

# El tancament del bosc disminueix el potencial reproductiu de l'endemisme pirenaico-oriental *Polygala vayredae* Costa a l'Alta Garrotxa

ANA I. RÍOS<sup>1</sup>, PERE CASALS<sup>1</sup>, XAVIER OLIVER<sup>2</sup> & SILVIA CASTRO<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Centre Tecnològic Forestal de Catalunya

<sup>2</sup> Delegació de la Garrotxa de la Institució Catalana d'Història Natural

<sup>3</sup> Centro de Ecología Funcional, Departamento de Ciências da Vida, Universidade de Coimbra  
*ana.rios@ctfc.es; pere.casals@ctfc.es; xevioliver@gmail.com; scastro@bot.uc.pt*

Rebut: 20.12.2016

Acceptat: 30.12.2016

## RESUM

*Polygala vayredae* és un endemisme del Pirineu oriental i de la Garrotxa, amb una sola localitat, considerada com a vulnerable segons els criteris de la IUCN. El seguiment poblacional ha permès detectar les principals amenaces, que inclouen tant les antròpiques com les naturals. Entre aquestes darreres, el tancament del bosc ha estat, segurament, el causant de la desaparició d'alguns rodals de l'espècie en els darrers trenta anys. El present estudi pretén definir les estratègies per a millorar l'hàbitat de l'espècie. Per aquest motiu, durant el període 2010 i 2012, s'ha realitzat un estudi al nucli poblacional dels sectors del collet de Coldecarrera i coll de Toralloses (Vall de Bianya, Alta Garrotxa) per a determinar si l'efecte del tancament del bosc pot afectar el seu creixement vegetatiu i reproductiu. Els resultats indiquen que *P. vayredae* inverteix per igual en la producció de noves tiges en ambients oberts i tancats, en canvi la floració i fructificació sembla anar lligada a la disponibilitat de llum directa, amb una inversió superior en la producció de tiges reproductores, flors i fruits a les zones obertes. Aquest fet, pot afectar a l'estructura i diversitat genètica de les poblacions. En base a aquests resultats, s'han proposat mesures de conservació específiques relacionades amb l'hàbitat i el seguiment de les poblacions per detectar canvis a llarg termini i conèixer l'evolució de l'espècie.

**Paraules clau:** La Garrotxa, endemisme, hàbitat, creixement vegetatiu i reproductiu, ambients oberts i tancats, disponibilitat de llum, floració, gestió forestal, *Polygala vayredae*.

## ABSTRACT

*Polygala vayredae* is endemic to the eastern Pyrenees and La Garrotxa, and is found at a single location. It is thus classified as Vulnerable according to IUCN criteria. Population monitoring has allowed us to detect the main threats to this species, which include both anthropogenic and natural disturbances. Of the latter factors, increased canopy cover is the most probable cause of the disappearance of some stands of this species over the past thirty years. The present study aims to define strategies that will improve the habitat of the species. In 2010 and 2012, we studied the population nuclei located in the hills and valleys of Coldecarrera and Coll de Toralloses (Vall de Bianya, La Garrotxa) to determine how canopy closure influences vegetative and reproductive growth. The results indicate that, although *P. vayredae* invests equal resources in producing new stems in open and in closed environments, both flowering and fruiting seem to be linked to the availability of direct light, which guarantees greater investment in the production of reproductive stems, flowers and fruits in more open areas. This may affect the structure and genetic diversity of populations. Based on these results, we suggest here specific measures for the conservation and monitoring of populations, which will assist in detecting long-term changes and in the monitoring of the evolution of the species over time.

**Key words:** La Garrotxa, endemic species, habitat, vegetative and reproductive growth, open and closed environments, light availability, flowering, forest management, *Polygala vayredae*.

## INTRODUCCIÓ

*Polygala vayredae* Costa (*Polygalaceae*) és un endemisme dels Pirineus orientals i de la Garrotxa amb una sola localitat distribuïda entre les valls del Bac, de Carrera i d'Oix, dins dels termes municipals de Vall de Bianya, i Montagut i Oix (Alta Garrotxa). L'àrea de presència és de 34,9 km<sup>2</sup>, encara que l'àrea d'ocupació no deu superar més del 10% (Oliver, 2006a; 2006b). Les prospeccions realitzades per tota l'àrea de presència de l'espècie indiquen que actualment la població és abundant amb un hàbitat idoni prou extens, i es pot afirmar que la població existent supera els 15.000 exemplars reproductors (Oliver *et al.*, 2013).

Es troba en pastures camefítics mesòfiles i xeròfiles (*Aphyllanthion*, *Brometalia erecti*), sobre substrat calcari, especialment en vorades de boscos (*Geranium sanguinei*) o en boscos esclarissats, molt abundant en pinedes de pi roig. També més rarament en rocams (*Saxifragion mediae*). En general apareix amb densitats més altes en bonys del terreny i petits talussos, així com en els relleixos a peu d'arbre (Oliver *et al.*, 2013).

Es tracta d'una mata de base llenyosa que té un port reptant, forma tiges ajagudes o ascendents, ramificades, de fins a 25 cm, afil·les a la part inferior. Forma nuclis amb densitats altes d'individus i tiges a causa de l'alta capacitat de treure branques a partir de tiges subterrànies i l'alta dispersió de llavors a dins de la població (Castro, 2007; 2009). Les flors es presenten solitàries o en grups de dos, de 13-16 mm, purpúries, amb una carena crestada amb 5-9 lòbuls, groga. La pol·linització d'aquesta espècie és realitzada per una diversitat d'espècies d'insectes, entre les que destaquen aquestes espècies d'espais oberts i semioberts: *Bombus pascuorum* (*Hymenoptera*, *Apidae*), *Anthophora* sp. (*Hymenoptera*, *Apidae*), *Eucera longicornis* (*Hymenoptera*, *Apidae*) i *Halictus* sp. (*Hymenoptera*, *Halictidae*) (Castro, 2007; 2009). La càpsula, de 10-13 mm, té forma de cor, amb un marge alat de 2-3 mm d'amplada com a possible adaptació a l'anemocòria. No obstant, aquest tipus de dispersió, pel vent, és poc freqüent i només relativament eficient en localitats amb fort desnivell. A més a més, el fruit presenta un eleosoma que atrau a les formigues, que sovint recol·lecten directament la llavor en la planta i aquesta és la forma de dispersió majoritària de la població (Castro, 2007; 2009; Castro *et al.*, 2006).

Actualment és una espècie considerada com a vulnerable segons els criteris de la IUCN (2001) des de nivell local (Garrotxa) (Oliver *et al.*, 2013), autonòmic (Catalunya) (Sáez *et al.*, 2010) fins a nacional (Espanya) (Bañares *et al.*, 2010). A Catalunya està catalogada com espècie "Vulnerable" (Decret 172/2008 i la Resolució AAM/732/2015).

El seguiment poblacional d'aquesta espècie a través del Programa de Seguiment i Conservació de Flora Amenaçada de la delegació de la Garrotxa de la Institució Catalana d'Història Natural (Oliver, 2012) ha permès detectar per una banda les principals amenaces antròpiques: construccions puntuals, infraestructures lineals i pastures intensives; i per d'altra, les amenaces d'origen biològic: tancament del bosc cap a boscos planifolis tancats, especialment d'alzina (*Quercus ilex*) però també de roure martinenc (*Quercus pubescens*) i de faig (*Fagus sylvatica*), o matollars densos de boix (*Buxus sempervirens*). En els darrers trenta anys, s'ha detectat la desaparició per aquest últim motiu de 4 dels 10 rodals dels quals es feia seguiment (Oliver, 2006a; Castro, 2007).

En l'actualitat l'espècie no disposa del Pla de Conservació definit en el Decret 172/2008 però gràcies al Programa de Seguiment i Conservació de Flora Amenaçada de la Garrotxa i del Ripollès de la Delegació de la Garrotxa de la Institució Catalana d'Història Natural, s'ha redactat un programa de recuperació i conservació de l'espècie (Oliver *et al.*, 2013) en el

que es defineixen un seguit d'actuacions prioritàries de recerca i de conservació a curt i mig termini per al període 2014-2020. El present estudi pretén completar i definir les estratègies encaminades a millorar l'hàbitat de l'espècie.

Durant el període 2010 i 2012, s'ha realitzat un estudi al nucli poblacional situat en els sectors del collet de Colldecarrera i coll de Toralloses, en el terme municipal de Vall de Bianya (Alta Garrotxa) coordinat entre diferents entitats (Centre Tecnològic Forestal de Catalunya, Centro de Ecologia Funcional de la Universidade de Coimbra i la Delegació de la Garrotxa de la Institució Catalana d'Història Natural), per tal d'avaluar el risc que representa per a l'espècie el tancament del bosc. Els objectius d'aquest estudi són doncs: (1) determinar si l'efecte del tancament del bosc pot afectar al potencial reproductiu de la planta, (2) avaluar la incidència de la presència de caducifolis i (3) determinar com es relaciona l'estructura forestal amb el creixement vegetatiu i reproductiu de l'espècie.

## MATERIALS I MÈTODE

El disseny experimental consta d'un mostreig de la vegetació acompanyant de *P. vayredae* seguit d'una caracterització del potencial reproductiu de l'espècie en ambients oberts i tancats. A continuació es descriu la metodologia seguida en cada cas.

### 1. Caracterització del potencial reproductiu de *P. vayredae*

El mostreig compta amb un total de 10 parcel·les de 5 metres de radi, distribuïdes de forma equitativa entre ambients oberts i tancats per vegetació. A cadascuna d'aquestes parcel·les s'han ubicat 4 microparcel·les de 25x25 cm per quadrant (16 per parcel·la) amb 2 metres de separació entre elles (FIGURA 1).

A cada microparcel·la de 25x25 cm, en un total de 10 tiges, s'ha anotat el nombre de: (1) tiges de primer any, (2) tiges de segon any, (3) tiges reproductores de segon any, (4) flors per axil·la foliar i ramet i (5) fruits per axil·la foliar i ramet.

Per tal d'identificar els caràcters morfològics esmentats s'aporta una breu descripció: l'any de les tiges s'ha distingit pel color verd clar i el tacte herbaci de les tiges del primer any vers les de color verd més fosc i lignificades de les de segon any. Es consideren tiges reproductores les tiges de segon any que presenten flors, fruits o bé cicatrius a l'axil·la foliar (FIGURA 2).

### 2. Avaluació de la presència de caducifolis sobre el potencial reproductiu de *P. vayredae*

L'avaluació d'aquest paràmetre s'ha realitzat mitjançant l'anàlisi de la llum que arriba a les tiges de *P. vayredae*. Per això, s'han realitzat fotos hemisfèriques en cadascun dels quadrants de les diferents parcel·les d'estudi a 5 m de distància del centre de la parcel·la i a 25 cm del terra, realitzant 4 fotos per estació. Les fotos s'han pres en dues èpoques diferents: una abans del creixement de les fulles de les espècies de caducifolis i una altra una vegada aquests havien tret fulla.

Les fotos s'han analitzat amb el programa Gap Light Analysis (GLA v.2.0, 1999) desenvolupat per Simon Fraser University i Cary Institute of Ecosystem Studies de Nova York. A través d'aquest programa s'ha estimat: percentatge d'obertura de coberta, percentatge de llum directa, percentatge de llum difosa i percentatge de llum total.



## RESULTATS

### L'efecte del tancament dels boscos sobre el potencial reproductiu de *P. vayredae*

Les dades obtingudes indiquen que no es mostren diferències significatives entre els dos ambients en el nombre de tiges totals i, per tant, en el creixement vegetatiu de l'espècie (TAULA 1). En canvi, l'escenari en quant a reproducció sexual és diferent. En les parcel·les obertes, en comparació amb les parcel·les de bosc tancat, el nombre de tiges reproductores i de flors totals, la mitjana de flors per branca i el nombre total de fruits són significativament més elevats (TAULA 1).

### L'efecte de la presència d'espècies caducifòlies sobre el potencial reproductiu de *P. vayredae*

La floració de *P. vayredae* es produeix entre els mesos d'abril a juny, època en que comencen a sortir les fulles dels caducifolis. Per aquest motiu, es va plantejar la hipòtesis que la producció de flors podia estar limitada per l'entrada de llum degut al desplegament de les fulles de caducifolis.

En la zona d'estudi amb presència de caducifolis es va mostrear la disponibilitat de llum al sotabosc en dues èpoques diferents: una abans de l'emergència de les fulles (gener) i l'altra una vegada ja havien sortit les fulles (maig).

En l'època vegetativa, es detecten diferències significatives entre els ambients oberts i tancats per tots els tipus de llum a excepció de la llum difosa (TAULA 2). En canvi, un cop desplegades les fulles dels caducifolis, la disponibilitat de llum en les parcel·les obertes és similar a la d'ambients tancats (TAULA 2).

**TAULA 1. Resultat del test estadístic dels paràmetres reproductors entre ambients oberts i tancats. Cada paràmetre està expressat com a valor mitjà i està seguit del corresponent error estàndard. Es mostra la significació del test de mostres aparellades (*t-student*) una vegada fetes les transformacions pertinents. En negreta els resultats considerats significatius.**

Paràmetres per parcel·la	Ambient		Test estadístic
	Tancat	Obert	
Núm. de tiges totals	230,8 ± 74,58	495,4 ± 69,78	<b><i>t</i> = -2,026, <i>P</i> = 0,113</b>
<b>Reproducció vegetativa</b>			
Tiges de 1r any (%)	83,54 ± 3,69	83,16 ± 2,49	<i>t</i> = 0,207, <i>P</i> = 0,846
<b>Reproducció sexual</b>			
Tiges reproductores (%)	1,89 ± 1,16	7,92 ± 1,68	<b><i>t</i> = -7,312, <i>P</i> = 0,002</b>
Número de flors totals	13,6 ± 12,36	62,6 ± 9,57	<b><i>t</i> = -4,18, <i>P</i> = 0,014</b>
Promig de flors per ramet o tija	1,42 ± 0,19	1,76 ± 0,11	<i>t</i> = -2,42, <i>P</i> = 0,073
Número total de fruits	2,4 ± 2,4	9,8 ± 2,27	<b><i>t</i> = -3,43, <i>P</i> = 0,027</b>
Fruits/Flors (%)	16,33 ± 5,45	18,8 ± 1,06	<i>t</i> = -0,39, <i>P</i> = 0,717

**TAULA 2. Paràmetres relacionats amb l'entrada de llum segons si els caducifolis tenien o no fulles i entre ambients tancats i oberts.**

Paràmetre	Caducifolis sense fulla			Caducifolis amb fulla		
	Tancat	Obert	Tancat vs Obert	Tancat	Obert	Tancat vs Obert
<b>Obertura Coberta %</b>	16,2 ± 1,5	19,3 ± 1,0	<b>P = 0,029</b>	15,9 ± 2,0	16,3 ± 0,6	P = 0,859
<b>Llum directa %</b>	19,5 ± 2,1	28,3 ± 2,0	<b>P = 0,003</b>	19,0 ± 2,3	21,4 ± 2,8	P = 0,474
<b>Llum difusa %</b>	24,7 ± 2,1	28,0 ± 1,7	<b>P = 0,089</b>	24,8 ± 2,8	25,5 ± 0,8	P = 0,827
<b>Llum total %</b>	22,5 ± 2,0	28,1 ± 1,6	<b>P = 0,004</b>	22,3 ± 2,5	23,8 ± 1,5	P = 0,655

### Relació entre l'estructura forestal i la fenologia de l'espècie

L'anàlisi de components principals entre els diferents ambients i els indicadors reproductius de l'espècie ens mostra que el primer eix recull un 53,3% de la variabilitat, mostrant una forta segregació entre les parcel·les d'ambients oberts (O) i les d'ambients tancats (T). Les d'ambients oberts es correlacionen positivament amb els indicadors de producció de branques reproductores i flors ja que aquestes variables es disposen de forma quasi paral·lela al primer eix (FIGURA 3). El segon eix, que recull menys del 8% de la variabilitat de les dades, es relaciona amb la proporció de fruits respecte a flors o amb el percentatge de branques noves. Aquest eix no presenta una clara relació amb la segregació de les parcel·les entre ambients.

Mitjançant un anàlisi RDA amb selecció de variables per passos, s'observa que la entrada de llum directa es relaciona clarament amb les variables de flors mentre que l'àrea basal de pi i alzina (A.Basal\_Pinus; Area B\_Quercus i.) es relaciona de manera directa amb la proporció de fruits respecte al nombre de flors i amb la proporció de noves branques. L'àrea basal d'alzina es relaciona negativament amb els paràmetres estimadors de la capacitat reproductora de l'espècie (Reprod Branq; Fruit, Flors).

### DISCUSSIÓ I CONCLUSIONS

Els resultats obtinguts en l'estudi realitzat entre el 2010 i 2012 indiquen que *P. vayredae* inverteix per igual en la producció de noves tiges en ambients oberts i tancats mentre que és a les zones obertes on l'espècie inverteix més en la producció de tiges reproductores, flors i fruits. Aquest fet, pot afectar a l'estructura genètica i a la diversitat de les poblacions situades en zones tancades que poden tendir a una baixa diversitat en comparació amb les d'ambients més oberts on la reproducció sexual és més freqüent.

La llum arriba al sotabosc de forma directa i difusa. Alguns estudis han mostrat que la floració i germinació d'algunes plantes del sotabosc està fisiològicament lligada a l'arribada de raigs de llum directa (*sunflecks* en anglès) en un determinat moment de l'any (Chazdon, 1988). Els nostres resultats apunten que la floració i fructificació de *Polygala vayredae* està lligada a la disponibilitat de llum directa i, de forma inversa, a la l'area basal d'alzines. El fet que la llum directa es redueixi considerablement amb el desplegament de les fulles dels caducifolis en les parcel·les tipificades com d'ambient "obert" suggereix que la seva floració podria estar relacionada amb l'entrada de raigs de llum directa just abans de la sortida de les fulles (FIGURA 4).

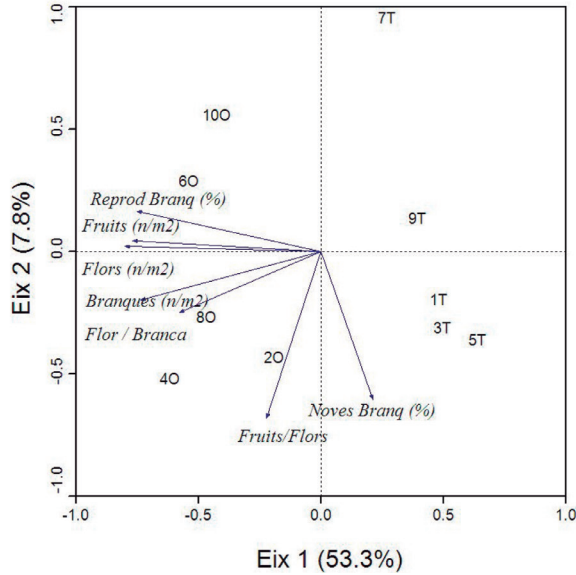


FIGURA 3. Resultats del PCA per a l'anàlisi de la relació de les variables fenològiques amb el tipus d'ambient (obert/tancat). S'indica amb números seguit d'una lletra les parcel·les d'ambients tancats (1T, 3T, 5T, 9T) i les d'obert (2O, 4O, 6O, 8O, 10O). En cursiva es mostren els caràcters fenològics: percentatge de tiges reproductores (*Reprod Branq (%)*), nombre de fruits per metre quadrat (*Fruits (n/m²)*), nombre de flors per metre quadrat (*Flors (n/m²)*), nombre de tiges per metre quadrat (*Branques (n/m²)*), proporció de flors per tija (*Flor/branca*), proporció de fruits per flor (*Fruits/flors*) i percentatge de generació de tiges noves o de primer any (*Noves Branq (%)*).

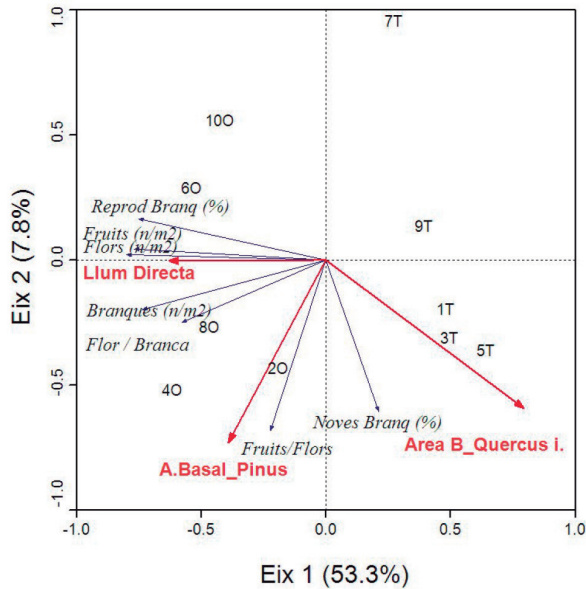


FIGURA 4. Resultats del RDA que relaciona les variables ambientals (estructura forestal i entrada de llum) amb els indicadors de creixement reproductiu i vegetatiu de la *P. vayredae* per ambients oberts i tancats.

En base a aquests resultats, en aquest estudi es proposa com a mesures de conservació: la realització d'obertures de clarianes de bosc amb estassades selectives d'arbres i arbustos d'espècies no caducifòlies (principalment *Quercus ilex* i *Buxus sempervirens*) i comprovar si aquestes accions faciliten la reproducció sexual respecte els ambients tancats, i afavorir la producció de flors, pol·linització, i intercanvi genètic de les poblacions, així com la producció i dispersió de llavors, i al mateix temps la variabilitat genètica.

Es recomana que se segueixin duent a terme els seguiments de les poblacions de l'espècie per la delegació de la Garrotxa de la ICHN per tal de detectar canvis a llarg termini i conèixer l'evolució de l'espècie al llarg del temps i els seus cicles.

D'altra banda, es generen noves preguntes arrel del present estudi com: (1) quina és la longevitat de les parts vegetatives?; (2) quin és el potencial de recuperació després d'un període amb només creixement vegetatiu?; (3) les poblacions amb reproducció vegetativa tenen baixa diversitat genètica front a les de reproducció sexual?; (5) Com afectaria això a la dinàmica de les poblacions?

## BIBLIOGRAFIA

- BAÑARES, Á., G. BLANCA, J. GÜEMES, J.C. MORENO & S. ORTIZ, EDS. 2010. *Atlas y Libro Rojo de la Flora Vasculare Amenazada de España. Adenda 2010*. Dirección General de Medio Natural y Política Forestal (Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino)-Sociedad Española de Biología de la Conservación de Plantas. Madrid, 170 pp.
- CASTRO, S. 2007. Biología reproductiva e conservação do endemismo *Polygala vayredae*. Tesis doutoral. Universidade de Aveiro.
- CASTRO, S. 2009. Biología reproductiva y conservación del endemismo *Polygala vayredae*. *Ecosistemas*, 18(1).
- CASTRO, S.; SILVEIRA, PL; PAIVA, J.; ESPADALER, X. & NAVARRO, L. 2006. Mecanismos de dispersao numa espécie endêmica de reduzida área de distribuição. II Congresso Ibérico de Ecologia. Portugal, Lisboa, 17-21 July. Awarded as best poster communication.
- CHAZDON, R.L. 1988. Sunflecks and their importance to forest understory plants. *Advances in Ecological Research*, 18: 1-63.
- GENERALITAT DE CATALUNYA, 2008. Decret 172/2008, de 26 d'agost, de creació del Catàleg de flora amenaçada de Catalunya, *Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya*, 5204, 28 d'agost de 2008.
- GENERALITAT DE CATALUNYA, 2015. RESOLUCIÓ AAM/732/2015, de 9 d'abril, per la qual s'aprova la catalogació, descatalogació i canvi de categoria d'espècies i subespècies del Catàleg de flora amenaçada de Catalunya *Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya*, 6854, 20 d'abril de 2015.
- OLIVER, X. 1995-2017. Memòries de seguiment de *Polygala Vayredae* Costa. Programa de Seguiment i Conservació de la flora amenaçada de la Garrotxa i del Ripollès. Delegació de la Garrotxa de la Institució Catalana d'Història Natural. Inèdit.
- OLIVER, X. 2006. Cartografia digital de la flora amenaçada i protegida de la Garrotxa. Programa de Seguiment i Conservació de la flora amenaçada de la Garrotxa i del Ripollès. Delegació de la Garrotxa de la Institució Catalana d'Història Natural. Inèdit.
- OLIVER, X. 2006. Fitxa de seguiment de *Polygala vayredae* Costa a la Garrotxa. Programa de Seguiment i de Conservació de la flora amenaçada de la Garrotxa i del Ripollès. Delegació de la Garrotxa de la Institució Catalana d'Història Natural. Inèdit.
- OLIVER, X. 2012. La llista vermella de flora vascular de la Garrotxa, 2009. *Annals de la delegació de la Garrotxa de la Institució Catalana d'Història Natural*, 5: 29-38.
- OLIVER, X.; CASTRO, S.; CASALS, P. & RÍOS, A.I. 2013. Programa de recuperació i conservació de *Polygala vayredae* Costa. Programa de Seguiment i Conservació de la flora amenaçada de la Garrotxa i del Ripollès. Delegació de la Garrotxa de la Institució Catalana d'Història Natural. Inèdit.
- SÁEZ, L.; AYMERICH, P. & BLANCHÉ, C. 2010. *Llibre vermell de les plantes vasculares endèmiques i amenaçades de Catalunya*. Argana.