

Papel del fotoperíodo, vernalización y tratamientos de incendio sobre la respuesta germinativa de *Betula pendula* Roth

O. REYES & M. CASAL

*Área de Ecología. Departamento de Biología Fundamental. Facultad de Biología
Universidad de Santiago de Compostela. 15706 Santiago de Compostela. España*

(Recibido, marzo de 2000. Aceptado, junio de 2000)

Resumen

REYES, O. & CASAL, M. (2000). Papel del fotoperíodo, vernalización y tratamientos de incendio sobre la respuesta germinativa de *B. Pendula* Roth. *Nova Acta Científica Compostelana (Biología)*, **10**: 49-58

En este estudio se ha analizado el efecto del fotoperíodo, la vernalización y varios tratamientos de incendio sobre la germinación de *Betula pendula* Roth. Para comprobar la respuesta germinativa de *B. pendula* a dos fotoperíodos muy contrastados, Invierno y Verano, parte de las semillas se sembraron en octubre de 1993 y parte en junio de 1994. La vernalización se ensayó con semillas sometidas durante 0, 1, 2, 3 y 8 meses a 4°C. Estos 5 grados de vernalización se ensayaron en los dos fotoperíodos. Los tratamientos de incendio ensayados fueron los siguientes: altas temperaturas y adición de ceniza. Estos tratamientos de incendio se ensayaron en combinación con los 5 grados de vernalización en condiciones de fotoperíodo de Verano. Se han detectado diferencias altamente significativas tanto en la tasa como en el tiempo medio de germinación obtenidos bajo los dos fotoperíodos, siendo superiores las tasas de germinación bajo fotoperíodo de Verano. Por otro lado no se han encontrado efectos importantes de la vernalización sobre la germinación en ninguno de los dos fotoperíodos, ni tampoco de los tratamientos de incendio por sí solos o en combinación con la vernalización.

Palabras clave: *Betula pendula*, germinación, fotoperíodo, vernalización, fuego.

Abstract

REYES, O. & CASAL, M. (2000). Effect of photoperiod, vernalisation and fire-treatments on the germination of *Betula pendula* Roth. *Nova Acta Científica Compostelana (Biología)*, **10**: 49-58

In this study, we have analysed the effect of photoperiod, vernalisation and fire-treatments on the germination of *Betula pendula* Roth. In order to test the germinative response of *B. pendula* in two highly contrasted photoperiods, winter and summer, one part of the seeds was sown in October 1993 and the other in June 1994. Vernalisation was realised by subjecting the seeds to 4° C during 0, 1, 2, 3 and 8 months. This five groups of vernalisation were carried out in both photoperiods. The fire-treatments applied were the following: high temperatures and addition of ashes. This fire-treatments were combined with the 5 groups of vernalisation in summer photoperiods. It has been found highly significant differences in the rate as well as in the average time of germination obtained in both photoperiods, resulting higher rates of germination in summer photoperiods. However, it has been not detected important effects of vernalisation on germination in any of the photoperiods, neither of the fire-treatments by themselves or in combination with vernalisation.

Key words: *Betula pendula*, germination, photoperiod, vernalisation, fire.

INTRODUCCIÓN

El género *Betula* comprende cerca de 40 especies de árboles y arbustos caducifolios que ocupan las zonas más frías del hemisferio Norte. *B. péndula* se encuentra distribuida en la mayor parte de Europa desde Sicilia hasta 69° N en Noruega, aunque en el Sur y en gran parte de Asia se encuentra confinada a las montañas (TUTIN *et al.*, 1969-81; FONT-QUER, 1988; ATKINSON, 1992). Su distribución en Galicia abarca todo el territorio, a excepción de las zonas más cálidas, resultando abundante en las mesetas interiores y montañas altas (VEGA ALONSO *et al.*, 1993; TOVAL 1986).

El hecho de que esta especie esté ampliamente distribuida en zonas frías, hace pensar que pueda necesitar un período de reposo en frío para romper la latencia, y en base a estudios previos (VALANNE, 1973) hemos buscado, además, el posible efecto del fotoperíodo sobre la germinación.

A pesar de que *B. pendula* se encuentra en ambientes poco propicios al fuego, el particular problema de los incendios forestales en Galicia, hace que sus poblaciones también resulten afectadas por el fuego. Esta especie juega un papel primordial en la recuperación natural de la vegetación tras incendio, ya que frecuentemente recubre las zonas recientemente quemadas (REYES, 1996). Constituye un árbol muy interesante para acciones de restauración porque al tratarse de una especie pionera (MOORE, 1979) crece rápidamente y alcanza gran talla en tiempos cortos. Además presenta un gran valor ecológico en ecosistemas forestales e incluso forma parte de los bosques en galería en los que regula la temperatura del agua, estabiliza las riberas, y su biomasa sirve de alimento y refugio para la fauna acuática (RIGUEIRO, 1992).

Esta especie ha sido estudiada en Europa del Norte, especialmente por estar distribuida en zonas frías (COSTA *et al.*, 1990; FERM *et al.*, 1994; HOLM, 1994 a, b; PERALA 1990), sin embargo hay pocos estudios relativos a los procesos germinativos (ATKINSON, 1992; HOLM, 1993; HOLM, 1994 a; VALANNE, 1973) y apenas hay

ninguna información disponible acerca de cómo afectan las características de los incendios a la germinación de las semillas.

Por todas estas razones se ha planteado este estudio cuyo objetivo es conocer la respuesta germinativa de *B. pendula* a la actuación conjunta de fotoperíodo, vernalización y tratamientos que simulan incendios forestales.

MATERIAL Y MÉTODOS

Las semillas se recogieron en Villalba (Lugo), en otoño anterior al inicio de los ensayos y se mantuvieron en frío durante 1993. Para obtener dos fotoperíodos bien contrastados la primera parte del experimento (fotoperíodo de Invierno) se inició el 28 de octubre de 1993 y la segunda el 15 de junio de 1994 (fotoperíodo de Verano). Se buscaron cuatro períodos de vernalización que pudiesen darse con frecuencia en el área de distribución de la especie para que los datos obtenidos fuesen ajustados a la realidad. Basándonos en esta premisa se vernalizaron grupos de semillas durante 0 (Control), 1, 2, 3 y 8 meses. Para ello se mantuvieron semillas secas y aireadas en una cámara fría a una temperatura constante de 4°C.

Después de la vernalización cada lote de semillas fue sometido a los siguientes tratamientos: Control, Temperatura (110°C-5'), Ceniza (1g/l de disolución) y Ceniza+Temperatura (1g/l de disolución+110°C-5').

El choque térmico al que fueron sometidas las semillas se realizó introduciendo las semillas en una estufa de aire caliente durante 5'. La temperatura y tiempo de permanencia seleccionados se encuentran dentro del rango de los más probados por diversos autores (TRABAUD, 1989; BRADSTOCK *et al.*, 1994; VALETTE *et al.*, 1994; REYES & CASAL, 1995, 1998; REYES *et al.*, 1997; entre otros).

La ceniza utilizada se obtuvo a partir de la combustión completa (aproximadamente 20 minutos) de material seco (ramas finas y hojas, fundamentalmente) de individuos de *B. pendula*. La disolución de ceniza se realizó mezclando 1g

de ceniza en 1l de agua destilada. La elección de esta concentración de ceniza está basada en la relación de la cantidad de ceniza/m² hallada en el suelo del monte Pedroso después de un incendio experimental y el agua caída por m² en esta zona durante los primeros episodios de lluvia (Soto, 1993) después del incendio.

Todos los tratamientos se aplicaron a seis réplicas de 30 semillas cada una. Tanto el número de réplicas como el número de semillas por réplica se eligieron por proporcionar un buen equilibrio entre el esfuerzo realizado y la fiabilidad de los resultados obtenidos.

La siembra se realizó en placas Petri sobre doble capa de papel de filtro y se colocaron las placas al lado de un ventanal sometidas a la temperatura de laboratorio y luz natural durante la incubación. Las semillas fueron regadas periódicamente con agua destilada, de forma que siempre se mantuviesen húmedas. El recuento de las semillas se hizo cada dos días. Se consideró que una semilla está germinada cuando la radícula sobresalía por fuera de los tegumentos uno o más milímetros (CÔME, 1970). Cada semilla germinada fue retirada para evitar confusiones en el recuento.

El tiempo medio de germinación se ha calculado a partir de la expresión:

$$t_m = \frac{N_1 T_1 + N_2 T_2 \dots + N_n T_n}{N_1 + N_2 \dots + N_n}$$

donde N_1 es el número de semillas germinadas en el tiempo T_1 , N_2 es el número de semillas que han germinado entre el tiempo T_1 y el tiempo T_2 , etc (CÔME, 1970).

Tratamiento estadístico

Los datos obtenidos no cumplían la condición de normalidad. Por ello se utilizaron los métodos no paramétricos recomendados por SOKAL & ROHLF (1979). De los métodos no paramétricos se optó por el test de comparaciones simples de Kolmogorov-Smirnov para comparar las tasas y tiempos medios de germinación

obtenidas bajo ambos fotoperíodos, y el test de Kruskal-Wallis de comparaciones múltiples para comparar las tasas y tiempos medios de germinación obtenidas en cada uno de los grados de vernalización.

RESULTADOS

Tasa de germinación

En la Tabla I se presentan los valores de porcentaje de germinación obtenidos en fotoperíodo de Invierno y en fotoperíodo de Verano cuando las semillas de *B. pendula* son sometidas a distinto grado de vernalización. Como se puede observar en esta tabla durante el Verano germinan más semillas (4.44%) que en el Invierno (0.88%). Por grados de vernalización la tasa de germinación mayor durante el fotoperíodo de Invierno corresponde a 2 meses de frío, mientras que durante el Verano el grupo control (0 meses en frío) es el que alcanza la tasa más elevada.

Se ha comprobado que las tasas de germinación obtenidas bajo ambos fotoperíodos son significativamente diferentes ($p < 0.0001$). También se han analizado las diferencias que hay entre los 5 grados de vernalización en cada uno de los fotoperíodos por separado, no detectándose diferencias significativas en ningún caso.

En la Tabla II se muestran los resultados de los ensayos de vernalización y tratamientos de fuego. Se puede observar que el grado de vernalización no ejerce un efecto positivo ni negativo sobre el porcentaje de germinación. La tasa de germinación media de 0 meses de vernalización en el grupo control es de 7.21%, obteniendo tasas menores los demás grados de vernalización. Los valores obtenidos en los tratamientos de fuego oscilan entre 2.22 y 7.78 y no se observan grandes diferencias, siendo el tratamiento Temperatura el que alcanza las tasas más bajas en casi todos los grados de vernalización.

Analizando estadísticamente los datos no hemos encontrado diferencias significativas ni entre los 5 grados de vernalización ($p = 0.3873$) ni entre los tratamientos de fuego ($p = 0.2389$).

TABLA I. Valores medios y Error estándar de la tasa (en porcentaje) y del tiempo medio de germinación (en días) de *B. Pendula* en los tratamientos de vernalización en cada uno de los fotoperíodos estudiados (Invierno y Verano)

		0 meses	1 mes	2 meses	3 meses	8 meses	Promedio
Invierno	Tasa	0.00	0.55±0.55	1.66±1.13	1.11±1.11	1.11±1.11	0.88
	Tiempo	—	25.00±0.00	18.33±6.00	11.00±0.00	46.00±0.00	25.08
Verano	Tasa	7.20±4.07	5.55±1.64	1.11±0.70	3.33±1.2	4.99±1.13	4.44
	Tiempo	16.25±1.25	20.00±4.67	19.00±10.00	16.25±6.70	12.00±1.55	14.90

TABLA II. Valores medios y Error estándar de la tasa (en porcentaje) y del tiempo medio de germinación (en días) de *B. pendula* en cada uno de los tratamientos aplicados a las semillas vernalizadas durante distintos períodos de tiempo

		Control	Temperatura	Ceniza	Ceniz+Temper	Promedio
0 meses	Tasa	7.21±4.07	3.88±1.80	5.00±2.23	4.44±1.81	5.13
	Tiempo	16.25±1.25	17.11±2.51	14.25±1.79	20.00±2.64	16.90
1 mes	Tasa	5.55±1.64	2.22±1.40	4.44±1.11	7.78±2.53	4.99
	Tiempo	20.00±2.67	19.00±4.00	22.50±1.33	17.40±1.72	19.72
2 meses	Tasa	1.11±0.70	6.66±2.43	2.22±0.70	4.44±2.04	3.60
	Tiempo	19.00±10.00	16.33±1.36	20.50±4.50	15.00±1.15	17.70
3 meses	Tasa	3.33±2.44	3.88±2.44	5.55±1.40	7.77±1.86	5.13
	Tiempo	23.75±6.70	16.20±3.14	17.22±2.93	17.73±3.41	18.72
8 meses	Tasa	5.00±1.13	2.77±1.02	5.55±1.40	6.66±0.86	4.99
	Tiempo	12.00±1.55	17.50±5.90	17.22±2.93	14.77±1.99	14.70
Promedio	Tasa	4.44	3.88	4.55	6.22	4.77
	Tiempo	18.20	17.23	17.8	16.98	17.55

Tiempo medio de germinación

El tiempo medio de germinación sigue las mismas pautas que la tasa de germinación; durante el fotoperíodo de Invierno la germinación además de ser más baja también es más lenta. El tiempo medio de germinación en los cinco grados de vernalización durante el Invierno es de 25.08 días frente a 14.90 días en Verano y aunque las diferencias entre los dos fotoperíodos no son muy altas (Tabla I) sí resultan significativas ($p < 0.0001$). Durante el fotoperíodo de Invierno el tratamiento que obtiene un tiempo

medio de germinación más corto es el de 3 meses de frío y durante el Verano, el de 8 meses. Analizando los cinco grados de vernalización en cada uno de los fotoperíodos por separado no existen, sin embargo, diferencias significativas.

En el segundo experimento (fotoperíodo de Verano, vernalización y tratamientos de fuego) los tiempos medios de germinación oscilan entre los 12.00 y los 23.75 días (Tabla II). Los grados de vernalización que alcanzan los tiempos medios de germinación más breves son 8 y 0 meses en frío con 14.70 y 16.90 días, respectivamente, como promedio de los tratamientos de fuego.

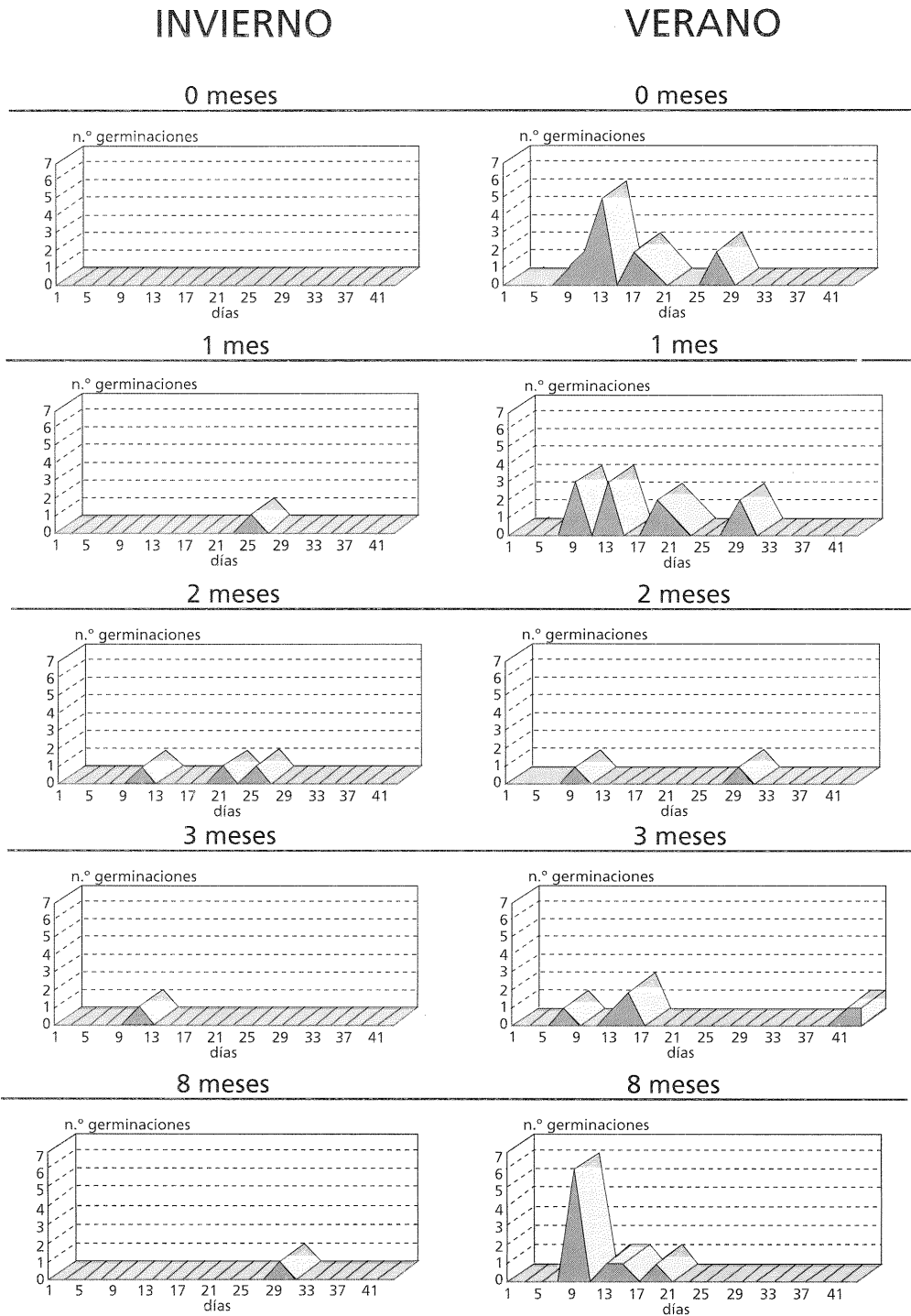


Fig. 1. Distribución temporal de la germinación de semillas de *B. pendula* sometidas a dos fotoperíodos diferentes y varios grados de vernalización.

Por otro lado, promediando los tiempos medios de germinación de todos los grados de vernalización obtenidos para cada tratamiento de fuego es el tratamiento Cenizas+Temperatura el que presenta el tiempo medio de germinación inferior (16.18 días) y el Control el mayor (18.20 días). Analizando estadísticamente las diferencias que hay entre los grados de vernalización se encontró que no son significativas ($p=0.2416$), como tampoco lo son las diferencias entre los tratamientos ($p= 0.5813$).

Distribución de la germinación en el tiempo

Tal como se puede apreciar en la Fig. 1, la germinación de *B. pendula* bajo condiciones fotoperiódicas de Invierno es especialmente escasa, llegando a ser nula en algunos tratamientos (0 meses), por lo que no se puede predecir cuál sería la distribución de la germinación en el tiempo. Sin embargo en condiciones de fotoperíodo de Verano al menos tres tratamientos (0 meses, 1 mes y 8 meses) presentan unos picos de germinación bien marcados en los cuales la germinación se distribuye en su gran mayoría entre los días 9 y 29 (Fig. 1). Las primeras germinaciones se producen entre los días 5 y 7 después de la siembra y aunque no se observa un único pico de germinación ésta se concentra, en casi todos los tratamientos, en unos 20 días.

La distribución de la germinación en el tiempo de las semillas sometidas a distintos tratamientos de fuego y distintos grados de vernalización se representa en la Fig. 2. Esta distribución no se ve influida ni por el grado de vernalización ni por los tratamientos a los que fueron sometidas las semillas. Los tratamientos que presentan los picos de germinación más importantes son aquellos que no fueron vernalizados (0 meses) o los vernalizados durante 8 meses (8 meses); En general, las germinaciones comienzan en torno al día 9 y prácticamente cesan el día 29 y no parece que el patrón de distribución de la germinación en el tiempo responda al tratamiento al que fueron sometidas (Control, Temperatura, Cenizas o Cenizas + Temperatura).

DISCUSIÓN

Las plántulas de abedul suelen ser frecuentes en los lugares soleados y desprovistos de recubrimiento vegetal, por lo que las zonas aclaradas, ya sea por corta o quema, constituyen lugares ideales para su establecimiento (ATKINSON, 1992; MILES & YOUNG, 1980).

Aunque las tasas de germinación obtenidas son bajas, valores similares fueron encontrados por HOLM (1993, 1994 a). Teniendo en cuenta que los individuos adultos pueden producir gran número de semillas (350000 semillas/individuo) de bajo peso ($1,7 \times 10^{-4}$ g) (REYES, 1996) y que también poseen capacidad de rebrotar (ATKINSON, 1992), posiblemente el abedul no necesita disponer de una elevada germinación para generar un gran número de plántulas, que además se desarrollan muy rápidamente.

En este estudio hemos comprobado que el fotoperíodo de Verano favorece claramente la germinación. VALANNE (1973) analizando la respuesta de *B. pendula* a distintas calidades e intensidades de luz observó que la germinación resultaba incrementada por las radiaciones de la zona roja del espectro y por fotoperíodos de día largo. Además REDMON & ROBINSON (1954) encontraron en la cubierta de las semillas de *Betula* inhibidores de germinación solubles en agua, que pierden su efecto cuando se exponen a la luz. Quizás *B. pendula* haya desarrollado su respuesta germinativa a la luz debido a que las condiciones climatológicas que concurren con fotoperíodos de día largo en su área de distribución sean más propicias para el desarrollo y supervivencia de las plántulas.

También hemos comprobado que las semillas de *B. pendula* no responden a los grados de vernalización ensayados. Algunas especies de ambientes fríos suelen presentar latencia y necesitan pasar un período de frío antes de germinar. Este es el caso de algunas especies del género *Betula* (CATALÁN, 1977), sin embargo, a la vista de los resultados obtenidos no parece que la población de *B. pendula* donde se han recogido las semillas (Villalba) presente este tipo de latencia.

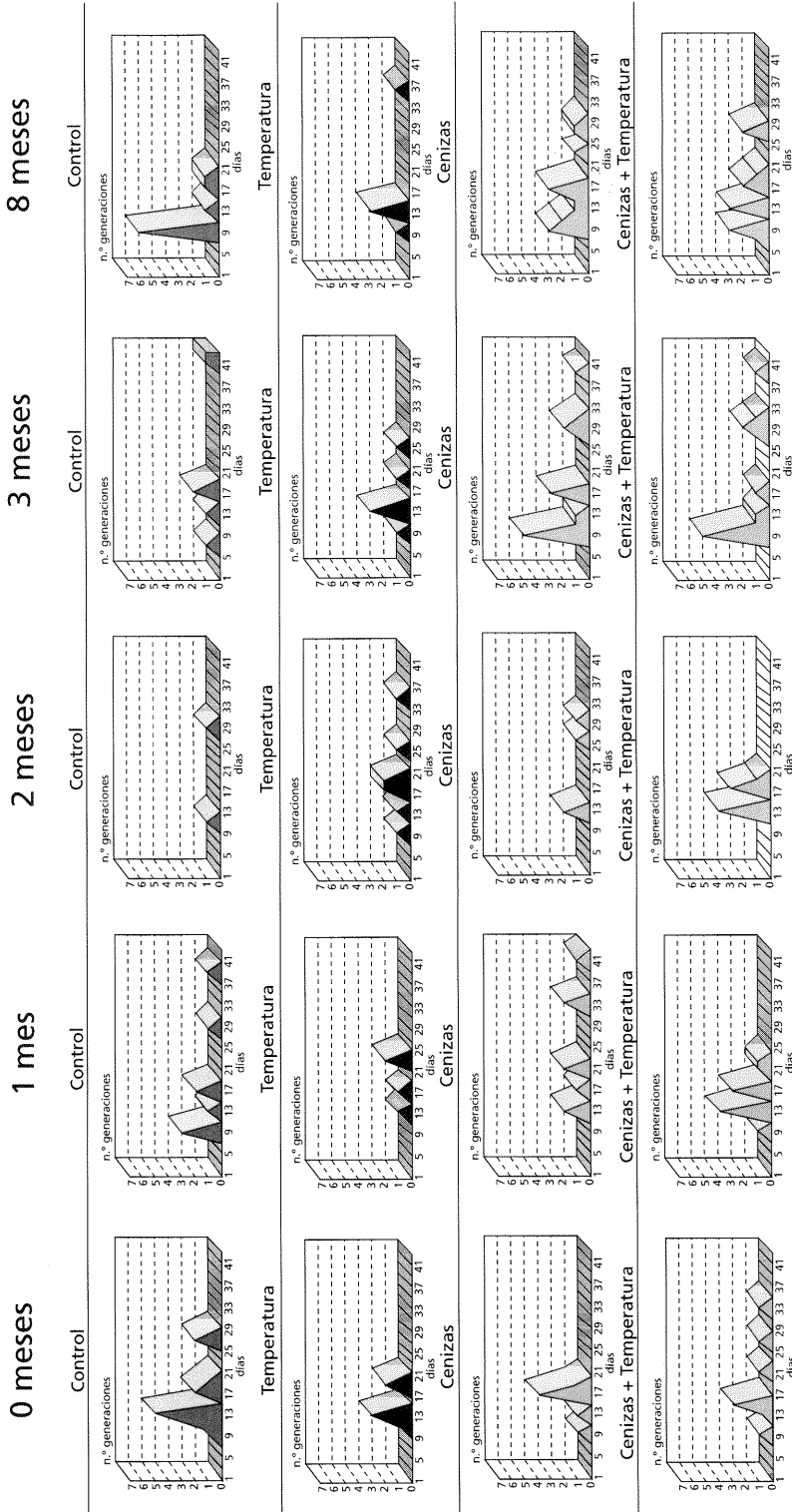


Fig. 2. Distribución temporal de la germinación de semillas de *B. pendula* sometidas a distintos tratamientos y varios grados de vernalización.

Hemos comprobado que el choque térmico aplicado no inhibe ni estimula la germinación; ésta tampoco presenta una respuesta diferencial a la ceniza, ni a la actuación conjunta de ceniza y temperatura alta. Y cada una de estas respuestas tampoco es alterada cuando las semillas son sometidas además a distintos grados de vernalización.

Hay numerosos estudios que demuestran que el fuego puede favorecer la germinación de las semillas de algunas especies (PEREIRAS, 1984; MALLIK & GIMINGHAM, 1985; JEFFERY *et al.*, 1987; AÑORBE, 1988; MUÑOZ *et al.*, 1989; TRABAUD & OUSTRIC, 1989; KAUFFMAN & MARTÍN, 1991; AULD & O'CONNELL, 1991; ROY & SONIÉ, 1992; TARREGA *et al.*, 1992; VALBUENA *et al.*, 1992; GONZÁLEZ-RABANAL *et al.*, 1994; GONZÁLEZ-RABANAL & CASAL, 1995; VALBUENA & TRABAUD, 1995; FERRANDIS *et al.*, 1999), sobre todo en especies de la familia de las Leguminosas. Este estímulo de la germinación suele ser el resultado de la escarificación de la cubierta de la semilla. Las semillas de abedul son de pequeño tamaño y tienen una cubierta delgada y frágil, que no parece necesitar un agente escarificador que facilite la entrada del agua.

Aunque algunos autores (UGLA, 1958; PERALA, 1990) afirman que las cenizas generadas por un incendio constituyen un lecho ideal para la germinación de las semillas, nuestros resultados no indican que se produzca un aumento en la tasa de germinación a consecuencia de la irrigación con agua de ceniza; nosotros consideramos que la mayor proliferación de plántulas en aquellos lugares donde la cantidad de cenizas es mayor puede ser debida a un efecto físico de coincidencia de acumulación de semillas y cenizas movilizadas por erosión hídrica y también a que las cenizas pueden mantener un grado de humedad adecuado para la germinación, proporcionando además un aporte extra de nutrientes para el crecimiento de la plántula. Otros autores (PERCY, 1986; NEUVONEN *et al.*, 1991) estudiando el efecto de la lluvia ácida sobre la germinación de varias especies de *Betula* tampoco obtuvieron diferencias significativas entre los tratamientos ácidos. Es decir, las semillas del género *Betula* no parecen ser muy sensibles a estímulos quími-

cos y las cenizas, al menos en pequeñas concentraciones, no estimulan ni inhiben la germinación.

No se dispone de datos de mortalidad de plántulas de *B. pendula* pero si se ha observado en el campo que el establecimiento de plántulas se produce en el primer año después de la corta o incendio y que una vez que el suelo está cubierto por un tapiz de plantas herbáceas no se produce establecimiento de nuevas plántulas. Las plántulas de *B. pendula* presentan un crecimiento muy rápido, en los dos primeros meses tras la germinación pueden alcanzar 25 cm de altura (observación personal), y se comporta, dentro del grupo de las especies arbóreas, como una especie colonizadora típica, propia de las primeras etapas de la sucesión. El hecho de que *B. pendula* colonice rápidamente las zonas quemadas puede ser debido a que sus semillas, anemócoras, pueden recorrer largas distancias, y a que los terrenos recién quemados o desbrozados son lugares ideales para su establecimiento porque la competencia, por luz y nutrientes, es muy baja, y a que su crecimiento rápido en las primeras fases de desarrollo le permite establecerse antes de que estas condiciones de luz y baja competencia cambien por dominancia de herbáceas, lo cual en Galicia suele ocurrir en pocos meses.

A modo de conclusión podemos decir que las características de fotoperíodo afectan de forma significativa al comportamiento germinativo de *B. pendula*, mientras que el grado de vernalización y los tratamientos de fuego parece no tener efecto alguno sobre su germinación, por tanto la regeneración natural de *B. pendula* sería similar en zonas quemadas y en zonas desbrozadas si la cantidad y calidad de luz que reciben son las mismas así como otros factores ecológicos (cercanía a poblaciones adultas, disponibilidad de recursos, clima, etc.).

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido hecho gracias a la Bolsa Predoctoral concedida a O. Reyes. Agradecemos a María Fariña su ayuda en la traducción al inglés.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANORBE, M. (1988). *Efectos de la temperatura, suelos e insectos consumidores sobre la germinación de Cistus oromediterraneus y Cistus multiflorus*. Tesina de Licenciatura. Universidad de Salamanca, Salamanca.
- ATKINSON, M.D. (1992). *Betula pendula* Roth. (*B. verrucosa* Ehrh.) and *B. pubescens* Ehrh. *Journal of Ecology*, **80**: 837-870.
- AULD, T. D. & O'CONNELL, M. A., (1991). Predicting patterns of post-fire germination in 35 eastern Australian Fabaceae. *Austr. J. Ecol.*, **16**: 53-70.
- BRADSTOCK, R.A., GILL, A.M., HASTINGS, S.M. & MOORE, P.H.R. (1994). Survival of serotinous seedbanks during bushfires: Comparative studies of *Hakea* species from southeastern Australia. *Australian Journal of Ecology*, **19**:276-282.
- CATALÁN, G. (1977). *Semillas de árboles y arbustos forestales*. ICONA, Monografía **17**.
- CÔME, D. (1970). *Les obstacles à la germination*. Masson, Paris.
- COSTA, M., HIGUERAS, J., MORLA, C. (1990). Abedulares de la sierra de San Mamede (Orense-España). *Acta Botánica Malacitana*, **15**:253-265.
- FERM, A., HYTÖNEN, J., LILJA, S. & JYLHÄ, P. (1994). Effects of weed control on the early growth of *Betula pendula* seedling established on a agricultural field. *Scandinavian Journal of Forestry Research*, **9**:347-359.
- FERRANDIS, P., HERRANZ, J. M., MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, J. J. (1999). Effect of fire on hard-coated Cistaceae seed banks and its influence on techniques for quantifying seed banks. *Plant Ecology*, **144**: 103-114.
- FONT-QUER, P. (1988). *Plantas medicinales*. Ed. Labor S.A., Calabria (Barcelona).
- GONZÁLEZ-RABANAL, F. & CASAL, M. (1995). Effect of high temperatures and ash on germination of ten species from gorse shrubland. *Vegetatio*, **116**:123-131.
- GONZÁLEZ-RABANAL, F., CASAL, M. & TRABAUD, L. (1994). Effects of high temperatures, ash and seed position in the inflorescence on the germination of three Spanish grasses. *Journal of Vegetation Science*, **5**: 289-284.
- GONZÁLEZ-ROSALES, M., VEGA-ALONSO, P., VEGA-ALONSO, G. & RODRÍGUEZ-SAN JOSÉ, A. (1993). Mejora genética del *Eucalyptus globulus* Labill en Galicia. *Congreso Forestal Español, Lourizán 1993, Ponencias y Comunicaciones*, Tomo **II**: 111-116.
- HOLM, S.O. (1993). Regeneration of *Betula pendula* and *B. pubescens* coll. above and below the natural altitudinal distribution limit of *B. pendula* in south-east Norway. *Oecologia*, **2**: 1-6.
- HOLM, S.O. (1994 a). Reproductive patterns of *Betula pendula* and *B. pubescens* Coll. along a regional altitudinal gradient in northern Sweden. *Ecography*, **17**: 60-72.
- HOLM, S.O. (1994 b). Reproductive variability and pollen limitation in three *Betula* taxa in northern Sweden. *Ecography*, **17**: 73-81.
- JEFFERY, D.J., HOLMES, P.M. & REBELO, A.G. (1988). Effects of dry heat on seed germination in selected indigenous and alien legume species in South Africa. *S-Afr Tydskrif Plantk*, **54**: 28-34.
- KAUFFMAN, J.B., MARTIN, R.E. (1991). Factors influencing the scarification and Germination of three montane Sierra Nevada shrubs. *Northwest Science*, **65**(4): 180-187
- MALLIK, A.D., GIMINGHAN, C.H. (1985). Ecological effects of heather burning II. Effects on seed germination and vegetative regeneration. *J. Ecol.*, **73**: 633-644
- MILES, J. & YOUNG, W.F. (1980). The effects on heathland and moorland soils in Scotland and Northern England following colonization by birch (*Betula* spp.). *Bulletin d'Ecologie*, **11**: 233-242.
- MOORE, P.D. (1979). Next in succession. *Nature*, **282**: 361-362.
- MUÑOZ, M.R. & FUENTES, E.R. (1989). Does fire induce shrub germination in the Chilean matorral?. *Oikos*, **56**: 177-181.
- NEUVONEN, S., NYSSONEN, T., RANTA, H. & KIILUNEN, S. (1991). Simulated acid rain and the reproduction of mountain birch [*Betula pubescens* spp. tortuosa (Ledeb) Nyman]: a questionnaire tale. *New Phytologist*, **118**: 111-117.
- PERALA, D.A. (1990). Regeneration silviculture of birch: a review. *Forest Ecology and Management*, **32**: 39-77.
- PERCY, K. (1986). The effect of simulated acid rain on germinative capacity, growth and morphology forest tree seedlings. *New Phytologist*, **104**: 473-484.
- PEREIRAS, J. (1984). *Estudio de los principales efectos de incendios y rozas sobre la germinación de semillas de tojo (Ulex europaeus L)*. Tesina de Licenciatura. Universidad de Santiago de Compostela.
- REDMOND, D.R. & ROBINSON, R.C. (1954). Viability and germination in yellow birch. *Forestry Chronicle*, **30**: 79-87.

- REYES, O. (1996). *Estrategias regenerativas de especies arbóreas de ecosistemas forestales de Galicia en relación con incendios: análisis del comportamiento germinativo y de la demografía de plántulas*. Tesis doctoral. Universidad de Santiago de Compostela.
- REYES, O. & CASAL, M. (1995). Germination behaviour of 3 species of genus *Pinus* in relation to high temperatures suffered during forest fires. *Annals of Forest Science*, **52**: 385-392.
- REYES, O. & CASAL, M. (1998). Germination of *Pinus pinaster*, *P. radiata* and *Eucalyptus globulus* in relation to the amount of ash produced in forest fires. *Annals of Forest Science*, **55**: 837-845.
- REYES, O. & CASAL, M., TRABAUD, L. (1997). The influence of population, fire and time of dissemination on the germination of *Betula pendula* seeds. *Plant Ecology*, **133**:201-208.
- RIGUEIRO, A. (1992) Evolución histórica del bosque gallego. In: Academia Galega de Ciencias (Ed.), *Especies frondosas en la repoblación de Galicia*: 73-92. Servicio de Publicaciones de la Diputación de Lugo, Lugo.
- ROY, J. & SONIÉ, L. (1992). Germination and population dynamics of *Cistus* species in relation to fire. *J. Appl. Ecol.*, **29**: 647-655.
- SOKAL, R.R. & ROHLF, F.J. (1979). *Biometría. Principios y métodos estadísticos en la investigación biológica*. H Blume, Madrid.
- SOTO, B. (1993). *Influencia de los incendios forestales en la fertilidad y erosionabilidad de los suelos de Galicia*. Tesis doctoral. Universidad de Santiago de Compostela.
- TÁRREGA, R., CALVO, L., TRABAUD, L. (1992). Effect of high temperatures on seed germination of two woody Leguminosae. *Vegetatio*, **102**: 139-147.
- TOVAL, G. (1986). Frondosas del norte de España. In: Academia Gallega de Ciencias (Ed.), *Especies frondosas de Galicia*: 50-64. Caixa Ourense, Ourense.
- TRABAUD, L. (1989). *Les feux de forêts*. Editorial France-Selection, Aubervilliers.
- TRABAUD, L. & OUSTRIC, J. (1989). Heat requirements for seed germination of three *Cistus* species in the garrigue of Southern France. *Flora*, **183**: 321-325.
- TUTIN, T.G., HEYWOOD, V.H., BURGESS, N.A., MOORE, D.M., VALENTINE, D.H., WALTERS, S.M., BERENDSE, F., VISSER, D.E. & WEBB D.A. (1969-1981). *Flora Europaea*. Cambridge University Press, Cambridge.
- UGGLA, E. (1958). Skogsbrandfält i Muddus nationalpark. *Acta Phytogeogr. Suec.*, **41**: 1-116.
- VALANNE, T. (1973). Germination experiments on the seed of *Betula* species. *Turun Yliopiston Julkaisuja*, **AII52**: 7-35.
- VALBUENA, L., TÁRREGA, R. & LUIS, E. (1992). Influence of heat on seed germination of *Cistus laurifolius* and *Cistus ladanifer*. *International Journal of Wildland Fire*, **2**: 15-20.
- VALBUENA, L. & TRABAUD, L. (1995). Comparison between the soil seed banks of a burnt and a unburnt *Quercus pyrenaica* Willd. forest. *Vegetatio*, **119**: 81-990.
- VALETTE, J.C., GOMENDY, V., MARÉCHAL, J., HOUSSARD, C. & GILLON, D. (1994). Heat transfer in the soil during very low-intensity experimental fires: the role of duff and soil moisture content. *The International Wildland Fire*, **4**: 225-237.
- VEGA-ALONSO, G., GONZÁLEZ-ROSALES, M., VEGA-ALONSO, P. & RODRÍGUEZ-SAN JOSÉ, A. (1993). Mejora genética de *Betula celtiberica* en Galicia. *Congreso Forestal Español. Ponencias y Comunicaciones*, Tomo **II**: 135-140.