

Gradient tèrmic i canvis de vegetació en congesteres pirinenques

Estela Illa^{1*}, Artur Lluent¹ & Empar Carrillo¹

.....

ABSTRACT

Thermal gradient and vegetation shifts in Pyrenean snowbeds

Given the sensitivity of alpine communities to global warming, we set a long-term monitoring project on the vegetation and the temperature regime of Pyrenean snowbeds.

We studied a set of contiguous vegetal communities under different snowcover, in two localities situated in Andorra (Creussans) and in the Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici (Tonedor). The communities studied are those of Pyrenean snowbeds (*Saliceti-Anthelietum juratzkanae*, *Gnaphalio-Sedetum candollei*) and those of neighboring pastures (*Hieracio-Festucetum supinae*, *Oxytropido-Elynetum myosuroidis*). We recorded during three years the maximum and minimum temperatures of soil and air near the soil surface (at 10 cm), inside and outside the snowbed.

From the first snowfall (October-November) to the beginning of summer (June, July), snowbeds remained covered of snow and maximum and minimum temperatures coincided, ranging between 0 °C and -3 °C (-5 °C). In the surrounding pastures, winter temperatures varied some degrees in the same day and occasionally reached temperatures lower than -20 °C. Computing the degree-day for the communities studied shows noticeable differences in the length of the growing period, and that pastures and snowbeds suffer interannual thermal irregularity.

Key words: degree-day, zonation, alpine vegetation, Andorra, Aigüestortes

RESUM

Tenint en compte la fragilitat de les comunitats alpines davant del canvi climàtic, hem iniciat un seguiment a llarg termini de la vegetació i la temperatura a les congesteres pirinenques.

Amb un *datalogger* hem mesurat la temperatura de l'aire arran de superfície (10 cm) i del sòl de dues congesteres (situades a Andorra i al Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici) durant un període de tres anys. Les comunitats estudiades són les pròpies de congesteres (*Saliceti-Anthelietum juratzkanae*, *Gnaphalio-Sedetum candollei*) i les dels prats veïns (*Hieracio-Festucetum supinae*, *Oxytropido-Elynetum myosuroidis*).

Des de la primera nevada (octubre-novembre) fins a l'inici de l'estiu (juny-juliol) les congesteres romanen cobertes de neu i s'igualen les temperatures màximes i mínimes, que prenen valors d'entre 0 °C i -3 °C (-5 °C). En canvi, a l'hivern la temperatura de l'aire als prats circumdants

1. Grup de Geobotànica i Cartografia de la Vegetació (GEOVEG), Departament de Biologia Vegetal, Universitat de Barcelona. Av. Diagonal 645, E-08028 Barcelona

* estelailla@ub.edu

pot oscil·lar diversos graus en un mateix dia i arribar a valors inferiors als -20 °C. El càlcul dels graus-dia per a les comunitats estudiades mostra importants diferències en la durada del període vegetatiu, i una forta variació interanual tant a les comunitats pradengues com a les quionòfiles.

Mots clau: graus-dia, zonació, vegetació alpina, Andorra, Aigüestortes

Introducció

Tenint en compte la fragilitat de les comunitats alpines davant del canvi climàtic (Körner 2003, Galen & Stanton 1995), i considerant que la vegetació de les congesteres pot ser paradigmàtica per seva la dependència directa de la precipitació i la temperatura (Billings & Bliss 1959) hem iniciat el seguiment de les comunitats vegetals que creixen a les congesteres dels Pirineus i de les principals dades microambientals que les condicionen.

Estudis previs mostren que en aquesta mena de comunitats la distribució del mantell nival és força constant d'un any a l'altre (Wijk 1986, Shimono & Kudo 2003), ja que depèn principalment del relleu i dels vents dominants. La neu proporciona a les plantes abric i recer a l'hivern i és una font d'aigua durant l'estiu, però la seva permanència condiciona la durada del període vegetatiu. Aquest darrer factor s'ha identificat com el principal factor que determina la presència d'un tipus o altre de vegetació (Evans *et al.* 1989).

Les congesteres són, doncs, un ambient restrictiu per a la supervivència de les plantes. Només certes espècies poden desenvolupar-hi el seu cicle amb èxit, les quals són excloses competitivament dels indrets més favorables (Kudo 1992, Heegaard 2002, Heegaard & Vandvik 2004, Schöb *et al.* 2008).

L'objectiu d'aquest treball és analitzar les condicions ambientals al centre i a la zona exterior de la congestera i determinar quines diferències hi ha entre les comunitats vegetals que s'hi estableixen. L'estudi es basa en dues congesteres situades cadascuna sobre un substrat diferent (esquists àcids i calcàries), ja que la natura del sòl condiciona també la vegetació.

Metodologia

Hem registrat durant un període de tres anys la temperatura de l'aire i del sòl en comunitats vegetals contigües i amb diferents règims d'innivació en dues localitats, concretament la de Creussans, situada en territori francès però a tocar de la frontera amb Andorra, i la canal del Tonedor, al límit nord-oriental del Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici.

El material utilitzat per la presa de dades microambientals (temperatura de l'aire a 10 cm de la superfície i del sòl) és un *Datalogger* Campbell Scientific CR10X, al qual s'han connectat sensors de temperatura 107T, instal·lats en els diferents tipus de vegetació estudiats. Les dades s'han pres durant un període

de tres anys (entre 2003 i 2006 a Creussans, i entre 2006 i 2010 al Tonedor) a intervals entre 30 i 120 minuts.

A partir de les dades de temperatura s'ha pogut fer el càlcul de graus-dia de les diferents comunitats estudiades, que es tradueix com l'energia que reben les plantes per dur a terme el cicle biològic. Aquest càlcul s'ha realitzat sumant les temperatures mitjanes positives del període vegetatiu, el qual hem considerat que en medi alpi va de l'1 de maig al 15 d'octubre.

La vegetació s'ha estudiat a partir d'un transecte lineal que segueix el gradient de fusió de la neu. Cada 40 cm s'han anotat totes les espècies vasculars i s'ha fet una estimació del recobriment que presenten. Les dades obtingudes s'han tractat amb el mòdul Ginkgo del programari Vegana (De Cáceres *et al.* 2007), del qual hem utilitzat l'algoritme *K-means* d'agrupació no jeràrquica per tal de definir els diferents grups de vegetació i establir-ne les fronteres (Chytry *et al.* 2002, Lluent *et al.* 2005).

A partir del coneixement dels diferents grups de vegetació que se succeeixen al llarg del transecte i de les dades microclimàtiques obtingudes a la part interna de la congestera (que coincideix amb un extrem del transecte) i el prat contigu (que coincideix amb l'altre extrem), podem relacionar la vegetació i la temperatura i inferir-ne una sèrie de conclusions.

Resultats

GRADIENT TÈRMIC

Cap a finals d'octubre o principis de novembre les congesteres estudiades queden cobertes de neu, i es descobreixen entre finals de maig i principis d'agost, depenent de l'any i la congestera. Els prats de l'exterior de la congestera tenen temperatures mitjanes positives a partir dels mesos d'abril-maig (juny), mentre que a la zona interior cal esperar fins a finals de maig o principis de juny o juliol. El lapse de temps que es dona entre que els prats i la part interna de les congesteres comencen a tenir mitjanes de temperatura positives oscil·la entre les cinc i les set setmanes.

A l'hivern és quan es detecten més diferències tèrmiques entre les dues situacions estudiades (dins i fora de la congestera). La zona interna de la congestera és coberta de neu i glaç de manera ininterrompuda, i la temperatura s'hi manté constant sense que hi hagi diferències entre el dia i la nit (fig. 1). Segons les condicions tèrmiques del sòl a l'inici de la innivació, la temperatura roman vora els 0 °C, o pot quedar estabilitzada en alguns graus negatius (fins a -3 °C o excepcionalment fins a -5 °C). Això es degut a que el sòl es glaça abans que hi hagi una cobertura permanent de neu, o a que hi ha pèrdua d'aïllament en moments puntuals de l'hivern, però fins i tot en aquest cas no es detecta oscil·lació tèrmica diària (fig. 1). Els prats adjacents a la congestera, en canvi,

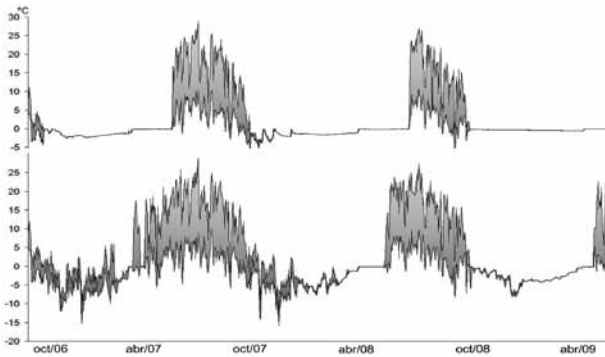


FIGURA 1. Amplitud tèrmica a la zona interior de la congestera (gràfic superior) i del prat adjacent (gràfic inferior) a la localitat del Tonedor entre els anys 2006 i 2009.

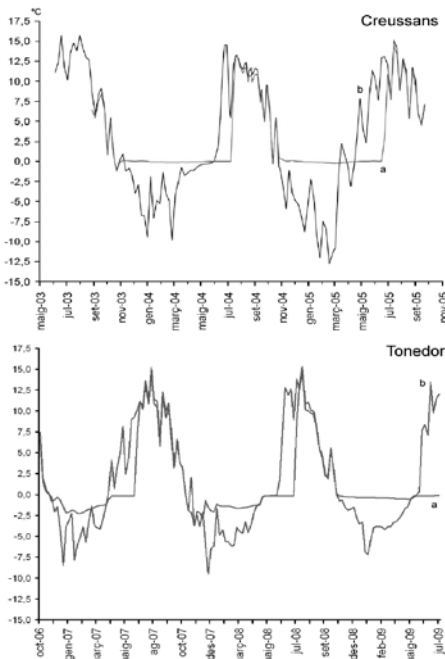


FIGURA 2. Temperatura mitjana setmanal a la congestera (a) i al prat exterior (b) a les localitats de Creussans (anys 2003-2005) i del Tonedor (anys 2006-2009).

poden arribar a quedar descoberts de neu durant bona part de l'hivern, i suporten temperatures mínimes que poden baixar dels -20 °C.

Tant a les comunitats quionòfiles com als prats veïns es produeix un salt tèrmic considerable (d'un dia per l'altre) quan la neu es fon completament, passant dels 0 °C en que es manté la temperatura de l'aire durant la fosa, a més de 15 °C quan el sòl i la vegetació queden descoberts (fig.2).

També la temperatura mitjana estival i l'amplitud tèrmica diària són molt semblants a les diferents zones de la congestera (taula 1). Aquesta amplitud tèrmica pot arribar a ser de 20 °C en un mateix dia en tots dos tipus de situacions.

VEGETACIÓ

A la localitat de Creussans, on el substrat està format per esquistos de caràcter àcid, l'anàlisi dels inventaris de vegetació del transsecte diferencia de manera clara 3 grups, les fronteres

TAULA 1. Dades de temperatura a les diferents comunitats estudiades durant el període estival (*dies*: nombre de dies sense neu; *temp*: temperatura mitjana; *max*: mitjana de les màximes; *mabs*: màxima absoluta; *min*: mitjana de les mínimes; *mibs*: mínima absoluta; *gl*: dies amb temperatures per sota de 0 °C)

Creussans								Tonedor							
prat: <i>Oxytropido-Elynetum</i>								prat: <i>Hieracio-Festucetum</i>							
dies	temp	max	mabs	min	mibs	gl		dies	temp	max	mabs	min	mibs	gl	
Juny								Juny							
2007	30	8,44	15,82	23,17	2,61	-3,39	5	2004	19	9,24	17,19	28,12	3,81	-2,19	3
2008	22	9,56	16,90	23,80	3,60	-1,74	3	2005	30	10,87	20,81	26,81	4,51	-0,84	2
Juliol								Juliol							
2007	31	11,59	19,46	25,81	3,98	-4,81	3	2004	31	10,94	20,43	26,76	4,63	-2,21	4
2008	31	11,89	19,68	24,93	4,65	-1,39	3	2005	31	12,22	21,83	27,95	5,61	0,59	0
Agost								Agost							
2007	31	10,23	18,08	28,88	3,97	-1,79	3	2004	31	11,67	21,41	26,30	5,57	0,43	0
2008	31	11,18	19,06	27,24	4,43	-0,92	1	2005	31	9,81	18,17	25,38	4,60	-1,59	4
Setembre								Setembre							
2007	30	7,23	15,29	22,85	1,89	-5,83	6	2004	30	8,96	18,51	25,25	3,49	-4,25	5
2008	30	5,97	13,57	19,97	0,65	-4,86	14	2005	30	6,97	16,40	26,56	1,38	-6,78	7
congestera: <i>Salici-Anthelietum</i>								congestera: <i>Gnaphalio-Sedetum</i>							
dies	temp	max	mabs	min	mibs	gl		dies	temp	max	mabs	min	mibs	gl	
Juny								Juny							
2007	8	8,21	15,25	21,82	2,53	-0,19	0	2004	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0
2008	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	2005	3	7,41	14,83	18,16	2,79	0,01	0
Juliol								Juliol							
2007	31	12,04	20,07	25,65	5,55	-1,37	2	2004	16	12,23	20,45	25,08	6,18	3,04	0
2008	11	12,76	21,71	24,27	6,00	2,44	0	2005	13	11,61	20,37	27,01	5,54	0,84	0
Agost								Agost							
2007	31	10,89	18,81	28,76	5,39	-0,08	1	2004	31	11,06	19,81	24,24	5,39	0,17	0
2008	31	11,76	20,22	27,03	5,94	-0,16	1	2005	31	9,50	17,49	23,49	4,49	-1,39	2
Setembre								Setembre							
2007	25	9,23	18,35	24,03	3,89	-0,75	4	2004	30	8,50	17,31	22,84	3,21	-4,10	6
2008	30	6,21	13,70	21,64	1,98	-1,96	7	2005	30	6,62	15,27	22,87	1,30	-6,51	7

dels quals són molt marcades. A la zona més innivada de la congestera, on la neu triga més a marxar, s'hi fa un tipus de vegetació que correspon bé a la comunitat descrita per Braun-Blanquet (1948) amb el nom de *Gnaphalio-Sedetum candollei*, mentre que a la part exterior els inventaris poden referir-se al prat alpí que anomenà *Hieracio-Festucetum supinae*. Entre ambdues comunitats, que són les que compten amb dades microclimàtiques, hi ha un tercer grup d'inventaris que s'identifica amb el *Salici-Anthelietum juratzkane* Br.-Bl. 1948, comunitat dominada per *Salix herbacea*.

A la congenera del Tonedor, en substrat calcari, es poden diferenciar també tres unitats de vegetació. El prat de la zona exterior correspon a l'*Oxytropido-Elynetum myosuroidis* Chouard 1943, mentre que la vegetació de la zona interna és un tapis de *Salix herbacea* amb algunes espècies clarament calcícoles pròpies de llocs innivats i d'altres de tendència acidòfila. Aquesta comunitat és identificable amb la descrita per Vigo i Carrillo (in Carrillo & Ninot 1992) amb el nom de *Salici-Anthelietum juratzkane thalictetrosum alpini*. La tercera comunitat, que queda entre el centre i el marge de la congenera, és el *Carici-Salicetum retusae* Rivas Mart. 1969, dominada pels salzes nans *Salix retusa* i *Salix reticulata*, als quals acompanyen plantes quionòfiles estrictament calcícoles.

ENERGIA ACUMULADA

Les comunitats que reben més energia són els prats de l'exterior de les congesteres, que acumulen, depenent de l'any, entre 280 i 552 graus-dia més que les comunitats estrictament quionòfiles de la mateixa localitat. El màxim d'energia rebuda correspon al prat acidòfil de *Festuca airoides* (*Hieracio-Festucetum supinae*), amb 1.460 graus-dia (any 2005), mentre que al centre de la congenera se'n van rebre 908 (taula 2).

L'acumulació de graus-dia és relativament semblant entre els diferents prats situats a la zona exterior de les congesteres estudiades. En el cas de l'any més càlid dels mesurats al Tonedor, la pastura de l'*Oxytropido-Elynetum* va rebre 1.368 graus-dia, mentre que l'any més fred en va rebre 1.155. Aquesta diferència de 213 graus-dia és proporcional a la que hi ha entre els dos anys estudiats per a les pastures de Creussans (223 graus-dia). No va passar així amb l'energia acumulada a la zona interna de la congenera, ja que mentre a Creussans la variació entre els dos anys és molt petita (27 graus-dia), al Tonedor la diferència és d'un 31,25% (340 graus-dia).

Hem comprovat doncs que hi pot haver molta diferència interanual en l'acumulació d'energia en una mateixa comunitat (fig. 3). En un any especialment càlid els graus-dia acumulats per la comunitat de la zona interna de la congenera poden igualar els que s'acumulen al prat adjacent en anys més freds.

TAULA 2. Graus-dia acumulats a les diferents comunitats durant els períodes estudiats

Creussans	2004	2005
<i>Gnaphalio-Sedetum candollei</i>	881	908
<i>Hieracio-Festucetum supinae</i>	1.237	1.460
Tonedor	2007	2008
Salici-Anthelietum juratzkane thalictetrosum alpini	1.088	748
Oxytropido-Elynetum myosuroidis	1.368	1.155

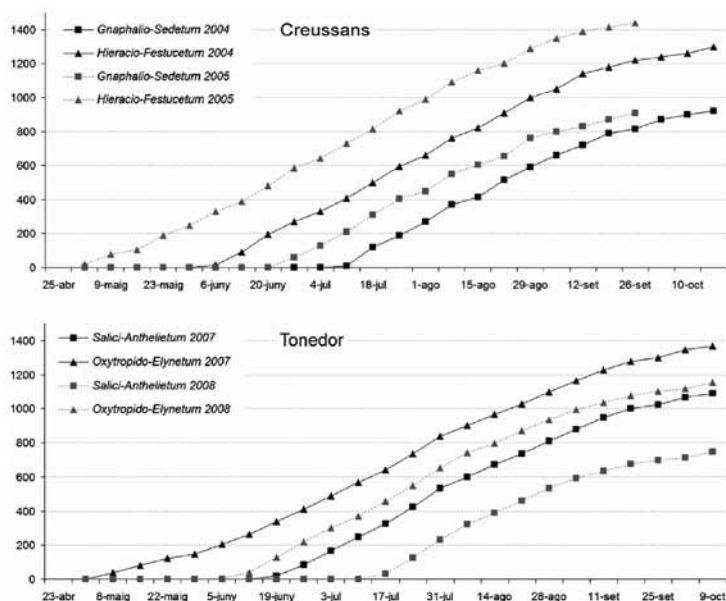


FIGURA 3. Variació interanual en l'acumulació d'energia (mesurada en graus-dia) a les diferents comunitats i localitats pel període que va de l'1 de maig al 15 d'octubre, entre els anys 2004 i 2008.

Discussió i conclusions

El factor que determina la distribució de les comunitats vegetals a les congegteres és la quantitat d'energia disponible per a les plantes. Aquesta energia ve determinada en gran part per la innivació (que condiciona el període vegetatiu), però també pel microclima local, de manera que les formacions vegetals dels indrets que reben menys radiació acumulen energia més lentament.

Les comunitats pradenques de l'exterior de la congegtera tenen una acumulació de graus-dia que oscil·la entre 1.100 i 1.500, mentre que les quionòfiles n'acumulen entre 750 i 900 (1.100).

En un context de canvi climàtic, amb l'augment de les temperatures s'espera que la fosa de neu s'avanci entre 60 i 100 dies en casos extrems (Beniston *et al.* 2003). Això incidirà sobre la vegetació en la pèrdua de la protecció nival quan encara sovintegen les glaçades (Baptist *et al.* 2010) i en un augment de l'energia rebuda. Així, les espècies quionòfiles pròpies de la zona interna de la congegtera són susceptibles de ser desplaçades per les espècies pradenques, més competitives (Schöb *et al.* 2008) i adaptades a condicions climàtiques extremes. Hom pot preveure doncs que si la temperatura augmenta de manera constant

durant un període de temps prolongat, a més d'influir en el desenvolupament del cicle biològic i l'èxit reproductiu de les espècies (Kudo 1992, Walker *et al.* 1995, Lluent 2007), també afectarà la distribució de les comunitats que s'estableixen seguint el gradient d'innivació.

Bibliografia

- BAPTIST, F., FLAHAUT, C., STREB, P. & CHOLER, P. 2010. No increase in alpine snowbed productivity in response to experimental lengthening of the growing season. *Plant Biology* 12: 755-764.
- BENISTON, M., KELLER, F., KOFFI, B. & GOYETTE, S. 2003. Estimates of snow accumulation and volume in the Swiss Alps under changing climatic conditions. *Theor. Appl. Climatol.* 76: 125-140.
- BILLINGS, W. D. & BLISS, L. C. 1959. An alpine snowbank environment and its effects on vegetation, plant development, and productivity. *Ecology* 40(3): 388-397.
- BRAUN-BLANQUET, J. 1948. *La végétation alpine des Pyrénées orientales*. Monografía de la Estación de Estudios Pirenaicos y del Instituto Español de Edafología, Ecología y Fisiología Vegetal, Barcelona.
- CARRILLO, E. & NINOT, J. M. 1992. Flora i vegetació de les valls d'Espot i de Boi, 2. *Arxius Sec. Cièn.* 99(2): 1-350.
- CHYTRY, M., TICHY, L., HOLT, J. & BOTTA DUKAT, Z. 2002. Determination of diagnostic species with statistical fidelity measures. *J. Veg. Sci.* 13(1): 79-90.
- DE CÁCERES, M., FONT, X., OLIVA, F. & VIVES, S. 2007. Ginkgo, a program for non-standard multivariate fuzzy analysis. *Adv. in Fuzzy Sets & Systems* 2(1): 41-56.
- EVANS, B. M., WALKER, D. A., BENSON, C. S., NORDSTRAND, E. A. & PETERSEN G. W. 1989. Spatial interrelationships between terrain, snow distribution and vegetation patterns at an arctic foothills site in Alaska. *Ecography* 12(3): 270-278.
- GALEN, C. & STANTON, M. L. 1995. Responses of snowbed plant species to changes in growing-season length. *Ecology* 76(5): 1546-1557.
- HEEGAARD, E. 2002. A model of alpine species distribution in relation to snowmelt time and altitude. *J. Veg. Sci.* 13(4): 493-504.
- HEEGAARD, E. & VANDVIK, V. 2004. Climate change affects the outcome of competitive interactions - an application of principal response curves. *Oecologia* 139(3): 459-466.
- KÖRNER, C. 2003. *Alpine plant life*. Springer, Berlin.
- KUDO, G. 1992. Performance and phenology of alpine herbs along a snow-melting gradient. *Ecological Research* 7(3): 297-304.
- LLUENT, A., ILLA, E. & CARRILLO, E. 2005. Inventario, cartografia y monitorización de la vegetación de los neveros del Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici. *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse* 141(2): 131-137.
- LLUENT, A. 2007. Estudi de l'estructura i funcionament de les comunitats quionòfiles als Pirineus en relació a la variació dels factors ambientals. Tesi doctoral, Universitat de Barcelona.
- SCHÖB, C., KAMMER, P. M., KRIVDIZE, Z., CHOLER, P. & VEIT, H. 2008. Changes in species composition in alpine snowbeds with climate change inferred from small-scale spatial patterns. *Web Ecology* 8: 142-159.
- SHIMONO, Y. & KUDO, G. 2003. Intraspecific variations in seedling emergence and survival of *Potentilla matsumurae* (Rosaceae) between alpine fellfield and snowbed habitats. *Annals of Botany Company* 91: 21-29.
- WALKER, M. D., INGERSOLL, R. C. & WEBBER, P. J. 1995. Effects of interannual climate variation on phenology and growth of two alpine forbs. *Ecology* 76(4): 1067-1083.
- WIJK, S. 1986. Performance of *Salix herbacea* in an alpine snow-bed gradient. *J. Ecol.* 74(3): 675-684.