

# RELACIONES ENTRE INTEGRAL TÉRMICA Y FENOLOGÍA EN ESPECIES DE PASTOS DE PUERTO DEL PIRINEO CENTRAL

Relationships between Sum of Degree-Day and Phenology in Summer  
Pasture Species of Middle Pyrenees

R. GARCÍA-GONZÁLEZ y D. GÓMEZ-GARCÍA

Instituto Pirenaico de Ecología (IPE-CSIC), Avda. Nuestra Señora de la Victoria  
s/n, 22700 Jaca (Huesca), rgarciag@ipe.csic.es

**Resumen:** La integral térmica o suma de grados-día es un parámetro climático muy relacionado con el desarrollo vegetativo de las plantas. En diversos estudios, se han puesto de manifiesto relaciones específicas con el contenido en nutrientes (proteína y minerales), digestibilidad, contenido en fenoles y desarrollo morfológico de la planta. En este trabajo se aborda el estudio de las relaciones entre integral térmica y fenofases en especies de pastos pirenaicos, para evaluar su interés como posibles indicadoras de la calidad de dichos pastos. Se han utilizado datos fenológicos obtenidos en dos parcelas de muestreo situadas en cercados de exclusión de herbívoros en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido a 1950m de altitud. Los datos climáticos proceden de una estación cercana situada a 6 km de las parcelas. Ambos tipos de datos se han estimado para cada año desde 1993 a 2012. Se han establecido modelos lineales predictivos para las fenofases de varias especies pascícolas y del total de la comunidad. Aunque los ajustes de los modelos son débiles, cabría la posibilidad de mejorarlos aumentando el número de parcelas y los contactos por especie. Se subraya el interés de estos modelos para la gestión y ordenación de los pastos de puerto.

**Palabras clave:** fenofases, suma grados-día, Ordesa.

**Abstract:** Sum of degree-days (IT) is a climatic parameter closely related to the vegetative growth of plants. Particularly, specific relationships with digestibility, protein, mineral or phenol content, and morphological development have been shown. This paper addresses a preliminary study of the relationship between sum of degree-days and phenophases in Pyrenean pasture species, to gauge their interest as potential indicators of pasture quality. We used phenological data of species from two sampling plots located in herbivore exclusion fencing in Ordesa National Park at 1950m altitude. Climate data come from a nearby station located 6 km from the plots. Both types of data were estimated for each year since 1993 to 2012. Linear predictive models from snowmelt date and spring sum of degree-day were established for the phenophases of several species and for the total grassland community. Although the adjustments of the models are weak, it could be possible to improve them in the future by increasing sampling size of target species. We highlight the interest of these models for the use and management of Pyrenean summer pastures.

**Key words:** phenophases, snowmelt date, sum degree-days, Ordesa National Park.

## INTRODUCCIÓN

La integral térmica (IT) o suma de grados-día a partir de una fecha preestablecida, es un parámetro climático que ha mostrado relaciones con fenómenos biológicos y ecológicos muy diversos, desde la concentración de alcaloides en *Delphinium barbeyi* (Ralphs *et al.*, 2002) hasta la proporción de ciervas de dos años que paren en Noruega (Langvatn *et al.*, 1996). La IT es un estimador de la cantidad de energía que ha recibido la vegetación durante un periodo de tiempo determinado y, por tanto, está relacionado con el desarrollo morfológico (Frank y Hofmann, 1989) y la ocurrencia de las fenofases (Jouglet *et al.*, 1982). El valor de la integral térmica suele ser específico para una fenofase y especie determinada, lo cual permite predecir y desarrollar modelos sobre su desarrollo vegetativo, producción y calidad, en función de parámetros climáticos (Haferkamp *et al.*, 2005).

Existe poca información sobre la relación entre IT y fenofases en especies de pastos alpinos (Jouglet *et al.*, 1982; Orlandi *et al.*, 2000). En este trabajo hemos explorado este tipo de relaciones en los pastos supraforestales del Pirineo Central, con el objetivo de averiguar si son útiles para predecir su estado fenológico y por tanto su calidad nutritiva (Frank y Karn, 1989).

## MATERIAL Y MÉTODOS

El área de estudio se encuentra en pastos de puerto de las comunidades *Bromion erecti* y *Nardion strictae* en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido (Aldezabal, 2001). Los datos proceden de muestreos realizados en dos parcelas de exclusión de herbívoros situadas en la zona de Cuello Arenas a 1950 m de altitud, establecidas en 1992 con el objetivo de averiguar los cambios en la composición florística como consecuencia del cese de pastoreo (Gómez-García y García-González, 2011). Doscientos contactos en transectos fijos, dentro de los cercados (ausencia de pastoreo) y otros 200 fuera (con pastoreo), fueron tomados a finales de julio de cada año desde 1992 hasta 2012 mediante el método del "line-intercept" en cada parcela, excepto el año 1999 que solo pudo realizarse un muestreo parcial. Además del nombre de la especie, se registró en cada contacto el estado fenológico de la planta según la siguiente escala: 1 estado vegetativo en crecimiento, 2 inicio de la floración, 3 plena floración (estambres visibles), 4 inicio de la fructificación, 5 fructificación

plena, 6 dehiscencia (fruto pasado), 7 sin fruto, inicio senescencia, 8 senescencia, 9 rebrote.

Para cada especie con porcentaje de abundancia media superior al 1%, se calculó el promedio de su estado fenológico (fenofase) en los muestreos anuales. Según Frank y Hofmann (1989), las fenofases de varias especies de la Pradera americana no fueron afectadas por la ausencia o presencia de pastoreo. En nuestras parcelas comparamos las fenofases de la misma especie dentro y fuera de los cercados de exclusión y no encontramos diferencias significativas en el 78% de los casos (pruebas U de Mann-Whitney), dependiendo de especies y años. Para eliminar la posible variabilidad debida al efecto del pastoreo, se decidió tomar solo los datos de dentro de los cercados (sin pastoreo).

La integral térmica para cada año se calculó a partir de la temperatura media diaria (suma de grados-día) de los datos procedentes de la estación del Refugio de Góriz (2215m) situada a 6 km en línea recta de las parcelas. A pesar de la diferencia altitudinal, las temperaturas medias entre Refugio y parcelas son muy similares, debido a ligeras diferencias de orientación (datos inéditos). A partir de un "día de inicio" se sumaron las temperaturas medias cada año, teniendo en cuenta los valores negativos, y se retuvieron los valores alcanzados en determinadas fechas: 31 de mayo, 30 de junio, 31 julio (día de los muestreos) y 31 de agosto. Un aspecto conflictivo para la estimación de la IT es la determinación de la fecha base o día de inicio a partir del cual se procede a la suma de grados-día. En altitudes bajas o medias, se suele tomar la fecha a partir de la cual las temperaturas medias sobrepasan los 5° o 6° (según autores), que es cuando se considera que las plantas inician el periodo vegetativo (Kozuchowski y Degirmendzic, 2005). Sin embargo, por encima de 2000m el inicio de la estación vegetativa viene determinada por el deshielo del suelo y un umbral mínimo de la temperatura media del aire. El primero está limitado por la cobertura de nieve, de tal forma, que los trabajos en ambientes alpinos consideran como fecha de inicio para el cálculo de la IT, la fecha de fusión de nieve (FFN) en la zona de estudio (Jouglet *et al.*, 1982; Orlandi y Clementel, 2000; Theurillat y Schlüssel, 2000). A partir de los datos de la misma estación de Góriz se estimó la FFN de cada año según el siguiente criterio: cuando después de la fusión de la nieve primaveral (espesor de nieve igual a cero), la temperatura media del aire sobrepasa de forma persistente (varios días seguidos) los 5°C. Este criterio se introduce para descontar pequeñas nevadas primaverales tardías y ocasionales. Para el año 1992 no

hubo datos disponibles del espesor de nieve, por lo que los registros se tomaron a partir de 1993.

Para el tratamiento de los datos se han utilizado correlaciones y regresiones lineales paramétricas, y no-paramétricas cuando las variables no superaban el test de normalidad. A efectos predictivos solo se han considerado aquellas regresiones que presentaban linealidad de las variables y de los residuales, linealidad en la relación entre variables e igualdad de las varianzas. Para los análisis estadísticos se ha utilizado el software IBM SPSS 15.0.

## RESULTADOS

Como puede observarse en la Tabla 1, la FFN presenta bastante variación interanual, oscilando entre el 7 de abril (día 97) y el 9 de junio (día 160) en el periodo 1993 - 2012. La IT en diferentes fechas también presenta alta variabilidad, especialmente durante el periodo primaveral, para disminuir hacia el verano (ver valores de CV en tabla 1). La FFN y las IT en diferentes periodos están inversamente correlacionadas (Rho de Spearman entre -0,507 y -0,877) y las IT también están altamente correlacionadas entre sí (Rho de Spearman entre 0,627 y 0,955).

**Tabla 1.** Estadísticos básicos para la FFN (día de fusión de nieve) y la integral térmica (°C), para la fecha correspondiente, durante el periodo 1993-2012 (N=20). Datos de la Estación Refugio de Góriz (2215m). IC 95% intervalo de confianza al nivel de probabilidad del 95%, DT desviación típica, CV coeficiente de variación, EE error estándar.

	Media	IC 95%	DT	CV	EE	Mínimo	Máximo
FFN	128	8	17	0,13	4	97	160
31 de mayo	150	46	92	0,61	21	0	329
30 de junio	463	55	113	0,24	25	215	635
31 de julio	865	61	125	0,14	28	590	1063
31 de agosto	1273	69	147	0,12	33	927	1505

La FFN no ha presentado ninguna tendencia de adelanto o retraso en los últimos 20 años (Rho Spearman = -0,042; no signif.), y las ITs en diferentes fechas tampoco (Rho Spearman entre 0,31 y 0,37; no signif.).

En la Tabla 2 se expresan los valores estadísticos básicos de las regresiones entre FFN y fenofases. El valor predicho indica el día del año, en promedio, que

debería fundir la nieve, para que la especie en cuestión se encuentre en un estado de floración plena (fenofase 3) el 31 de julio (día del muestreo). Se muestran solo las especies que cumplen las condiciones expresadas en Métodos. El caso "Todas las especies" corresponde al valor medio del estado fenológico de todas las especies contactadas el día del muestreo y su valor predicho sería una estimación de la FFN promedio, para que la comunidad se encuentre en estado fenológico de plena floración (calidad óptima) a finales de julio.

**Tabla 2.** Valores estadísticos para las regresiones entre fenofases (X) y FFN (Y). R coeficiente regresión,  $B_0$  intersección,  $B_1$  pendiente,  $EB_1$  error estándar de la pendiente, valor F del modelo. Valor predicho: FFN (día juliano) para alcanzar una fenofase de plena floración el 31 de julio. Interv. predic.: intervalo de predicción para la media al nivel del 95%. N=19.

	R	$B_0$	$B_1$	$EB_1$	F	Signif.	Valor predicho	Interv. Predic.
<i>Agrostis capillaris</i>	0,579	144,5	-6,2	2	9,1	0,01	126	7
<i>Briza media</i>	0,572	151,2	-6	2,1	8,3	0,01	133	8
<i>Carex caryophylla</i>	0,511	140	-3,1	1,3	5,7	0,03	131	8
<i>Carex flacca</i>	0,757	145	-5,7	1,4	16,1	0	128	6
<i>Festuca nigrescens</i>	0,462	144,5	-4,2	1,9	4,9	0,04	132	8
<i>Plantago alpina</i>	0,642	167,4	-9,1	2,6	11,9	0	140	10
<i>Polygonum viviparum</i>	0,62	162,1	-6,8	2,2	9,4	0,01	142	11
<i>Trifolium montanum</i>	0,469	142,6	-4,6	2,1	4,8	0,04	129	8
Todas las especies	0,464	148,2	-5,5	2,7	4,7	0,05	131	8

En la Tabla 3 se muestran las regresiones entre la IT alcanzada el 31 de mayo y las fenofases de cada especie o de la comunidad (excepto para *Nardus stricta* y *Polygonum viviparum* cuyas regresiones son con la IT del 30 de junio, ya que presentaban un mejor ajuste). Al igual que en el caso anterior, el valor predicho sería la temperatura acumulada (IT) el 31 de mayo (o 30 de junio según la especie), necesaria para que las especies en cuestión se encuentren en plena floración (fenología 3) el 31 de julio.

**Tabla 3.** Valores estadísticos para las regresiones entre fenofase (X) e integral térmica del 31 de mayo (Y) para alcanzar una fenofase de plena floración el 31 de julio en varias especies (excepto las dos últimas (IT el 30 de junio). Significado abreviaturas igual que Tabla 2.

	R	B <sub>0</sub>	B <sub>1</sub>	EB <sub>1</sub>	F	Signif.	Valor predicho	Interv. Predic.
<i>Agrostis capillaris</i>	0,517	57,4	31,5	12,6	6,2	0,02	152	40
<i>Briza media</i>	0,688	0,6	39,4	10,1	15,3	0	119	39
<i>Carex flacca</i>	0,737	57,9	35,3	9,4	14,3	0	164	38
<i>Festuca nigrescens</i>	0,626	49,5	30,7	9,3	10,9	0	142	37
<i>Merendera montana</i>	0,588	284,8	-31,4	11,5	7,4	0,02	191	54
<i>Trifolium montanum</i>	0,458	74,4	24,5	11,5	4,5	0,05	148	41
Todas las especies	0,564	17,8	36,1	12,8	7,9	0,01	126	43
<i>Nardus stricta</i>	0,494	226,8	50,6	21	5,8	0,03	379	89
<i>Plantago alpina</i>	0,464	273	44,1	20,4	4,7	0,05	405	76

## DISCUSIÓN

Se han utilizado las relaciones entre fenofases y FFN, IT del 31 mayo o IT del 30 junio para explorar las posibilidades de predicción de los modelos. Como se ha visto, la variabilidad de los parámetros climáticos es muy alta y no han presentado ninguna tendencia al incremento durante los 20 años de seguimiento. Otros estudios realizados en medios subalpinos y con manipulación experimental de la FFN, predicen una posible alteración de las relaciones de competencia entre especies como consecuencia del incremento de temperaturas debido al cambio climático (Dunne *et al.*, 2003).

Como puede apreciarse por los valores de R y F (Tablas 2 y 3), las relaciones entre parámetros climáticos y fenofases, aunque significativas, son bastante débiles. La significación aumenta con las ITs más próximas a la fecha de muestreo, pero la utilidad predictiva disminuye. La bondad de los ajustes de los modelos predictivos podría mejorarse aumentando el tamaño muestral por especie y año, dirigiendo los muestreos específicamente a las especies "diana" (aquellas cuya fenología ha presentado mejor correlación con los parámetros climáticos y que no conocíamos *a priori*). También, ampliando espacialmente el muestreo para representar mejor la fenología media de las especies en el puerto ó realizando los muestreos más cercanos a la estación climática. Otra posibilidad de mejora sería ensayando modelos no lineales, ya que algunas relaciones no consideradas, no cumplen la linealidad entre variables.

Sin embargo, el estudio demuestra que es posible establecer modelos predictivos entre fenofases de las especies de pastos de puerto y la FFN o la IT de fechas anteriores. Lo cual tiene un gran interés aplicado, ya que las fenofases y la propia IT están estrechamente relacionadas con la calidad nutritiva de las especies o y su palatabilidad (Frank y Karn, 1989; Orlandi y Clementel, 2000; Marinas y García-González, 2006). Poder predecir con suficiente antelación las condiciones de los pastos de puerto antes de la entrada del ganado, puede ayudar a la toma de decisiones en la ordenación y uso de las superficies pastorales (e.g. fechas y lugares para optimizar el pastoreo). Las relaciones mostradas reflejan condiciones medias y sería necesario tener en cuenta las variaciones espaciales en cada puerto en particular para obtener modelos más precisos. La FFN o las IT podrían actuar como covariables en los modelos espaciales o en información satelital relacionada con la productividad vegetal.

## CONCLUSIONES

La FFN, que condiciona en gran medida el inicio del periodo vegetativo de las especies de pastos de puerto, muestra una gran variabilidad interanual, no habiéndose encontrado una tendencia clara al adelanto o retraso de la misma durante los últimos 20 años. Lo mismo puede decirse de las IT primaverales.

Se han establecido modelos lineales predictivos para las fenofases de varias especies pascícolas en pastos de puerto pirenaicos a partir de parámetros climáticos. Aunque los ajustes de los modelos son débiles, cabría la posibilidad de mejorarlos aumentando el número de parcelas y los contactos por especie. La profundización en el estudio de tales modelos es de gran interés para la gestión y ordenación de los pastos de puerto.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Federico Fillat y Jesús Revilla la ayuda prestada en la obtención de datos climáticos y mantenimiento de infraestructuras en la zona de estudio. Estudio financiado por los proyectos LTER-España ACI2008-0815, Parques Nacionales 018/2008, Plan Nacional CGL2010-21642 y LEDDRA FW7 ENV.2009.2.1.3.2.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALDEZABAL A. (2001) *El sistema de pastoreo del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido (Pirineo Central, Aragón)*. Zaragoza: Publicaciones del Consejo Protección Naturaleza de Aragón. nº 28, 317 pp.
- DUNNE J.A., HARTE J. Y TAYLOR K.J. (2003) Subalpine meadow flowering phenology responses to climate change: integrating experimental and gradient methods. *Ecological Monographs*, 73, 69–86.
- FRANCK A.B. Y KARN J.F. (1989) Prediction of digestibility and protein from growing degree-days for crested and western wheatgrasses. *XVI International Grassland Congress*, 925–926. Nice, France.
- FRANK A.B. Y HOFMANN L. (1989) Relationship among grazing management, growing degreedays, and morphological development for native grasses on the Northern Great Plains. *Journal of Range Management*, 42, 199–202.
- GÓMEZ-GARCÍA D. Y GARCÍA-GONZÁLEZ R. (2011) Evolución de la estructura florística tras 18 años de exclusión del pastoreo en pastos subalpinos del P.N. de Ordesa y Monte Perdido. En: López-Carrasco C. et al. (eds). *Pastos, paisajes culturales entre tradición y nuevos paradigmas del siglo XXI*, pp 139–146. Madrid: SEEP.
- HAFERKAMP M.R., MACNEIL M.D. Y GRINGS E.E. (2005) Predicting Nitrogen Content in the Northern Mixed-Grass Prairie. *Rangeland Ecology & Management*, 58, 155–160.
- JOUGLET J.P., BERNARD-BRUNET J. Y DUBOST M. (1982) Phénologie de quelques espèces de pelouses subalpines du Briançonnais. *Fourrages*, 92, 67–90.
- KOZUCHOWSKI K. Y DEGIRMENDZIC J. (2005) Contemporary changes of climate in Poland: trends and variations in thermal and solar conditions related to plant vegetation. *Polish Journal of Ecology*, 53, 283–297.
- LANGVATN R., ALBON S.D., BURKEY T. Y CLUTTON-BROCK T.H. (1996) Climate, plant phenology and variation in age of first reproduction in a temperate herbivore. *Journal of Animal Ecology*, 65, 653–670.
- MARINAS M. Y GARCÍA-GONZÁLEZ R. (2006) Preliminary data on nutritional assessment of abundant species in alpine pastures of the Pyrenees. *Pirineos*, 161, 85–109.
- ORLANDI D. Y CLEMENTEL F. (2000) *Productive and qualitative characteristics of alpine pastures*. Current ISAF Research Publ. Range Management Div. Trento, Italia.
- RALPHS M.H., GARDNER D.R., TURNER D.L., PFISTER J.A. Y THACKER E. (2002) Predicting toxicity of tall larkspur (*Delphinium barbeyi*): measurement of the variation in alkaloid concentration among plants and among years. *Journal of Chemical Ecology*, 28, 2327–2341.
- THEURILLAT J.P. Y SCHLÜSSEL A. (2000) Phenology and distribution strategy of key plant species within the subalpine-alpine ecocline in the Valaisan Alps (Switzerland). *Phytocoenologia*, 30, 439–457.