

Influència del clima en la fenologia de la floració de *Globularia alypum*

Anàlisi a partir de mostres d'herbari

Albert Clavaguera Casadevall^{*}; Marc Estiarte Garrofé^{**}; Josep Peñuelas Reixach^{**}

^{*} Autor del projecte de fi de carrera; Quart de la llicenciatura de Ciències Ambientals a la UAB

^{**} Directors del projecte; Unitat d'Ecologia Global del CREAF-CEAB-CSIC (Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals), Universitat Autònoma de Barcelona, Edifici C, 08193 Bellaterra, Espanya.

RESUM

Globularia alypum és un arbust termòfil típic de la regió oest del Mediterrani. Aquest nanofaneròfit té un patró de floració molt ampli. Les poblacions primerenques floreixen des del Juliol fins al Desembre i les poblacions tardanes des del Gener fins a l'Abril. L'objectiu del projecte és esbrinar quins factors climàtics determinen la fenologia de la floració de l'espècie a partir de mostres d'herbari i conèixer l'abast geogràfic d'ambdós patrons de floració a la península Ibèrica i França. També l'estudi d'altres característiques fenològiques en relació amb el clima: els braquiblasts i les espigues de capítols. Els plecs d'herbari han estat georeferenciats per ser utilitzats en un entorn SIG junt amb les dades del clima i s'ha realitzat una anàlisi estadística. Els resultats mostren que les poblacions primerenques creixen majoritàriament en zones costaneres mentre que les tardanes ho fan en zones continentals. Les poblacions primerenques creixen en àrees on les temperatures (mitjana, mínima, màxima i mínima del mes més fred) són més altes que les tardanes per l'efecte temperador del mar. Al analitzar totes les poblacions, el nombre de mesos des de la transició floral es correlaciona negativament amb la temperatura mínima mensual i la temperatura mitjana mensual en tots els mesos, mentre que amb la temperatura màxima mensual entre Octubre i Abril. Al estudiar sols les poblacions tardanes les correlacions són similars, però no en les primerenques on no se'n troba cap. Les correlacions entre el nombre de mesos des de la transició floral i les variables climàtiques anuals són iguals, a més de trobar-se una correlació negativa amb la temperatura mínima del mes més fred i l'índex tèrmic, i positiva amb l'índex de continentalitat. No s'ha trobat cap diferència en presència de braquiblasts segons la població, però sí en les espigues de capítols, essent més freqüents en les poblacions primerenques. Es suggereix que la temperatura és un factor més determinant per a les poblacions tardanes, mentre que es desconeix si és la precipitació en les primerenques. Tampoc es té coneixement sobre si les diferències entre els dos patrons són genètiques o fenotípiques i quin mecanisme possibilita el desenvolupament de braquiblasts i espigues de capítols.

Paraules clau: *Globularia alypum*, fenologia de la floració, factors climàtics, herbari, braquiblasts, espigues de capítols.

RESUMEN

Globularia alypum es un arbusto termófilo típico de la región oeste del Mediterráneo. Este nanofanerófito tiene un patrón de floración muy amplio. Las poblaciones tempranas florecen desde Julio hasta Diciembre y las poblaciones tardías desde Enero hasta Abril. El objetivo del proyecto es averiguar qué factores climáticos determinan la fenología de la floración de dicha especie a partir de muestras de herbario y conocer el alcance geográfico de ambos patrones de floración a la península Ibérica y Francia. También estudiar otras características fenológicas en relación con el clima: los braquiblastos y las espigas de capítulos. Los pliegos de herbario han sido georeferenciados para ser

utilizados en un entorno SIG junto con los datos del clima y se ha realizado un análisis estadístico. Los resultados muestran que las poblaciones tempranas crecen mayoritariamente en zonas costaneras y las tardías lo hacen en zonas continentales. Las poblaciones tempranas crecen en áreas donde las temperaturas (media, mínima, máxima y mínima del mes más frío) son más altas que las tardías por el efecto regulador del mar. Al analizar todas las poblaciones, el número de meses desde la transición floral se correlaciona negativamente con la temperatura mínima mensual y la temperatura media mensual en todos los meses, mientras que la temperatura máxima mensual entre Octubre y Abril. Al estudiar sólo las poblaciones tardías las correlaciones son similares, pero no en las tempranas donde no se encuentra ninguna correlación. Las correlaciones entre el número de meses desde la transición floral y las variables climáticas anuales son iguales, y aparece una correlación negativa con la temperatura mínima del mes más frío y con el índice térmico, y positiva con el índice de continentalidad. No se ha encontrado ninguna diferencia en la presencia de braquiblastos según la población, pero sí en las espigas de capítulos, siendo más frecuentes en las poblaciones tempranas. Se sugiere que la temperatura es un factor más determinante para las poblaciones tardías, mientras que se desconoce si es la precipitación en las tempranas. Tampoco se tiene conocimiento sobre si las diferencias entre los dos patrones son genéticas o fenotípicas y qué mecanismo posibilita el desarrollo de braquiblastos y espigas de capítulos.

Palabras clave: *Globularia alypum*, fenología de la floración, factores climáticos, herbario, braquiblastos, espigas de capítulos.

ABSTRACT

Globularia alypum is a thermophile shrub typical of western Mediterranean region. This nanophanerophyte has a broad flowering pattern. Early populations flower from July to December and late populations flower from January to April. The aim of this project was to find out what climate factors determine the flowering phenology of the specie using herbarium specimens, and it would know the geographic scope of both flowering patterns in the Iberian Peninsula and France. Also, it studied other phenological characteristics in relation to climate: the brachyblast and spike of flower-heads. The herbarium specimen sheets were georeferenced to use in a GIS together with climate data and a statistical analysis was performed. The result showed that the early populations grow mostly in coastal localities whereas late populations grow in inland localities. The early populations grow in localities where temperatures (mean, minimum, maximum and mean minimum of the coldest month) are higher than the late for the sea regulator effect. When we analyzed all populations, the number of months since the floral transition were negatively correlated with monthly minimum temperature and monthly mean temperature in all months, whereas the monthly maximum temperature from October to April. Within late populations, there were similar correlations, but no in the early populations since there were not any correlation. The correlations between the number of months since the floral transition and annual climate variables were the same, and we found a negative correlation with the monthly minimum temperature of the coldest month and thermicity index, and a positive correlation with the continentality index. We found no differences in the presence of brachyblast depending on the population, but spike of flower-heads was more commonly in early populations. We suggest that the temperature is a determining factor for the late populations, while it is unknown if the precipitation is in the early. Neither is know if the differences between the two patterns are genetic or phenotypic and what mechanism enables the development of brachyblast and spike of flower-heads.

Keywords: *Globularia alypum*, flowering phenology, climate factors, herbarium, brachyblasts, spike of flower-heads.

Introducció

La fenologia és l'estudi de la successió de les diferents fenofases dels organismes, és a dir, els diferents esdeveniments del cicle vital els quals estan molt relacionats amb els factors climàtics (Orshan, 1989). La fenologia s'ha convertit en un dels bioindicadors més utilitzats en els estudis sobre els efectes del canvi climàtic als éssers vius (Gordo i Sanz, 2009) ja que els canvis fenològics han esdevingut la primera evidència que el canvi climàtic té efectes en els organismes.

Les observacions a nivell global evidencien que el canvi climàtic és una realitat. A nivell global s'està donant un escalfament del sistema climàtic. No obstant, respecte la precipitació la qüestió és més incerta ja que hi ha zones on aquesta ha augmentat en canvi en d'altres aquesta ha disminuït (IPCC, 2007). De cara al futur es preveu que a la regió Mediterrània hi haurà un augment de la temperatura i una disminució de les precipitacions, amb especial importància durant l'estiu (IPCC, 2007). Les plantes s'han adaptat a l'estacionalitat del clima mediterrani gràcies als ajustos fenològics (Montserrat Martí *et al.*, 2004). Sens dubte, la sequera de l'estiu és el factor més important que limita el creixement i desenvolupament de les plantes als ecosistemes mediterranis (Orshan, 1989). Si les previsions del canvi climàtic es compleixen totes aquestes adaptacions poden resultar insuficients.

Actualment molts dels estudis que s'estan duent a terme pretenen millorar el coneixement sobre quins poden ser els efectes potencials del canvi climàtic en les espècies i ecosistemes, de vital importància per fer-hi front. En aquest context, els Sistemes d'Informació Geogràfica han esdevingut una potent eina ja que permeten combinar diferents bases de dades, plantilles digitals de mapes i anàlisis estadístiques.

Aquest és el cas del nostre estudi on la combinació de dades vàlides procedents d'herbaris, junt amb informació de les variables climàtiques s'utilitza amb l'objectiu d'extreure conclusions sobre els patrons de distribució de l'espècie *Globularia alypum*.

G. alypum és un nanofaneròfit que es distribueix àmpliament per la regió Mediterrània. Apareix a les contrades mediterrànies d'hivern temperat, sobre sòls calcaris, essent rara o nul·la a les contrades sílicies (de Bolòs i Vigo, 1995). Normalment, les espècies mediterrànies creixen i floreixen principalment durant la primavera, per tal d'evitar el fred de l'hivern i la sequera de l'estiu (Prieto *et al.*, 2008). No obstant, no és aquest el cas de *G. alypum* presentant un patró molt ampli per ser un arbust mediterrani. Hi ha observacions de floració primerenca que comencen a florir a finals d'estiu, mentre en altres aquesta es produeix entrada la primavera següent.

És doncs, una espècie que pot veure's especialment afectada pels efectes del canvi climàtic prevists per la regió Mediterrània. Els canvis en els patrons fenològics d'aquesta espècie podrien desencadenar una sèrie d'impactes en les dinàmiques i composició dels seus respectius ecosistemes.

Estudis previs han descrit dos patrons de floració per a *G. alypum*, un patró de floració primerenca en poblacions a zones properes a la costa, i un de floració tardana en zones continentals. En un estudi realitzat a 9 localitats de Catalunya, s'ha observat que en les poblacions primerenques la floració es dona entre setembre i novembre, mentre que en les de floració tardana aquesta té lloc entre febrer i abril. Els dos grups estan separats pel període d'hivern (desembre-febrer) on no es troben poblacions florides (Estiarte *et al.*, 2011).

Àrea d'estudi

L'àmbit d'estudi del projecte és la regió Mediterrània occidental. Comprèn la península Ibèrica i França, sobretot les zones més properes al Mediterrani, i també les Illes Balears i Còrsega.

Les àrees d'interès pel projecte seran les que presentin un clima mediterrani, principalment amb sòls d'origen calcari. De totes maneres, degut a l'elevada superfície que comprèn el projecte no es tenen que donar estrictament aquestes dues característiques.

A Catalunya, *G. alypum* acostuma a freqüentar les pinedes de pi blanc obertes amb recobriment arbustiu important (Lloret *et al.*, 2009), i determinades bosquines com són les brolles calcàries (de Bolòs i Vigo, 1995).

Objectius

Aquest estudi intenta donar resposta a una qüestió que s'origina a altres treballs anteriors, com és el fet de determinar l'abast geogràfic dels diferents patrons de floració. Els objectius generals són:

- Explorar la utilització de material d'herbari per estudis de la fenologia de la floració.
- Identificar l'abast de la distribució geogràfica dels dos patrons mitjançant l'ús d'informació procedent d'herbari, prèviament georeferenciada. L'estudi hauria de permetre corroborar que els patrons de floració identificats en estudis a nivell local, també són vàlids a nivell regional.
- Esbrinar quines variables climàtiques determinen el període de floració. Gràcies a l'ús de SIG s'elaboren mapes sobre la distribució de les inflorescències, braquiblasts i espigues de capítols.

- Desenvolupar una anàlisi estadística utilitzant dades climàtiques per determinar quins factors climàtics condicionen la floració.
- Discutir els efectes potencials del canvi climàtic sobre *G. alypum* i quines conseqüències pot tenir a nivell d'ecosistema.

Metodologia

Obtenció de les dades

S'ha utilitzat informació recopilada de quatre herbaris: Herbari del Centre de Documentació de Biodiversitat Vegetal de la Universitat de Barcelona (CeDocBiV), Herbari de l'Institut Botànic de Barcelona, Herbari del Jardí Botànic de la Universitat de València i Herbari de la Universitat de Montpel·lier.

De cada plec d'herbari es va anotar el tipus de creixement, presència i característiques del borro, tipus d'inflorescència, presència de braquiblasts i presència d'espiga de capítols. A part també es va anotar l'acrònim de l'herbari, el número de registre del plec, la data de la mostra, la descripció de la localització facilitada pel recol·lector de la mostra, el municipi de la recol·lecció, en determinats casos les coordenades de la localització amb el corresponent sistema de referència, l'altitud i possibles observacions existents. La informació dels quatre herbaris no sempre és completa.

El creixement s'inicia als meristems situats a les axil·les de les fulles. La planta va creixent donant nous brots que creixen en longitud fins que s'inicia la transició floral. S'han distingit diferents tipus de creixement: A (un sol creixement acabat en borro); B (un sol creixement acabat en inflorescència); C (dos creixements, tots dos acabats en

inflorescència); D (un sol creixement sense inflorescència terminal); E (dos creixements, el primer acabat en borro o avortament i el segon en inflorescència); F (dos creixements, tots dos acabats en avortament).

El patró més freqüent en plantes madures és un sol creixement que s'inicia des d'una branca que l'any anterior ja ha florit, en els meristems situats a les axil·les de les fulles. Quan el meristem apical deixa de desenvolupar-se vegetativament es dona la transició floral que inicia la formació dels borrons florals. Finalment, l'obertura dels borrons florals dona pas a l'aparició de les inflorescències. Les inflorescències s'han agrupat en diferents categories: F (inflorescència oberta però encara no s'han desplegat els pètals); B (inflorescència oberta amb pètals blaus); M-G (inflorescència amb els pètals marrons o grisos); D (inflorescència ja dispersada).

G. alypum creix anualment en llargada formant dolíoblasts, que són tiges amb fulles esparses, i braquiblasts a les axil·les de les fulles de la tija de l'any anterior. Els braquiblasts són tiges molt curtes que no superen els tres centímetres de longitud (Orshan, 1989). Ocasionalment, els braquiblasts apareixen en el creixement del mateix any, i és aquest el cas que ens interessa, ja que no és tan freqüent. S'han distingit diferents categories: S (presenta braquiblasts); N (no presenta braquiblasts); CB (comencen a aparèixer braquiblasts).

Normalment cada dolíoblast té una inflorescència terminal. Excepcionalment es forma una espiga de capítols, que es dona quan un dolíoblast desenvolupa diverses inflorescències a partir dels meristems axil·lars a les fulles de la tija.

Georeferenciació retrospectiva

Per utilitzar les dades en un entorn SIG, els plecs s'han georeferenciat i se'ls ha assignat un valor de precisió, per mirar si la precisió comportava canvis en els patrons de distribució. S'han utilitzat tres procediments i en cada cas s'ha donat prioritat al que permetia una major precisió:

1. Sols es disposa d'informació toponímica. S'han utilitzat diferents visors per trobar les coordenades i la precisió s'ha estimat amb el regle que ofereixen.
2. Es disposa de la quadrícula UTM. S'utilitzen les coordenades de la quadrícula i una precisió calculada de 7071 metres.
3. Ús de la base de dades del Museu de Zoologia de Barcelona amb les coordenades dels municipis d'Espanya. La coordenada correspon al centroid i la precisió està representada per la distància del centroid al punt més allunyat del perímetre que delimita el topònim.

En el cas dels plecs de França no s'ha assignat una precisió. Per altra banda, s'han hagut de descartar alguns plecs. Els plecs del nord d'Àfrica s'han descartat per la manca d'una cartografia digital de la zona, la dificultat lingüística per nosaltres dels topònims i l'existència d'una diversitat d'opinions sobre la divisió en espècies diferents de *Globularia* al nord d'Àfrica. També els plecs amb informació insuficient per assignar coordenades o plecs on falta l'estat de floració, la data de la mostra, no hi ha localització, es té dubte sobre alguna dada, no hi ha creixement de l'any o plecs que pertanyen a Itàlia. En total es disposava de 513 plecs i 174 s'han descartat.

Dels individus georeferenciats s'han utilitzat els que tenien una inflorescència B o FBM (també inclou estadi FB, algunes inflorescències obertes però amb els pètals no

desplegats i d'altres blaves, les quals ens indiquen que els falta poc per acabar de florir; estadi BM, algunes inflorescències blaves i d'altres marrons, les quals ens indiquen que fa poc que han florit). Previ al maneig de les dades s'ha definit una nova variable: nombre de mesos des de la transició floral. Als mesos se'ls ha assignat un número que expressa el nombre de mesos transcorreguts des de la transició floral, prenen com a inici el juliol ja que d'acord amb Estiarte *et al.*, 2011, a Catalunya la transició floral ja s'ha donat al juliol.

Dades climàtiques

S'han utilitzat les dades disponibles a l'Atlas Climàtic Digital de la Península Ibèrica relatives a les mitjanes dels últims 55 anys. A partir d'aquestes s'han calculat els intervals tèrmics mensuals que s'obtenen de la diferència entre la mitjana mensual de la temperatura màxima i la mitjana mensual de la temperatura mínima. A més, també s'han calculat una sèrie d'índexs climàtics a partir de la metodologia descrita a Rives-Martínez *et al.*, 1999.

D'aquesta forma, les variables climàtiques es poden agrupar en:

1. Variables climàtiques mensuals: mitjana mensual de la temperatura mitjana, temperatura mínima, temperatura màxima i precipitació. Intervals tèrmics mensuals.
2. Variables climàtiques anuals: mitjanes anuals de la temperatura mitjana, temperatura mínima, temperatura màxima i precipitació. Temperatura mínima del mes més fred, temperatura màxima del mes més càlid, índex de continentalitat, índex tèrmic i índex Emberger.

Anàlisis estadístiques

Només s'ha dut a terme amb les localitzacions de la península Ibèrica. S'han fet correlacions entre el nombre de mesos des de la transició floral i les dades climàtiques anuals i mensuals, així com amb els índexs climàtics per veure relacions entre floració i clima. Les anàlisis s'han fet utilitzant totes les poblacions, només les primerenques o només les tardanes. S'han realitzat t-test amb les dades climàtiques, per comparar les poblacions de floració primerenca i tardana pel cas de les inflorescències i de les espigues de capítols. Per comparar l'ocurrència de braquiblasts i espigues de capítols entre poblacions primerenques i tardanes s'ha utilitzat el test de la χ^2 .

En totes aquestes anàlisis estadístiques s'ha considerat com a significatiu, quan el valor de p_valor obtingut era inferior a 0,05.

S'ha analitzat què succeïa al utilitzar no només els plecs amb inflorescència estadi B, sinó també els plecs FB i BM.

Resultats

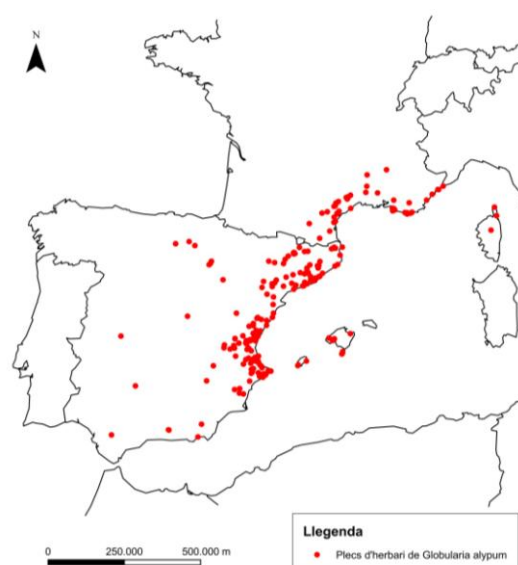


Figura 1. Distribució dels plecs de *G. alypum* georeferenciats a partir dels quatre herbaris. Sistema de

referència UTM fus 30 hemisferi nord Datum ED50 (paràmetres MADTRAN Espanya/Portugal). Font: Elaboració pròpia.

Els resultats indiquen que la precisió no comporta canvis en els patrons de distribució, per la qual cosa s'ha decidit utilitzar tots els plecs vàlids.

Inflorescència

Les plantes de floració primerenca comprendrien els sis primers mesos (del juliol al desembre) i les de floració tardana els quatre restants (del gener a l'abril). Els mesos 11 i 12, és a dir, maig i juny, no queden inclosos ja que en aquest període no es coneix si la floració de la planta correspon a plantes de floració primerenca o tardana, pel fet que els períodes es solapen. En la figura 2 s'observa com les poblacions primerenques tendeixen a localitzar-se a zones properes a la costa i les poblacions tardanes a zones més interiors.

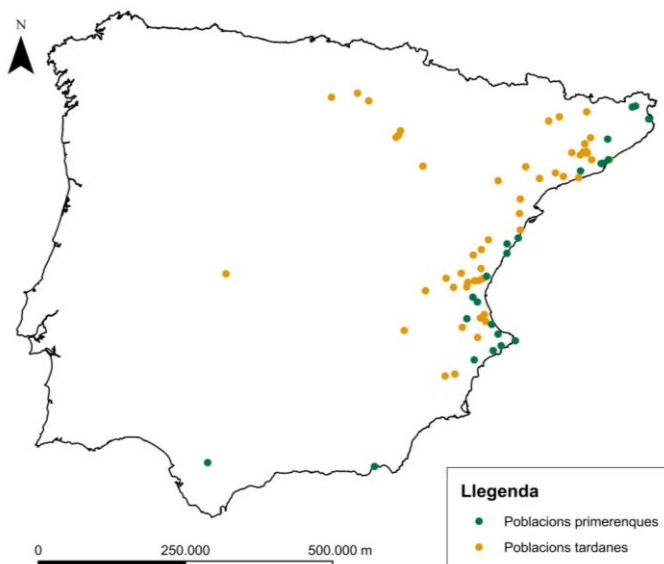


Figura 2. Distribució a la península Ibèrica dels plecs de *G. alypum* (amb inflorescència estadi B) distingint entre les poblacions de floració primerenca i les poblacions de floració tardana. Sistema de referència UTM fus 30 hemisferi nord Datum ED50 (paràmetres MADTRAN Espanya/Portugal). Font: Elaboració pròpia.

En les poblacions primerenques no es pot afirmar que a mesura que transcorren els mesos des de la transició floral cada cop vagin apareixent plecs cap a zones més interiors, sinó que es veu una gran variabilitat. En les tardanes, sembla que hi ha una major tendència a trobar plecs cap a zones més interiors però falten dades estadístiques que ho demostrin.

Les anàlisis estadístiques mostren que com més baixa és la temperatura, més tard floreixen les poblacions. Al analitzar totes les poblacions, hi ha una correlació negativa entre el nombre de mesos des de la transició floral i la temperatura mínima mensual i la temperatura mitjana mensual al llarg de tots els mesos, mentre que amb la temperatura màxima mensual entre octubre i abril. Els intervals tèrmics mensuals es correlacionen positivament amb el nombre de mesos des de la transició floral en el període entre maig i octubre, i en el cas de la precipitació la qüestió és més variable (Taula 1a).

En les poblacions primerenques, no s'ha trobat cap correlació amb les variables climàtiques mensuals (Taula 1b). En les poblacions tardanes, el nombre de mesos des de la transició floral es correlaciona negativament amb la temperatura mínima mensual excepte al juliol, la temperatura màxima mensual excepte el període entre abril i setembre, i amb la temperatura mitjana mensual excepte el període estival (juny, juliol, agost)(Taula 1c). No s'ha trobat correlació pel cas dels intervals tèrmics mensuals ni per la precipitació, excepte al maig, on hi ha una correlació positiva per la precipitació.

El t-test mostra que les poblacions primerenques presenten temperatures mínimes i mitjanes (excepte al juliol) més altes. També per la temperatura màxima mensual entre octubre i març. Les poblacions

tardanes presenten del març a l'octubre valors més grans en els intervals tèrmics, i al gener, febrer, octubre i desembre les poblacions primerenques presenten major precipitació, mentre que al maig i al juny aquesta és menor que en les tardanes.

Al estudiar les variables climàtiques anuals es troben les mateixes correlacions entre aquestes i el nombre de mesos des de la transició floral. A part també s'ha trobat una correlació negativa amb la temperatura mínima del mes més fred, l'índex tèrmic i positiva amb l'índex de continentalitat.

Braquiblast

La distribució dels plecs en funció dels braquiblasts sembla que no segueix cap patró concret, ni a la península Ibèrica ni a França. El patró és similar independentment d'utilitzar els plecs amb inflorescència estadi B o si s'inclou les FB i BM. El test de la χ^2 dona que no existeixen diferències entre poblacions primerenques i tardanes i presència de braquiblast.

Espiga de capítols

La figura 3 mostra com sembla que hi ha una tendència a què les poblacions primerenques presentin més espigues de capítols. Els resultats són els mateixos per França independentment d'utilitzar els plecs amb inflorescència estadi B o si s'inclouen les FB i BM. En els tests de la χ^2 s'obté que per a la península Ibèrica quan només s'utilitzen els plecs amb inflorescència estadi B ($p = 0,021$) i quan s'utilitzen totes les inflorescències ($p = 0,045$). Al estudiar tota l'àrea d'estudi, les diferències segueixen existint, tant pels plecs

	Gen	Feb	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Des
a. Totes les poblacions												
T mín.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T màx.	-	-	-	-	ns	ns	ns	ns	ns	-	-	-
T mit.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T màx. - T mín.	ns	ns	ns	ns	+	+	+	+	+	+	ns	ns
Precip.	-	-	ns	ns	+	+	+	ns	ns	-	ns	-
b. Poblacions primerenques												
T mín.	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
T màx.	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
T mit.	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
T màx. - T mín.	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Precip.	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
c. Poblacions tardanes												
T mín.	-	-	-	-	-	-	ns	-	-	-	-	-
T màx.	-	-	-	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-	-	-
T mit.	-	-	-	-	-	ns	ns	ns	-	-	-	-
T màx. - T mín.	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Precip.	ns	ns	ns	ns	+	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Taula 1. Correlacions entre el nombre de mesos des de la transició floral i les dades climàtiques mensuals. Entre elles hi ha les mitjanes mensuals de la temperatura mínima (T mín.), temperatura màxima (T màx.), temperatura mitjana (T mit.), la precipitació (Precip.) i els intervals tèrmics (T màx. - T mín.) per (a) totes les poblacions ($n=87$), (b) poblacions primerenques ($n=26$) o (c) per a les poblacions tardanes ($n=61$), dels plecs amb inflorescència estadi B (oberta i amb els pètals blaus), sense considerar el maig i el juny. Els signes negatius (-) indiquen correlació negativa significativa, els (+) correlació positiva significativa i (ns) que no existeix correlació. Font: Elaboració pròpia.

amb inflorescència estadi B ($p = 0,016$) com per totes les inflorescències ($p = 0,025$).

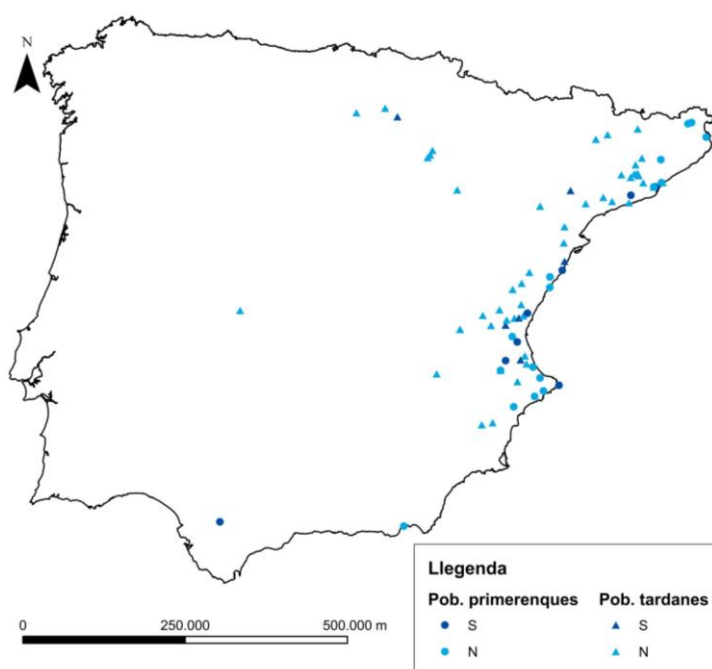


Figura 3. Distribució a la península Ibèrica dels plecs (amb inflorescència estadi B) de *G. alypum* en funció de la presència o absència d'espiga de capítols. Es distingeixen dues categories: S (presència d'espiga de capítols) i N (no tenen espiga de capítols). Sistema de referència UTM fus 30 hemisferi nord Datum ED50 (paràmetres MADTRAN Espanya/Portugal). Font: Elaboració pròpia.

Discussió

S'han identificat els dos grups de poblacions, els de floració primerenca i els de floració tardana, tal i com estudis previs ja havien suggerit per diferents àrees de Catalunya (Estiarte *et al.*, 2011). Les primerenques es localitzen a les zones litorals, mentre que les de floració tardana ho fan a zones més interiors. Als llocs càlids és més freqüent trobar un retardament enlloc d'un avançament de la floració, tenint en compte que abans de donar-se la floració s'ha d'haver produït el creixement dels borrons.

S'ha decidit que la millor opció era descartar els plecs amb floració al maig i juny. Estudis previs han vist que a Catalunya la transició floral ja s'ha donat al juliol (Estiarte *et al.*, 2011), però no es coneix el moment exacte en què té lloc. Segons les nostres dades, els plecs del juny semblaria que són de floració primerenca perquè es distribueixen prop de la costa, mentre que els del maig, s'ha vist que dos plecs es situen a la costa però dos a les zones interiors. En aquest cas, podria ser que el maig fos el mes que marca la frontera entre els individus de floració primerenca i tardana. També s'han descartat pel reduït nombre de dades que es disposa.

Les temperatures (mitjana, mínima, màxima i mínima del mes més fred) són més altes en les poblacions primerenques per l'efecte regulador que exerceix el mar. Es suggereix que les baixes temperatures al llarg de l'any serien el factor regulador de la disjunció existent en la floració. Al analitzar individualment les poblacions, es veu com la temperatura és un factor més determinant per a les poblacions tardanes ja que al estudiar sols les poblacions primerenques totes les correlacions desapareixen. En certa manera, això és bastant lògic ja que les poblacions tardanes a l'hivern encara es troben en forma de borró, per la qual cosa les

baixes temperatures podrien ser importants per al desenvolupament d'aquests.

Estudis previs duts a terme al Garraf sota condicions experimentals controlades, suggereixen que un factor ambiental que pot ser determinant per a les poblacions de floració primerenca és la precipitació (Prieto *et al.*, 2008). En una població del Garraf la primera precipitació que torna a humitejar el sòl després o durant la sequera d'estiu és l'estímul que engega el procés de la floració. En el nostre cas no es pot afirmar res al respecte.

Es desconeix si les diferències de floració entre aquests dos grups de poblacions són degudes a adaptacions genètiques, o bé, reflecteixen la plasticitat fenotípica. En el segon cas, es podria explicar per un avançament del cicle reproductiu donant lloc a un avançament de la transició floral dels meristems, o bé, per un desenvolupament més ràpid dels borrons en les plantes primerenques, afavorides per temperatures màximes més baixes disminuint l'estrès a suportar, i per temperatura mínimes més elevades, la qual cosa permetria un major creixement dels borrons durant la nit. Si es tractés d'adaptacions genètiques al clima local, podria donar-se la situació que els individus de floració tardana requerissin un període d'exposició al fred previ a la floració, no necessari en les primerenques (Estiarte *et al.*, 2011).

No es pot justificar que la presència de braquiblasts vingui determinada per alguna de les característiques ambientals que condicionaven els períodes de floració. Per altra banda, en el cas de les espigues de capítols són més presents en les poblacions primerenques. Els motius pels quals això succeeix no es coneixen. Estudis fets fins al moment han suggerit l'existència de diferents mecanismes que inhibeixen els meristems

axil·lars. Aleshores sembla que ha d'existir algun altre mecanisme que impossibilita que la inhibició sigui efectiva, i els individus no presentin dominància apical.

Degut al canvi climàtic es poden donar canvis en els patrons fenològics de *G. alypum*. Un escalfament podria comportar un avançament de la floració de les poblacions tardanes, algunes de les quals podrien passar a ser de l'altre patró. La planta podria resultar beneficiada reduint el risc que els borrons i les inflorescències experimentin danys causats per les gelades (encara que no se'n coneixen els danys reals) o la depredació, ja que se'n reduirien els períodes d'exposició. No obstant, l'avançament del període de floració podria causar impactes en les dinàmiques i composició dels ecosistemes, com per exemple les desincronitzacions entre plantes i pol·linitzadors (Peñuelas *et al.*, 2002), amb canvis en la disponibilitat d'aliment per aquests.

Conclusions

Els dos grups de poblacions suggerits en estudis a escala local (primerenques i tardanes), també són vàlids a escala regional. En les poblacions tardanes les temperatures són un factor determinant. Com més fred fa més tarden a florir. No obstant, no es pot concloure el factor determinant de les primerenques. Respecte als braquiblasts no s'han trobat diferències entre els dos grups de poblacions, però sí en les espigues de capítols, essent més freqüents en les primerenques.

Referències

DE BOLÒS, O.; VIGO, J. (1995). *Història Natural dels Països Catalans*. Barcelona: Editorial Barcino.

ESTIARTE, M.; PUIG, G.; PEÑUELAS, J. (2011). "Large delay in flowering in continental versus coastal populations of a Mediterranean shrub, *Globularia alypum*". *Int. J. Biometeorol*, 55, p. 855-865.

GORDO, O.; SANZ, J. J. (2009). "Long-term temporal changes of plant phenology in the Western Mediterranean". *Global Change Biology*, 15, p. 1930-1948.

IPCC. (2007). *Climate change 2007: the physical science basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [Solomon, S.; Qin, D.; Manning, M.; *et al.*, (eds)]. Cambridge, UK and New York: Cambridge University Press.

LLORET, F.; SOLÉ, A.; VAYREDA, J. [et al] (2009). *Atles de plantes llenyoses dels boscos de Catalunya*. Barcelona: Lynx.

MONTSERRAT MARTI, G.; PALACIO, S.; MILLA, R. (2004). "Fenología y características funcionales de las plantas leñosas mediterráneas" a Valladares, F. (ed) *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. Ministerio de Medio Ambiente, EGRAF, S.A., Madrid, p. 129-162.

ORSHAN, G. (1989). *Plant phenol-morphological studies in Mediterranean type ecosystems*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

PEÑUELAS, J.; FILELLA, I.; COMAS, P. (2002). "Changed plant and animal life cycles from 1952 to 2000 in the Mediterranean region". *Global Change Biology*, 8, p. 531-544.

PRIETO, P.; PEÑUELAS, J.; OGAYA, R. [et al.] (2008). "Precipitation-dependent flowering of *Globularia alypum* and *Erica multiflora* in Mediterranean shrubland under experimental drought and warming, and its inter-annual variability". *Annals of Botany*, 102, p. 275-285.

RIVAS-MARTÍNEZ, S.; SÁNCHEZ-MATA, D.; COSTA, M. (1999). "North American boreal and western temperate forest vegetation". *Itinera Geobot.*, 12, p. 5-316.