex* però no en les altres espècies arbustives (Ogaya i
248 Peñuelas, 2007; Liu et al., 2015). La disminució de disponibilitat d'aigua deguda al canvi
249 climàtic (IPCC, 2013) està comportant una progressiva substitució de *Q. ilex* per altres
250 espècies arbustives més resistents a la sequera (Liu et al., 2018). L'estassada selectiva ha
251 fet augmentar el creixement de troncs de qualsevol tamany en *Q. ilex*, però en *P. latifolia*
252 només en els troncs més petits i en cap tamany de tronc en el cas d'*A. unedo*, i l'estassada
253 també ha fet disminuir la mortalitat de troncs en *Q. ilex* però no en les altres espècies
254 estudiades. Per tant, l'estassada selectiva es perfila com a una bona eina de gestió per tal
255 de promoure el creixement de *Q. ilex* i per retardar la progressiva substitució d'aquesta
256 espècie dominant per altres espècies arbustives més resistents a la sequera.

257

258 Fig. 5. Percentatge d'increment d'índex d'àrea foliar (LAI) a les parcel·les aclarides i
259 control (3 i 4 parcel·les, respectivament) per a cada espècie, durant tot el període estudiat.
260 Les barres d'error corresponen a l'error estàndard de la mitja. *, $P < 0.05$; **, $P < 0.01$.



261

262 La disponibilitat d'aigua es molt important en aquests ambients on la humitat del
263 sòl ja és un factor limitant, i l'estassada selectiva comporta un augment en la disponibilitat
264 de recursos cap els troncs romanents i una disminució de la superfície de transpiració
265 (LAI) del bosc. Malgrat un major increment de LAI a les parcel·les estassades, al final de
266 l'experiment els valors de LAI han seguit sent inferiors a les parcel·les estassades que a
267 les control, per tant, l'augment de disponibilitat d'aigua per tronc degut a l'estassada actua
268 a llarg terme. Unes taxes fotosintètiques més elevades degut a l'estassada han estat
269 observades en ecosistemes semiàrids degut a un increment de la disponibilitat hídrica i de
270 la conductància estomàtica. Aquestes respostes també s'han observat en boscos temperats
271 però només en anys inusualment secs. Aquest increment en la taxa fotosintètica ha estat

272 associat amb un increment del creixement dels arbres, però també amb un augment de la
273 capacitat per esmorteir el canvi climàtic mitjançant l'increment del segrest de CO₂
274 atmosfèric per part dels boscos. Un augment de la temperatura i la sequera per tant,
275 alterarà la capacitat dels boscos mediterranis per absorbir CO₂, així que la gestió forestal
276 pot ser un punt clau a l'hora de determinar la resposta del balanç de C en els boscos i de
277 fer front al canvi climàtic (Vayreda et al., 2012). Les plantes mediterrànies acostumen a
278 tancar els estomes de les fulles quan estan sotmeses a condicions de sequera severa, així
279 aconseguen evitar una pèrdua excessiva d'aigua a través de la transpiració (Mooney et
280 al., 1975). Malgrat això, l'emissió de compostos orgànics volàtils (VOCs), que són gasos
281 amb efecte hivernacle i contribueixen a exacerbar el canvi climàtic, no disminueix sota
282 condicions de sequera (Llusà i Peñuelas, 2000; Peñuelas et al., 2013), per tant, la
283 vegetació mediterrània pot perdre la capacitat d'esmorteir el canvi climàtic sota
284 condicions de sequera severes, i fins i tot exacerbar el canvi climàtic quan l'efecte de la
285 respiració junt amb el de l'emissió de VOCs superi el de l'adquisició de CO₂ atmosfèric
286 mitjançant la fotosíntesi (Doblas-Miranda et al., 2015; Peñuelas et al., 2013).

287 Els ecosistemes mediterranis estan habitualment limitats per la disponibilitat
288 d'aigua, així que petites intervencions de mitigació poden ajudar a preservar la seva
289 funció sota els impactes derivats de l'augment de l'estrès hídric (Gracia et al., 2011) i el
290 funcionament d'altres ecosistemes que hi estan interconnectats. Una elevada densitat de
291 troncs també pot comportar una disminució de la disponibilitat d'aigua per al consum
292 humà, donat l'elevat ús de l'aigua de la pluja que realitzen els arbres (Biro et al., 2011).
293 Per altra banda, una elevada densitat de troncs també pot afavorir la dispersió d'incendis
294 forestals degut a l'abundància de branques i troncs morts com a conseqüència de l'elevada
295 competència per l'aigua i nutrients (Ogaya i Peñuelas, 2007).

296

297 *Conclusions.*

298 El nostre estudi posa de manifest la idoneïtat de l'estassada selectiva com a eina per
299 millorar el creixement i la conservació dels boscos mediterranis, per poder afrontar millor
300 les condicions imposades pel canvi climàtic, i augmentant la seva capacitat per esmorteir-
301 lo. L'estassada selectiva pot també esmorteir altres problemes ambientals típics d'àrees
302 mediterrànies, com la disminució del risc de propagació d'incendis forestals i l'augment
303 d'aigua disponible per al consum humà.

304

305 **Agraïments.**

306 Agraïments al DARP (Generalitat de Catalunya), Xavier Buqueras i Toni Mestres pel seu
307 permís i el seu ajut en la realització d'aquest treball al Bosc de Poblet a través del projecte
308 ORGEST de La Caixa. Aquest treball també ha estat finançat per la Generalitat de
309 Catalunya (projecte SGR2017-1005), pel Govern Espanyol (projecte CGL2016-79835-
310 P-) i per l'European Research Council Synergy grant (projecte ERC-2013-SyG-2013-
311 610028 IMBALANCE-P).

312

313 **Referències.**

314 Barbeta, A., Ogaya, R., Peñuelas, J. 2013. Dampening effects of long-term
315 experimental drought on growth and mortality rates of a Holm oak forest. *Glob. Change*
316 *Biol.* 19, 3133-3144.

317 Birot, Y., Gracia, C., Palahí, M. 2011. Water for forests and people in the
318 Mediterranean region. European Forest Institute (Ed.).

319 Chang, C.T., Sperlich, D., Sabaté, S., Sánchez-Costa, E., Cotillas, M., Espelta,
320 J.M., Gracia, C. 2016. Mitigating the stress of drought on soil respiration by selective

321 thinning: contrasting effects of drought on soil respiration of two oak species in a
322 Mediterranean forest. *Forests* 7, 263; doi:10.3390/f7110263.

323 Doblas-Miranda, E., et al. 2015. Reassessing global change research priorities in
324 Mediterranean terrestrial ecosystems: how far have we come and where do we go from
325 here? *Glob. Biol. Biogeogr.* 24, 25-43.

326 Fischer, E.M., Schar, C. 2010. Consistent geographical patterns of changes in
327 high-impact European heatwaves. *Nat. Geosci.* 3, 398-403.

328 Gracia, C., Vanclay, J., Daly, H., Sabaté, S., Gyengé, J. 2011. Garantizar el agua
329 para los árboles y para las personas: posibles escenarios. In: Birot Y, Gracia C, Palahí M
330 (eds.). *Agua para los bosques y la sociedad en el mediterráneo - Un difícil equilibrio.*
331 European Forest Institute. Barcelona.

332 IPCC. 2013. *Climate change 2013: The physical Science Basis. Contribution of*
333 *Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on*
334 *Climate Change.* In: Stocker TF, Qin D, Plattner GK, Tignor MMB, Allen SK, Boschung
335 J, Nauels A, Xia Y, Bex V, Midgley PM (eds) Cambridge University Press, Cambridge,
336 United Kingdom and New York, NY, USA. pp 986.

337 Keyser, T.L. 2010. Thinning and site quality influence aboveground tree carbon
338 stocks in yellow-poplar forests of the southern Appalachians. *Can. J. For. Res.* 40, 659-
339 667.

340 Liu, D., Ogaya, R., Barbeta, A., Yang, X., Peñuelas, J. 2015. Contrasting impacts
341 of continuous moderate drought and episodic severe droughts on the aboveground-
342 biomass increase and litterfall of three coexistent Mediterranean Woody species. *Glob.*
343 *Change Biol.* 21, 4196-4209.

344 Liu, D., Ogaya, R., Barbeta, A., Yang, X., Peñuelas, J. 2018. Long-term
345 experimental drought combined with natural extremes accelerate vegetation shift in a

346 Mediterranean holm oak forest. *Environmental and Experimental Botany*, 151,1-11.

347 Lledó, M.J. 1990. *Compartimentos y flujos biogeoquímicos en una cuenca de*
348 *encinar del Monte de Poblet*. PhD Thesis. Universitat d'Alacant, Spain.

349 Llusà, J., Peñuelas, J. 2000. Seasonal patterns of terpene content and emission
350 from seven Mediterranean woody species in field conditions. *Am. J. Bot.* 87, 133-140.

351 Mooney, H.A., Harrison, A., Morrow, P. 1975. Environmental limitations of
352 photosynthesis on a California evergreen shrub. *Oecologia* 19, 293-301.

353 Moreno-Gutiérrez, C., Barberà, G.G., Nicolás, E., de Luís, M., Castillo, V.M.,
354 Martínez-Fernández, F., Querejeta, J.I. 2011. Leaf $\delta^{18}\text{O}$ of remaining trees is affected by
355 thinning intensity in a semiarid pine forest. *Plant Cell Environ.* 34, 1009-1019.

356 Ogaya R, Peñuelas J. 2006. Contrasting foliar responses to drought in *Quercus*
357 *ilex* and *Phillyrea latifolia*. *Biol. Plant.* 50, 373-382.

358 Ogaya, R., Peñuelas, J. 2007. Tree growth, mortality, and above-ground biomass
359 accumulation in a holm oak forest under a five-year experimental field drought. *Plant*
360 *Ecol.* 189, 291-299.

361 Pan, Y., Birdsey, R.A., Fang, J., Houghton, R., Kauppi, P.E., Kurz, W.A., Phillips,
362 O.L., Shvidenko, A., Lewis, S.L., Canadell, J.G., Ciais, P., Jackson, R.B., Pacala, S.W.,
363 McGuire, A.D., Piao, S., Rautiainen, A., Sitch, S., Hayes, D. 2011. A large and persistent
364 carbon sink in the world's forests. *Science* 333, 988-993.

365 Peñuelas, J., et al. 2013. Intensive measurements of gas, water, and energy
366 exchange between vegetation and troposphere during the MONTES campaign in a
367 vegetation gradient from short semi-desertic shrublands to tall wet temperate forests in
368 the NW Mediterranean Basin. *Atmospheric Environ.* 75, 348-364.

369 Reichstein, M., Bahn, M., Ciais, P., Frank, D., Mahecha, M.D, Seneviratne, S.I,
370 Zscheischler, J., Beer, C., Buchmann, N., Frank, D.C., Papale, D., Rammig, A., Smith,

371 P., Thonicke, K., van der Velde, M., Vicca, S., Walz, A., Wattenbach, M. 2013. Climate
372 extremes and the carbon cycle. *Nature* 500, 287-295.

373 Sheil, D., Burslem, D.F.R.P., and Alder, D. 1995. The interpretation and
374 misinterpretation of mortality rate measurements. *J. Ecol.* 83, 331-333.

375 Vayreda, J., Martínez-Vilalta, J., Gracia, M., Retana, J. 2012. Recent climate
376 changes interact with stand structure and management to determine changes in tree carbon
377 stocks in Spanish forests. *Glob. Change Biol.* 18, 1028-1041.

378 Williams, A.P., Allen, C.D., Macalady, A.K., Griffin, D., Woodhouse, C.A.,
379 Meko, D.M., Swetnam, T.W., Rauscher, S.A., Seager, R., Grissino-Mayer, H.D., Dean,
380 J.S., Cook, E.R., Gangodagamage, C., Cai, M., McDowell, N.G. 2013. Temperature as a
381 potent driver of regional forest drought stress and tree mortality. *Nat. Clim. Change* 3,
382 292-297.