

GEA, FLORA ET FAUNA

Caracterització ambiental dels corotipus de plantes vasculares de Catalunya

Meritxell Andrés*, Xavier Font* & Francesc Oliva**

* Universitat de Barcelona, Facultat de Biologia. Departament de Biologia Vegetal. Avda. Diagonal, 645. 08028 Barcelona.

** Universitat de Barcelona. Facultat de Biologia. Departament d'Estadística. Avda. Diagonal, 645. 08028 Barcelona.

Autor per a la correspondència: Meritxell Andrés. A/c: meritxell.andres@gmail.com

Rebut: 10.11.2014; Acceptat: 05.12.2014; Publicat: 29.12.2012

Resum

Catalunya és un territori ric en biodiversitat, ja que la seva orografia, la seva diversitat geològica i la seva posició geogràfica la fan ambientalment molt variada. Aquest treball pretén determinar els factors ambientals (climàtics, geogràfics i geològics) que condicionen els corotipus regionals de plantes vascular. Per fer-ho s'ha utilitzat una anàlisi de redundància basada en distàncies (dbRDA). Els resultats mostren que les variables ambientals expliquen el 83,77 % de la variància de la distribució de les espècies que formen els diferents corotipus, i els dos primers eixos canònics n'expliquen el 70,13 %. El primer eix canònic està molt correlacionat amb l'altitud i el segon eix amb la reacció del sòl (bàsic/àcid) i la proximitat a la costa (oceanitat/continentalitat). La correlació de la distribució d'espècies i variables ambientals permetrà estudiar el comportament de les espècies davant els canvi ambientals.

Mots clau: anàlisi de redundància basada en distàncies (dbRDA), patrons de distribució, agrupacions ambientals, distribució d'espècies.

Abstract

Environmental characterization of vascular plants of Catalonia chorotypes

Catalonia is a rich area in Biodiversity, its orography and geographic position produce a rich variability climatic area. In this paper, we determine environmental factors (climatic, geographic and geologic) that influence the regional corotypes of vascular plants. We use distance based redundancy analysis (dbRDA). Results show that environmental factors explain 83,77 % of the variance of the species distribution in corotypes, and the two first canonical axis explain 70,13 %. The first axis is related with altitude and the second axis with the soil reaction (basic/acid) and the coast distance (oceanity/continentality). The correlation of species distribution and environmental variables allow to study the behavior of the species to changes in environmental conditions.

Key words: distance based redundancy analysis (dbRDA), distribution pattern, environmental groups, species distribution.

Introducció

La distribució de les plantes vascular es veu influenciada per factors climàtics, geogràfics i geològics; i per tant els corotipus s'han de poder relacionar amb factors ambientals (Real *et al.*, 1997). Els contrastes d'altitud, orientació i pendent presents a Catalunya formen un complex mosaic climàtic que condiciona la vegetació (Martín-Vide, 2010). A més d'aquestes tres variables, en la distribució de les plantes vasculares, podem destacar la influència de la radiació, factor relacionat amb l'orientació i el pendent (Ferrer-Castán & Vetaas, 2003); balanç hídric i la temperatura (Woodward, 1987); el règim estacional de precipitacions dins del balanç hídric, la temperatura mitjana de les mínimes hivernals i de la temperatura estival dins de les temperatures (Allué Andrade, 1990).

El territori d'estudi és Catalunya, una àrea molt diversa des del punt de vista fisiogràfic i biogeogràfic (Bolós, 1985). La singular posició geogràfica de Catalunya, occidental en el context euroasiàtic, però a l'est de la península Ibèrica; i el

pes dels factors geogràfics, en particular l'accidentada orografia, fan que hi hagi un ric mosaic de climes i microclimes, tot i el caràcter mediterrani general, llevat la Vall d'Aran (Martín-Vide *et al.*, 2010; Pino *et al.* 2009). Aquest mosaic fa que l'àrea presenti una alta biodiversitat (Pino *et al.* 2009; Pino *et al.* 2005; Bolós *et al.* 2005; Pausas *et al.*, 2003; Bolós, 2001).

La relació geogràfica entre les àrees de distribució de diverses espècies pot resultar un gradient continu, és a dir, una substitució gradual de les espècies; o bé un patró discret, on trobem conjunts d'espècies amb distribucions semblants, diferenciades d'altres grups (Mayr, 1965 & Hengeveld, 1990). Ambdós tipus de patrons poden coexistir (Báez *et al.*, 2005). La presència, doncs, d'espècies amb distribució més o menys coincident ens permet definir models de distribució per a grups d'espècies. El 1978, Baroni-Urbani proposa el terme corotipus per definir un conjunt d'espècies que mostra una distribució geogràfica semblant, el qual és significativament diferent al d'altres conjunts. El terme defineix una àrea on de

manera potencial podem trobar el conjunt d'espècies, però no és necessari trobar-les totes a tot el territori (Román *et al.*, 2003). Per tant, trobem que el terme corotípus té dos components: l'element geogràfic (l'àrea on podem trobar el corotípus) i l'element biòtic (Birks, 1987), format per les espècies que segueixen una tipus de distribució. Aquesta última ve donada per factors climàtics, geogràfics i geològics del territori (Woodward, 1987).

El fet de poder definir grups d'espècies associats a un patró de distribució territorial, que a la vegada ve associat a unes variables geogràfiques, climàtiques i geològiques, ens permet treballar en la predicció de distribucions associades al canvi climàtic (Stanisci, 2005; Ventura, 2014) i en el camp de les espècies invasores (Real, 2008a, b). A més, el fet de poder predir la distribució espacial de les espècies mitjançant dades associades ha estat reconegut com a component dels plans de conservació (Austin 2002; Guisan & Zimmermann 2000; Elith & Burgman 2002; Scott *et al.* 2002).

Andrés & Font (2011) van definir, mitjançant tècniques d'agrupació (K-means), 10 patrons de distribució de plantes vasculares dins l'àrea d'estudi, que tenen les condicions per ser corotípus, ja que presenten un conjunt d'espècies presents propi. A continuació es detallen els patrons definits.

Corotípus del Cap de Creus (C1, Fig. 1, a), té una distribució centrada a la península del Cap de Creus, s'estén vers el nord, de manera que comprèn aproximadament el territori Ruscínic definit per Bolòs (2005). Hi destaquen les espècies de comunitats acidòfiles obertes (*Helianthemion guttati*) i plantes aquàtiques mediterrànies.

Corotípus Catalanídic Septentrional (C2, Fig. 1, b), té una àrea de distribució litoral septentrional, que penetra fins a la Garrotxa. Hi trobem sobretot espècies acidòfiles, com són les dels prats d'annuals (*Helianthemion guttati*), de les suredes (*Quercion ilicis*) i brolles acidòfiles mediterrànies (*Cistion laurifolii*).

Corotípus Litoral (C3, Fig. 1, c), s'estén al llarg del litoral, però centrat en tres punts: els aiguamolls de l'Empordà, el delta del Llobregat i el delta de l'Ebre. Les espècies d'aquest corotípus són típiques de zones d'aiguamolls litorals, i en fan part espècies que, d'altra banda, també trobem en una sèrie d'ambients com ara llacunes endorreiques continentals i sòls sorrenes (com *Juncetalia maritimi*, *Ammophilion australis*, *Plantaginion crassifoliae*).

Corotípus de les Muntanyes Catalanídiques Meridionals i Prepirineus (C4, Fig. 1, d), presenta una distribució en forma d'arc que comença als Prepirineus (Montsec), i segueix per les muntanyes Catalanídiques: Montserrat, Montsant i Ports de Beseit, i els Prepirineus exteriors. Hi destaquen espècies calcícoles oromediterrànies pròpies de les aliances *Ononidion striatae* i *Genistion lobelii*.

Corotípus de les Planes de Lleida (C5, Fig. 1, e), s'estén pel sud-oest del territori Català, i correspon força bé al territori Sicòric definit per Bolòs *et al.* (2005). Presenta espècies mediterrànies de caràcter continental que es troben en ambients diversos (*Gypsophilion*, *Agropyro-Lygeion*, *Salsolo-Peganelia*).

Corotípus de la Terra Baixa (C6, Fig. 1, f), correspon força bé a la terra baixa definida per Bolòs (1985). S'hi troben es-

pècies ruderals i arvenses, així com alguns tàxons propis dels alzinars (*Quercion ilicis*).

Corotípus Mediterrani de Distribució Ampla (C7, Fig. 1, g), s'estén per tot el territori. Presenta espècies mediterrànies d'àmplia distribució comunes al territori, que defugen només l'alta muntanya pirinenca. Els quadrats UTM del centre de Catalunya amb un nombre baix d'espècies es deuen sobretot a la manca de mostreig en aquest territori.

Corotípus de la Muntanya Mitjana (C8, Fig. 1, h), segueix les serralades del territori, i correspon força bé a la muntanya mitjana humida, o regió biogeogràfica Eurosiberiana de Bolòs (1985). El corotípus està format sobretot per espècies pròpies de les pastures mesòfiles (*Festuco-Brometea*) i de les rouredes (*Quercion pubescenti-sessiliflorae*).

Corotípus de la Vall d'Aran (C9, Fig. 1, i), s'estén pel Pirineu occidental (Vall d'Aran). Destaquen les plantes alpines restringides als Pirineus Centrals, com les que es fan als herbassars megafòrbics (*Adenostylon alliariae*), tarteres calcàries (*Iberidion spathulatae*), congeneres (*Salicion herbaceae*) i molteres calcícoles (*Caricion davallianae*).

Corotípus d'Alta Muntanya (C10, Fig. 1, j), s'estén al llarg del Pirineu i del Prepirineu i correspon força bé a la vegetació d'alta muntanya o a la regió boreoalpina definida per Bolòs (1985). Trobem espècies de prats alpins i subalpins (*Juncetalia trifidi* i *Elyno-Seslerietea*) i dels boscos subalpins de *Pinus uncinata* (*Rhododendro-Vaccinion*).

L'objectiu d'aquest estudi és identificar els factors ambientals (geogràfics, climàtics i geològics) relacionats amb la de distribució de plantes vasculares de Catalunya que formen part dels corotípus definits més amunt, i avaluar en quin grau els condicionen.

Material i Mètode

Recollida de dades

Emprem com a unitat geogràfica de treball el quadrat UTM de 10 km de costat, atès que hi ha un gran volum de dades florístiques a aquesta escala recollides pel Banc de Dades de Biodiversitat de Catalunya (Font *et al.*, 2009). Tot i la mida relativament gran de la unitat (100 km²), és un sistema de xarxa regular usat satisfactòriament en diversos estudis precedents (Pausas & Saéz, 2000; Quadrada & Font, 2001; Pausas *et al.*, 2003).

Catalunya resta inclosa en 385 quadrats UTM. S'han eliminat de l'estudi aquells quadrats que tenen més del 50 % de la superfície sobre el mar (16 en total), ja que considerem que són poc representatius respecte les variables explicatives o bé, el mostreig florístic és insuficient. S'han eliminat també 50 quadrats UTM que presentaven més d'un 75 % de l'àrea fora del territori de l'estudi. En total s'han eliminat 66 quadrats UTM, quedant-ne 319 per a ser estudiats.

Com a variables geogràfiques explicatives hem utilitzat l'altitud, el pendent i l'orientació; obtingudes mitjançant un model digital d'elevacions (MDE) de Catalunya construït a partir de les fonts vectorials de la base topogràfica de Catalunya 1:50000 de l'Institut Cartogràfic de Catalunya (v 3.1).

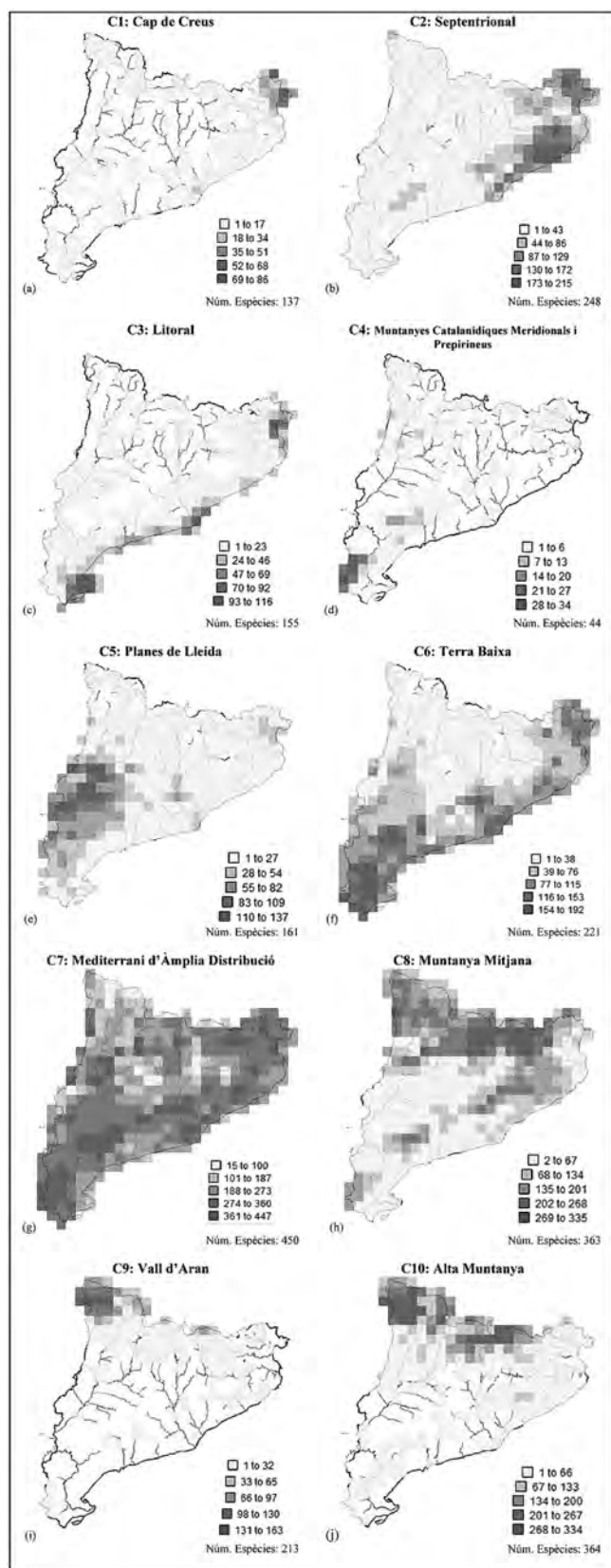


Figura 1. Nombre d'espècies pròpies de cada corotipus per quadrat UTM.

Pel que fa a l'altitud i el pendent s'ha calculat la mitjana per a cada UTM; i en el cas de l'orientació, s'ha mesurat el percentatge de la superfície projectada de l'àrea del quadrat orientada a cada punt cardinal.

Les dades de temperatura, precipitació i radiació (variables climàtiques) es van obtenir a partir dels mapes de l'Atlas Climàtic Digital de Catalunya disponibles a <http://www.opengis.uab.cat/acdc/catala/presentacio.htm> (Ninyerola *et al.*, 2000). Als mapes obtinguts de les variables en format raster s'ha superposat i creuat la capa d'UTMs i s'ha obtingut els valors per a cada UTM amb el programari «ArcInfo (ESRI, 2011)».

Les dades de dèficit hídric i evapotranspiració potencial s'han obtingut a partir de l'Atlas Climàtic de Catalunya disponible a Internet (<http://mediambient.gencat.net/cat/inici.jsp>), digitalitzat pel Departament de Medi Ambient de la Generalitat a partir del mapa analògic de l'Atlas Climàtic corresponent del Institut Cartogràfic de Catalunya (Clavero, 1996). S'ha usat «ArcInfo (ESRI, 2011)» per poder extreure del mapa les dades per a cada UTM, com en les anteriors variables climàtiques. S'ha obtingut el percentatge de dèficit hídric i d'evaporació potencial. En la primera variable la llegenda s'ha dividit en 7 tipus, i en la segona, en 5.

Els diferents tipus litològics (variables geològiques) presents al territori s'obtenen a partir del mapa hidrogeològic de l'Institut Cartogràfic de Catalunya (DPTOP & SGC, 1992). Per simplificar la quantitat de tipus de sòls s'han agrupat els 39 tipus de la llegenda del mapa en 7 grans formacions segons Pausas *et al.* (2003).

En total disposem de 92 variables inicials, entre les quals trobem factors climàtics, geogràfics i geològics. Tanmateix però, hi ha molta informació redundant. Emprant l'anàlisi de components principals (PCA) com a tècnica de reducció de la dimensió i l'estudi de les correlacions entre les variables, s'ha reduït el nombre de variables a 23 (taula 1). Les 23 variables s'han obtingut o bé com a selecció directa de les originals o bé corresponen a una combinació lineal de dues o més variables originals.

Anàlisi de dades

El programari utilitzat per l'anàlisi estadístic és «R Development Core Team (2014)». S'han utilitzat dins del programa el paquet *cluster* (Maechler *et al.*, 2014) i *vegan* (Oksanen *et al.*, 2013).

Per estudiar la influència de les variables ambientals sobre els 10 corotipus definits hem realitzat una anàlisi de redundància basat en distàncies (db-RDA) (Legendre & Anderson, 1999), amb la distància de Hellinger (Rao, 1995; Legendre & Gallagher, 2001) com a mesura de proximitat entre els corotipus. Ara bé, l'anàlisi la realitzarem emprant inicialment la transformació de Hellinger (Legendre & Gallagher, 2001) a les dades dels corotipus i un RDA (*Redundancy Analysis*; Van der Wollenberg, 1977) posterior; atès que la transformació de Hellinger i la utilització de la distància euclídea implícita en un RDA és equivalent a utilitzar directament la distància de Hellinger en un db-RDA.

La distància de Hellinger és equivalent a aplicar la transformació arrel quadrada a les dades i posteriorment la dis-

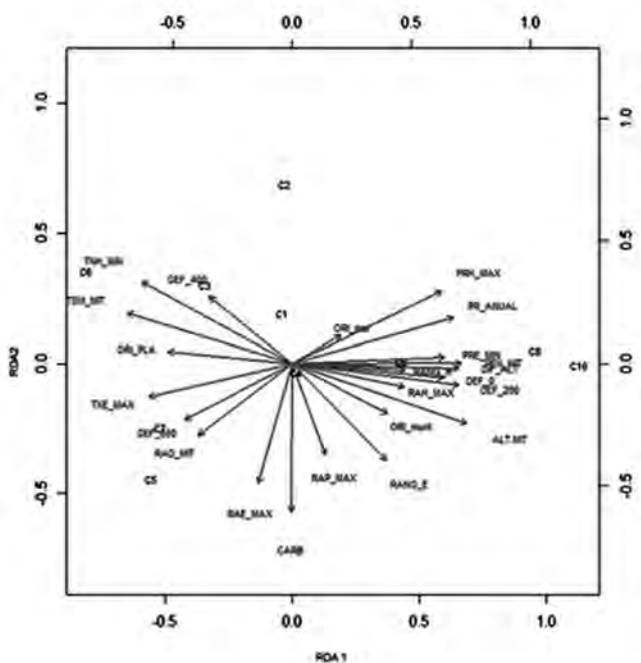


Figura 2. Correlació de les variables ambientals amb els eixos canònics (representats amb fletxes) i el coeficient de saturació de cada corotipus (representats pels codis C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9, C10).

tància de la corda (Orlóci, 1967; Cavalli-Sforza & Edwards, 1967). La transformació de Hellinger és recomanada per a l'ordenació de dades d'abundància d'espècies en l'article de Rao (1995) i segons Legendre & Gallagher (2001) ofereix una millor relació entre la linealitat i la solució que no pas la distància chi-quadrat (distància que està implícita en la tècnica del *Canonical Correspondence Analysis* o CCA).

L'anàlisi de redundància ens permet estudiar la relació entre dues taules de variables, la matriu resposta i la matriu explicativa. La matriu resposta és en el nostre estudi la matriu del nombre d'espècies de cada corotipus presents a cada UTM obtinguda de l'estudi previ d'Andrés & Font (2011), i la matriu explicativa serà la matriu de variables ambientals descriptores estandarditzades (23 variables per 319 UTM). Es tracta de projectar (ajustar) les variables resposta a l'espai de les variables explicatives i, posteriorment, realitzar una reducció de la dimensió (atès que el nombre de variables explicatives és elevat). Es produeixen, doncs, dues pèrdues d'informació: un en l'ajust a l'espai de les variables explicatives i l'altre en la reducció de la dimensió.

Els resultats de les anàlisis (els coeficients de les variables ambientals i dels corotipus) poden representar-se en dos gràfics superposats (biplot). Els coeficients de les variables ambientals es representen mitjançant vectors i els coeficients dels corotipus es representen amb la posició relativa (Fig. 2). El percentatge d'espècies de cada corotipus a cada quadrat UTM que forma part del corotipus, es representen en 10 gràfics (Fig. 3), indicant el gradient de l'abundància d'espècies del corotipus.

Resultats i discussió

De l'anàlisi RDA obtenim que el 83,77 % de la variància de la distribució de les espècies està explicada per les variables ambientals, i en la reducció de la dimensió, els dos primers eixos canònics expliquen el 70,13 % de la variància de la distribució de les espècies: 55,49 % el primer eix i 14,63 % el segon eix. És a dir, les variables ambientals identifiquen força bé la distribució de les espècies i es pot obtenir una molt bona representació de l'ajust en només dues dimensions.

A la figura 2 es representen els coeficients de les variables ambientals pels dos primers eixos canònics. Tenen una correlació positiva rellevant amb el primer eix canònic del RDA: la manca de dèficit hídric, el dèficit hídric baix (0-200 mm), l'altitud mitjana, la diferència d'altitud, el pendent mitjà, la precipitació anual, la precipitació mínima d'estiu i la precipitació màxima d'hivern. I tenen una correlació negativa rellevant amb aquest: el percentatge del quadrat amb orientació plana, la temperatura mitjana anual, la temperatura màxima de l'estiu més alta i la temperatura mínima de l'hivern més baixa. En el segon eix canònic no trobem variables amb una correlació tant moderada com en el primer eix, tenen una correlació positiva moderada: el dèficit hídric moderat (200-400), la temperatura mínima de l'hivern més baixa i la precipitació d'hivern màxima. I una correlació negativa rellevant: l'altitud mitjana, la proporció del quadrat amb calcàries, margues, conglomerats o guixos, la radiació mitjana anual, la radiació màxima d'estiu, la radiació màxima de primavera i la diferència de temperatura màxima i mínima a l'estiu.

Podem interpretar el primer eix canònic com l'altitud; en un costat trobem els valors de les variables característics de muntanya (valors positius de l'eix canònic) i a l'altre extrem valors típics de baixa altitud i planes (valors negatius de l'eix canònic). El segon eix canònic es pot interpretar com el valor pH del sòl i la proximitat a la costa (característiques oceàniques o continentals), ja que en un extrem trobem sòls bàsics rics en carbonats i característiques climàtiques continentals (valors negatius); i a l'altre extrem es reflecteixen sòls àcids i característiques climàtiques de zones oceàniques (valors positius).

Tenint en compte com estan correlacionades les variables amb els eixos canònics i els coeficients de saturació de cada corotipus, veiem com els corotipus amb espècies de muntanya (corotipus de la Vall d'Aran, C9; corotipus de Muntanya Mitjana, C8 i corotipus d'Alta Muntanya, C10) es troben a la dreta del gràfic influenciats majoritàriament pel primer eix canònic. Els corotipus amb espècies amb característiques oceàniques es troben a la part superior del gràfic (corotipus Septentrional, C2 i corotipus del Cap de Creus, C1). Influenciats pels dos eixos, amb característiques de baixa altitud i planes en el primer eix canònic i amb característiques oceàniques en el segon, trobem el corotipus Litoral (C3) i el corotipus de Terra Baixa (C6). Influenciats per característiques de baixa altitud i planes, però amb característiques continentals pel segon eix canònic trobem el corotipus de les Planes de Lleida (C5) i el corotipus Mediterrani d'Àmplia Distribució (C7). El corotipus de les Muntanyes Catalàniques Meridio-

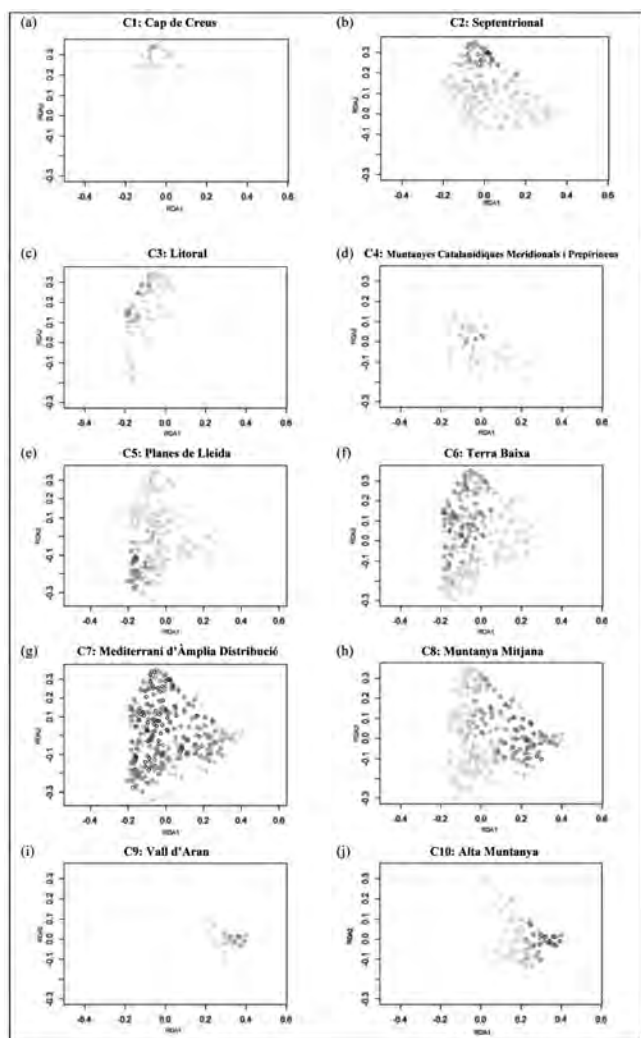


Figura 3. Representació de cada UTM amb espècies pròpies de cada corotipus en els dos primers eixos canònics de l'anàlisi db-RDA. Els quadrats UTM dibuixats es diferencien en quatre categories segons el percentatge d'espècies pròpies presents: 100-75 %, 75-50 %, 50-25 % i 25-5 %. El gradient de la tonalitat va d'acord amb el percentatge, quan més espècies més fosc és el to del gris. No s'ha dibuixat el primer 5 % on hi ha un nombre més baix d'espècies característiques.

nals i els Prepirineus (C4) queda proper a l'eix de coordenades, es veu poc influenciat per les variables correlacionades amb els eixos canònics obtinguts.

El coeficient canònic de determinació (Miller & Farr, 1971) indica com d'ajustat queda representat cada corotipus projectat a l'espai de les variables climàtiques (Legendre, 2008), és a dir, el percentatge de variabilitat explicada per les variables ambientals. Els coeficients canònics de determinació obtinguts (Taula 2) indiquen que els corotipus millor caracteritzats per les variables canòniques són el corotipus d'Alta Muntanya (0,94), el de Terra Baixa (0,88) i el de Muntanya Mitjana (0,86). Per tant, aquests són els corotipus més ben definits pels factors ambientals de l'estudi. Els coeficients més baixos són de 0,43 (corotipus de les Muntanyes Catalàniques i Prepirineus) i 0,47 (corotipus del Cap de

Creus); per tant aquests corotipus estan poc explicats per les variables ecològiques escollides. Ambdós són els corotipus amb menys espècies pròpies: 44, el primer i 137, el segon. En el cas del corotipus de les Muntanyes Catalàniques Meridionals i Prepirineus aquest fet és degut al baix nombre d'espècies i a que el corotipus presenta dos territoris disjunts amb característiques climàtiques força diferenciades; com ja indica el propi nom del corotipus, que correspon a les Muntanyes Catalàniques Meridionals i als Prepirineus. En segon lloc trobem el corotipus del Cap de Creus, on aquest fet pot estar relacionat amb la petita dimensió del territori del corotipus.

A la figura 3 mostrem un gràfic per a cada un dels corotipus, on es representen en els dos primers eixos canònics de l'anàlisi db-RDA els UTM amb espècies pròpies de cada corotipus. El nombre d'espècies pròpies presents a cada UTM es simbolitza amb un gradient de tonalitat de 4 categories: 100-75 %, 75-50 %, 50-25 % i 25-5 %. No s'ha representat el primer 5 % on hi ha un nombre molt baix d'espècies característiques. La representació dels quadrats UTM en els eixos canònics de l'anàlisi db-RDA ens permet veure quines variables influencien cada corotipus.

El corotipus del Cap de Creus (C1, Fig. 3a) se situa a la part superior del gràfic, per tant es veu totalment influenciat per l'oceanitat (eix canònic 2). Afavoreixen aquest corotipus variables com la temperatura mínima d'hivern, la temperatura mitjana anual i el dèficit hídric elevat (superior a 400 mm). I es troba associat negativament a la proporció del quadrat amb calcàries, margues, conglomerats o guixos, l'altitud mitjana, l'amplitud de temperatures d'estiu, la radiació màxima d'estiu i la de primavera, entre d'altres.

El corotipus Septentrional (C2, Fig. 3b) es troba situat a la part superior del gràfic, al voltant de l'eix vertical. Quan estudiem la seva associació amb les variables seleccionades, trobem que les espècies del corotipus estan relacionades negativament a: la proporció del quadrat amb calcàries, margues, conglomerats o guixos, la radiació màxima d'estiu, l'amplitud de temperatures d'estiu, la radiació de primavera màxima, la radiació mitjana anual i l'altitud mitjana. I l'influencien negativament: la temperatura mínima d'hivern, el dèficit hídric entre 200 i 400 mm, la precipitació d'hivern màxima i la temperatura mitjana anual.

El corotipus Litoral (C3, Fig. 3c) és influenciat favorablement per les variables que indiquen litoralitat i oceanitat, com el dèficit hídric moderat (200-400 mm), la temperatura mínima d'hivern i la temperatura mitjana anual, i l'orientació plana. I com a variables amb associació negativa amb les espècies del corotipus podem destacar: l'altitud mitjana, la manca de dèficit hídric i el dèficit hídric baix (0-200 mm), l'amplitud de temperatura d'estiu (màxima menys mínima) i la diferència d'altitud. La distribució és oposada als corotipus amb característiques de muntanya.

El corotipus de les Muntanyes Catalàniques Meridionals i Prepirineu (C4, Fig. 3d), com ja hem esmentat, no té una influència clara de les variables de l'estudi. Això és degut als dos ambients presents al corotipus, un de les Muntanyes Catalàniques Meridionals i un altre del Prepirineu; diferents climàticament, geològicament i geogràficament.

Taula 1. Variables seleccionades mitjançant tècniques de reducció de la dimensió i l'estudi de correlacions.

<i>Nom</i>	<i>Descripció</i>	<i>Unitats</i>
Variables geogràfiques		
ORI_munt	Proporció del quadrat orientada al NE, N i NO	%
ORI_mar	Proporció del quadrat orientada al SE, S i SO	%
ORI_PLA	Proporció del quadrat plana	%
ALT_MIT	Mitjana de l'altitud	m
DIF_ALT	Diferència entre l'altitud màxima i la mínima	m
PEN_MIT	Mitjana del pendent del quadrat	°
Variables climàtiques		
DEF_0	Proporció del quadrat amb dèficit hídric <0 mm	%
DEF_200	Proporció del quadrat amb dèficit hídric de 0-200 mm	%
DEF_400	Proporció del quadrat amb dèficit hídric de 200-400 mm	%
DEF_600	Proporció del quadrat amb dèficit hídric >400 mm	%
RAD_MIT	Promig de radiació mitjana anual	Kj m ⁻² dia ⁻¹
RAE_MAX	Radiació de l'estiu màxima	Kj m ⁻² dia ⁻¹
RAH_MAX	Radiació de l'hivern màxima	Kj m ⁻² dia ⁻¹
RAP_MAX	Radiació de la primavera màxima al quadrat	Kj m ⁻² dia ⁻¹
RANG_E	Diferència entre la temperatura màxima i mínima de l'estiu	°C
RANG_H	Diferència entre la temperatura màxima i mínima de l'hivern	°C
TEM_MIT	Temperatura mitjana anual	°C
TXE_MAX	Temperatura màxima de l'estiu màxima	°C
TNH_MIN	Temperatura mínima de l'hivern mínima	°C
PR_ANUAL	Precipitació anual mitjana	mm
PRE_MIN	Precipitació de l'estiu mínima al quadrat	mm
PRH_MAX	Precipitació de l'hivern màxima	mm
Variables geològiques		
CARB	Proporció del quadrat amb calcàries, margues, conglomerats o guixos.	%

El corotipus de les Planes de Lleida (C5, Fig. 3e) es troba relacionat positivament a variables com la temperatura d'estiu màxima, el dèficit hídric elevat, la radiació mitjana anual i la màxima d'estiu, la temperatura mitjana i en menor grau pels carbonats. I com a variables relacionades negativament, hi ha la precipitació anual i la d'hivern màxima, el pendent mitjà, la diferència d'altitud i la precipitació d'estiu mínima.

El corotipus de Terra Baixa (C6, Fig. 3f) es veu influenciat favorablement pel dèficit hídric moderat (200-400 mm), la temperatura mínima d'hivern, la mitjana d'estiu, la temperatura màxima d'estiu i la proporció del quadrat amb orientació plana. I com a variables que l'influencien negativament la presència del corotipus trobem: l'altitud mitjana, el dèficit hídric baix (0-200 mm) i la manca de dèficit hídric, el pendent del quadrat i la diferència d'altitud del quadrat.

El corotipus Mediterrani d'Àmplia Distribució (C7, Fig. 3g) es veu influenciat per totes les variables; segons el punt que analitzem trobarem una influència major d'unes o d'altres. Podem destacar amb influència negativa la precipitació d'hivern màxima, la precipitació anual mitjana i el pendent mitjà. I com a influència positiva destaquem la temperatura d'estiu màxima. Les espècies s'estenen pel territori segons el grau de tolerància als valors de les variables ambientals.

Els UTM del corotipus de Muntanya Mitjana (C8, Fig. 3h) dibuixen un triangle equilàter amb l'angle més agut amb influència positiva de les variables relacionades amb les espè-

cies de muntanya (altitud mitjana, pendent mitjà, diferència d'altitud, manca de dèficit hídric del quadrat i dèficit hídric baix (0-200 mm), precipitació anual, precipitació d'hivern màxima i precipitació d'hivern mínima). I les variables que el desfavoreixen són la temperatura mitjana, la temperatura mínima d'hivern i la màxima d'estiu, entre d'altres.

El corotipus de la Vall d'Aran (C9, Fig. 3i) es troba situat a la part dreta del primer eix canònic. Les variables que afavoreixen la presència del corotipus són: l'altitud mitjana, el pendent mitjà, la diferència d'altitud al quadrat, la manca de dèficit hídric i el dèficit hídric entre 0 i 200 mm, la precipitació anual, el rang de temperatures d'hivern i la precipitació mínima. I es veu associat negativament per la temperatura mitjana anual, la precipitació d'hivern mínima i la temperatura màxima d'estiu.

El corotipus d'Alta Muntanya (C10, Fig. 3j) presenta unes característiques semblants al corotipus de la Vall d'Aran i al de Muntanya mitjana. Es pot observar que els quadrats UTM amb més espècies presenten més influència positiva de l'eix canònic 1 (on trobem el valor de les variables característic de muntanya). Entre les variables que afavoreixen el corotipus trobem: l'altitud mitjana, el pendent mitjà, la manca de dèficit hídric i el dèficit hídric moderat (0-200 mm), la diferència d'altitud del quadrat, la precipitació anual i precipitació mínima i la precipitació d'hivern màxima. I es troba desfavorit per la temperatura mitjana, la temperatura mínima d'hivern,

Taula 2. R² de cada corotipus. Aquest valor indica el percentatge de variabilitat del grup explicada per les variables ambientals.

Corotipus	R ²
C1	0,47
C2	0,77
C3	0,63
C4	0,43
C5	0,83
C6	0,88
C7	0,81
C8	0,86
C9	0,81
C10	0,94

la temperatura màxima d'estiu i la proporció del quadrat amb orientació plana.

Conclusions

Segons l'anàlisi de redundància basat en distàncies (dbR-DA) les variables ambientals expliquen un 83,7 % de la variància dels corotipus, i els dos primers eixos canònics expliquen el 70,13 %. Aquests percentatges elevats indiquen que les variables ambientals expliquen prou bé els corotipus descrits. Així que, podem caracteritzar els principals factors ecològics que condicionen la distribució dels corotipus.

Cal tenir present que alguns dels corotipus definits a Andrés & Font (2011) poden variar segons el marc de referència; conservant-se, estenent-se en augmentar l'àrea geogràfica d'estudi o quedar inclosos en un altre unitat si es redueix. Per tant, aquests corotipus, grups d'espècies amb una distribució al territori i unes variables ambientals que els caracteritzen, són vàlids tenint en compte aquest territori d'estudi concret.

Tenen una relació positiva amb el primer eix (55,49 % de la variabilitat): l'altitud mitjana, la diferència d'altitud dins el quadrat, el pendent mitjà, la manca de dèficit hídric i el dèficit hídric moderat (0-200 mm), la precipitació d'estiu mínima i la precipitació d'hivern màxima. I tenen una relació negativa, i per tant contraposades amb les anteriors: la temperatura mitjana anual, la temperatura màxima d'estiu, la temperatura mínima d'hivern i la proporció del quadrat amb orientació plana. És a dir, aquest primer eix canònic està relacionat fonamentalment amb l'altitud: a la dreta trobem els quadrats UTM característics de muntanya i a l'altre extrem els de baixa altitud i plans.

El segon eix canònic està relacionat per la reacció del sòl i la proximitat a la costa, en un extrem trobem els quadrats amb sòls bàsics rics en carbonats i característiques climàtiques continentals, i a l'altre extrem apareixen els quadrats amb sòls àcids i característiques climàtiques de zones oceàniques.

Hi ha 7 corotipus on l'ajust amb les variables ambientals és força alt (R² > 0,75). Els corotipus més ben identificats per

les variables de l'estudi són el d'Alta Muntanya, el de Terra Baixa, el de Muntanya Mitjana, el de les Planes de Lleida, el de la Vall d'Aran, el Mediterrani d'Àmplia Distribució i el Septentrional. Els corotipus menys explicats per les variables ambientals de l'anàlisi són el de les Muntanyes Catalanídiques Meridionals i els Prepirineus, i el del Cap de Creus.

Podem concloure que les variables ambientals seleccionades caracteritzen força bé la majoria dels corotipus presents a Catalunya, i aquests poden ser útils per a l'estudi de la conservació, la biodiversitat i el canvi climàtic.

Bibliografia

- ALLUÉ ANDRADE, J. L. 1990. *Atlas fitoclimático de España. Taxonomías*. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid. 122 p.
- ANDRÉS, M. & FONT, X. 2011. Agrupacions de plantes vasculars segons la seva distribució a Catalunya. *Botànica Pirenaica-cantàbrica; Actes del IX Col·loqui Internacional de Botànica Pirenaico-cantàbrica a Ordino, Andorra*: 31-44.
- BÁEZ, J. C., REAL, R., VARGAS, J. M. & FLORES-MOYA, A. 2005. Chorotypes of seaweeds from the western Mediterranean Sea and the Adriatic Sea: An analysis based on the genera *Audouinella* (Rhodophyta), *Cystoseira* (Phaeophyceae) and *Cladophora* (Chlorophyta). *Phycological Research*, 53: 255-265.
- BIRKS, H. J. B. 1987. Recent methodological development in quantitative descriptive biogeography. *Annales Zoologici Fennici*, 24: 165-78.
- BOLÓS, O. 1985. *Corologia de la flora del Paísos Catalans, volum introductorio*. Institut d'Estudis Catalans, secció de ciències, ORCA: notícies i comentaris, vol. 1.
- BOLÓS, O. 2001. *Vegetació dels Paísos Catalans*. Aster Editorial, col·lecció Gaia vol. 8.
- BOLÓS, O., VIGO, J., MASALLES, R. M. & NINOT, J. M. 2005. *Flora Manual dels Paísos Catalans*. Ed. Pòrtic, 3ed.
- CAVALLI-SFORZA, L. L. & EDWARDS, A.W. F. 1967. Phylogenetic analysis: models and estimation procedures. *Evolution* 21: 550-570.
- CLAVERO, P., MARTÍN VIDE, J. & RASO NADAL, J. M. 1996. *Atles climàtic de Catalunya. Termopluiometria*. Generalitat de Catalunya (Departament de Política Territorial i Obres Públiques), Institut Cartogràfic de Catalunya i Departament de Medi Ambient, Barcelona. 41 p.
- DPTOP & SGC, 1992. *Mapa d'àrees hidrogeològiques de Catalunya, 1:250000*, Departament de Política Territorial i Obres Públiques i Servei Geològic de Catalunya. Institut Cartogràfic de Catalunya. Barcelona
- FERRER-CASTÁN, D. & VETAAS, O. R. 2003. Floristic variation chorological types and diversity: do they correspond at broad and local scale? *Diversity and Distributions*, 9: 221-235.
- FONT, X., QUADRADA, R., DE CÁCERES, M. 2013. *Mòdul Flora i Vegetació Banc de Dades de Biodiversitat de Catalunya*. Generalitat de Catalunya i Universitat de Barcelona. Disponible en: <http://biodiver.bio.ub.es/biocat/homepage.html> [Data de la consulta: 15 gener 2009].
- HENGEVELD, R. 1990. *Dynamic Biogeography*. Cambridge University Press, Cambridge. 250 p.
- LEGENDRE, P. & ANDERSON, M. J. 1999. Distance-based redundancy analysis: testing multispecies responses in multifactorial ecological experiments. *Ecological Monographs*, 69: 1-24.

- LEGENDRE, P. & GALLAGHER, E. D. 2001. Ecologically meaningful transformations for ordination of species data. *Oecologia*, 129: 271–280.
- LEGENDRE, P. 2008. Studying beta diversity: ecological variation partitioning by multiple regression and canonical analysis. *Journal of Plant Ecology*, 1 (1): 3–8.
- MAECHLER, M., ROUSSEUW, P., STRUYF, A., HUBERT, M., HORNIK, K. 2014. cluster: Cluster Analysis Basics and Extensions. R package version 1.15.3.
- MARTÍN-VIDE, J., BRUNET, M., PROHOM, M. & RIUS, A. 2010. Els climes de Catalunya. Present i tendències recents. In: Llebot, E. (ed.). *El canvi climàtic a Catalunya. Segon informe del Grup d'Experts en Canvi Climàtic de Catalunya*, Generalitat de Catalunya, Institut d'Estudis Catalans, Barcelona. P. 39–72.
- MAYR, E. 1965. What is a fauna? *Zoologisches Jahrbuch der Systematik*, 92: 473–486.
- MILLER, J. K. & FARR, S. D. 1971. Bimultivariate redundancy: a comprehensive measure of interbattery relationship. *Multivar. Behav. Res.* 6: 313–324
- NINYEROLA, M., PONS, X. & ROURE, JM. 2000. *A methodological approach of climatological modelling of air temperature and precipitation through GIS techniques*. International Journal of Climatology, 20: 1823–1841. Disponible en: <http://www.opengis.uab.cat/acdc/catala/presentacio.htm> [Data de consulta: 15 maig 2002]
- OKSANE, F., BLANCHET, G., KINDT, R., LEGENDRE, P., MINCHIN, P. R., O'HARA, R. B., SIMPSON, G. L., SOLYMOS, P., STEVENS, M. H. H & WAGNER, H. 2013. Vegan: Community Ecology Package. R package version 2.0-10, <http://CRAN.R-project.org/package=vegan>
- ORLÓCI, L. 1967. An agglomerative method for classification of plant communities. *Journal of Ecology*, 55: 193–205.
- PAUSAS, J. G. & SAÉZ, L. 2000. Pteridophyte richness in the NE Iberian Peninsula: biogeographic patterns. *Plant Ecology*, 148: 195–205.
- PAUSAS, J. G., CARRERAS, J., FERRÉ, A. & FONT, X. 2003. Coarse-scale plant species richness in relation to the environment and environment heterogeneity. *Journal of Vegetation Science*, 14: 661–668.
- PINO, J., FONT, X., CARBÓ, J., JOVÉ, M. & PALLARÈS, L. 2005. Largescale correlates of alien plant invasion in Catalonia (NE of Spain). *Biological Conservation*, 122: 339–350.
- PINO, J., FONT, X., DE CÁCERES, M. & MOLOWNY-HORAS, R. 2009. Floristic homogenization by native ruderal and alien plants in north-east Spain: the effect of environmental differences on a regional scale. *Global Ecology and Biogeography*, 18: 563–574
- QUADRADA, R. & FONT, X. 2001. *Mapas de distribución probabilística de plantas vasculares en Cataluña*. XVIII Jornadas de Fitosociología. León. 139 p.
- RAO, C. R. 1995. A review of canonical coordinates and an alternative to correspondence analysis using Hellinger distance. *Qüestió*, 19: 23–63.
- REAL, R., PLEGUEZUELOS, J. M. & FAHD, S. 1997. The distribution patterns of reptiles in the Riff region, northern Morocco. *African Journal of Ecology*, 35: 312–325.
- REAL, R., MÁRQUEZ, A. L., ESTRADA, A., ROMÁN MUÑOZ, A. & VARGAS, J. M. 2008a. Modelling chorotypes of invasive vertebrates in mainland Spain. *Diversity and Distribution*, 14, 364–373.
- REAL, R., VARGAS, J. M. & OLIVERO, J. 2008b. Using chorotypes to deconstruct biogeographical and biodiversity patterns: the case of breeding waterbirds in Europe. *Global ecology and biogeography*, 17 (6): 735–746.
- ROMÁN, A., REAL, R., OLIVERO, J., MÁRQUEZ, A., GUERRERO, J. C., BÁRCENAS, S. & VARGAS, J. M. 2003. Biogeographical zonation of African hornbills and their biotic and geographic characterisations. *Ostrich: Journal of African Ornithology*, 74 (1–2): 39–47.
- STANISCI, A., PELINO, G. & BLASI, C. 2005. Vascular plant diversity and climate change in the alpine belt of the central Apennines (Italy). *Biodiversity & Conservation*, 14 (6): 1301–1318.
- VAN DER WOLLENBERG, A. L. 1977. Redundancy analysis: an alternative for canonical correlation analysis. *Psychometrika* 42 (2): 207–219.
- VENTURA, J., BAGARIA, G., SANS-FUENTES, M. A. & PÉREZ-HERNÁNDEZ, R. 2014. Common distribution patterns of marsupials related to physiographical diversity in Venezuela. *PLoS ONE* 9(5): e96714. doi:10.1371/journal.pone.0096714
- WOODWARD, F. I. 1987. *Climate and plant distribution*. Cambridge University Press, Cambridge. 174 p.