

MODELO DE PROBABILIDAD DE GERMINACIÓN DE PINO NEGRAL *PINUS PINASTER* AIT. TRAS INCENDIO

C. Herrero de Aza ¹, F. Bravo Oviedo ¹ y R. San Martín Fernández ²

¹ Departamento de Producción Vegetal y Recursos Forestales. E.T.S. de Ingenierías Agrarias. Universidad de Valladolid. Avda. de Madrid 57. 34004-PALENCIA (España). Correo electrónico: chdeaza@pvs.uva.es, fbravo@pvs.uva.es.

² Departamento de Estadística e Investigación Operativa. E.T.S. de Ingenierías Agrarias. Universidad de Valladolid. Avda. de Madrid 57. 34004-PALENCIA (España). Correo electrónico: rsmartin@eio.uva.es

Resumen

El fuego es un factor determinante en los ecosistemas forestales. El conocimiento de la respuesta de la especie *Pinus pinaster* resulta fundamental a la hora de establecer cualquier acción encaminada a una mejor, y más rápida, recuperación del ecosistema tras un incendio forestal. En el presente trabajo hemos comprobado que las semillas de *Pinus pinaster* responden eficazmente a los choques térmicos de corta duración, 1 minuto, a lo largo de todo el régimen de temperaturas estudiado. Sin embargo, en la simulación de fuegos de larga duración, las temperaturas iguales o superiores a 130 °C producen efectos letales al proceso de regeneración del ecosistema. La competencia ejercida por *Cistus laurifolius* puede ser significativa debido a su estrategia reproductiva. El manejo de las masas arbóreas de pino negral después del fuego, debe considerar el efecto que el fuego prescrito puede incorporar en la gestión forestal sostenible.

Palabras clave: *Regeneración, Intensidad fuego, Choque térmico, Jara, Ceniza, Logística*

INTRODUCCIÓN

El fuego es probablemente la perturbación más importante que afecta a las comunidades vegetales terrestres, teniendo especial importancia en las áreas mediterráneas por las altas temperaturas y la sequía durante el periodo estival, (VÉLEZ, 2000).

En la región mediterránea, algunas coníferas como *Pinus halepensis* y *Pinus brutia* (THANOS Y MARCOU, 1991) o *Pinus banksiana* (AGEE, 1998) se ven favorecidas por el fuego. Junto con *Pinus halepensis*, *Pinus pinaster* ha sido caracterizado como típicamente pirófito, es decir, se trata de una especie que regenera bien después de un incendio forestal (NUÑEZ Y CALVO, 1999).

Pinus pinaster presenta distintas adaptaciones que le permiten regenerarse después del fuego que elimina los árboles adultos, (presencia de conos serotinos, procesos de floración y fructificación precoz, etc.), adaptaciones que tienen como misión acumular un importante banco de semillas. El papel del banco de semillas, su tamaño y longevidad, es una parte esencial de la respuesta de la comunidad vegetal al fuego, condicionando la posibilidad de regeneración, ya que constituye la única fuente de conservación de la variabilidad genética y por tanto, ejerce un papel importante en el mantenimiento de la biodiversidad de la zona, (TORRES et al., 2001). Esta característica, junto con la respuesta germinativa tras el fuego, debe ser tenida en cuenta en

masas de coníferas y en especial en los pinares que presentan una alta vulnerabilidad a los incendios forestales, (NUÑEZ Y CALVO, 1999).

La resiliencia al fuego ha sido descrita como una de las características de los pinares mediterráneos. De los aspectos que influyen en la regeneración post incendio de un ecosistema, (época del año del incendio, tiempo de germinación, tamaño y severidad del incendio, etc.) es la intensidad una de las particularidades más importantes en la evolución del proceso de regeneración. La intensidad está caracterizada por dos factores: el tiempo de exposición y la temperatura alcanzada durante el fuego. Ambos, tienen una influencia considerable sobre la capacidad de recuperación de las comunidades vegetales.

Para evaluar la respuesta germinativa de las semillas ante distintas intensidades en un incendio, en condiciones de laboratorio, las técnicas más utilizadas para romper la dormición que presentan las semillas y promover su germinación, consisten en la realización de choques térmicos. La estimulación de la germinación de semillas por exposición a altas temperaturas durante distintos periodos de tiempo para simular la acción del fuego, es un método ampliamente usado y documentado, TRABAUD Y CASAL, 1989; TRABAUD Y OUSTRIC, 1989a; THANOS et al., 1989; CORRAL et al., 1990, GONZÁLEZ-RABANAL, 1992; TÁRREGA et al., 1992; REYES, 1996; HERMIDA-CASTRO, 1999; VALBUENA et al., 1992.

Los objetivos principales del presente trabajo son evaluar el efecto del fuego en la germinación de la especie *Pinus pinaster* y estudiar el efecto del fuego en la especie de *Cistus laurifolius*, especie potencial competidora de las plántulas en las masas de pino negral, así como analizar el efecto de la concentración de ceniza sobre la germinación de estas dos especies.

MATERIAL Y MÉTODOS

Para alcanzar los objetivos propuestos se llevaron a cabo dos experimentos diferentes. El primero para el estudio del efecto de la temperatura y tiempo de exposición en germinación de *Pinus pinaster*. El segundo, para el estudio de la competencia potencial de *Cistus laurifolius* y de

la influencia de la concentración de ceniza en ambas especies.

En el primer ensayo, las semillas utilizadas de *Pinus pinaster* Ait. fueron obtenidas del Servicio de Material Genético. El lote de semillas procedía de la región de procedencia "Meseta Castellana" cosecha 1998/99, pureza del 99.5% y grado de germinación del 74%. Hasta el momento del experimento las semillas fueron almacenadas en bolsas de papel opaco en frigorífico a temperatura constante (4 ± 2 °C).

Se realizaron un total de 15 tratamientos, resultantes de la combinación de siete temperaturas diferentes (70°C, 90°C, 110 °C, 130°C, 150°C, 170 °C y 190°C) y dos tiempos de exposición (1 y 5 minutos), además de un testigo que consiste en la ausencia de tratamiento térmico y, por tanto, tiempo de exposición nulo. Se realizaron cinco réplicas de cada tratamiento. Cada unidad experimental constaba de 20 semillas dispuestas en una placa Petri de 9 cm de diámetro, rellenas con dos discos de papel de filtro humedecidos con agua desionizada. Todas las placas Petri se introdujeron simultáneamente en una máquina germinadora, con unas condiciones constantes de 21°C de temperatura durante 14 horas y luz blanca y 17 °C durante 10 horas y oscuridad. Se mantuvieron un total de seis semanas en esta situación. Cada tres días se realizaron conteos germinativos y se humedeció el papel de filtro. Se consideró que la semilla había germinado cuando la radícula salía dos milímetros del tegumento (COME, 1970). En caso afirmativo, las semillas se quitaban de la unidad experimental correspondiente. Las placas Petri se dispusieron en la cámara de germinación de acuerdo con un diseño completamente aleatorizado.

En este ensayo se realizó un análisis de la varianza unifactorial para los 15 tratamientos considerados, siendo la variable dependiente el arcoseno de la raíz cuadrada de la proporción de semillas germinadas en cada placa, transformación utilizada para la estabilización de las varianzas (TAPIAS, 1998; NUÑEZ Y CALVO, 1999; MIGUEL, 2001). Para la detección de diferencias significativas entre los tratamientos se utilizó el test de rango múltiple de Tukey, además del test de Dunnett para la comparación de todos los tratamientos con el tratamiento control. Se realizó

el análisis de los residuales del modelo para la validación de las hipótesis del modelo lineal.

En el segundo ensayo, tanto las semillas de *Pinus pinaster*, como las de *Cistus laurifolius*, también fueron obtenidas del Servicio de Material Genético. Las semillas de *Pinus pinaster* provenían de la cosecha 1998/99, con un 99.5% de pureza y un 80% de germinación. Las semillas de *Cistus laurifolius*, RIu nº21, provenían de la cosecha del año 2000, presentando un 97% de pureza y un 38% de germinación.

Se sometió a las semillas de ambas especies a los mismos tratamientos térmicos utilizados en el primer ensayo. Las unidades experimentales constaban de 20 semillas dispuestas en placas Petri de igual forma al primer ensayo. Para valorar el efecto de la concentración de ceniza sobre la germinación de estas dos especies, se sometió a las semillas de las placas Petri al rociamiento de tres disoluciones: dos de ceniza de 1 g/l y de 5 g/l, y una tercera de agua destilada. La ceniza se obtuvo de la quema de un saco de pinocha y ramas de *Pinus pinaster* obtenidos en un pinar de la Región de Procedencia "Meseta Castellana". Una vez quemado, los restos se conservaron en ambiente seco hasta la realización del experimento. Con el objeto de facilitar su dilución se realizó un tamizado de las cenizas.

Así pues, en este ensayo se analizaron 90 tratamientos, resultantes de rociar los 15 tratamientos térmicos con las tres disoluciones distintas y considerar las dos especies. Se realizaron 3 replicas de cada tratamiento, y las 270 unidades experimentales fueron dispuestas aleatoriamente en la cámara de germinación de ambiente controlado, con las mismas condiciones de temperatura y fotoperiodo del primer ensayo. Se consideró que la semilla de *Cistus laurifolius* había germinado cuando la radícula sobresalía un milímetro del tegumento y, como el en caso anterior, dos milímetros en el caso de semillas de *Pinus pinaster*.

El análisis de los datos presentó una doble vertiente. Por un lado se analizó un diseño factorial completo para los factores especie, tratamiento térmico y concentración de ceniza, y por otro, se obtuvieron las expresiones de regresión logística que modelizan la probabilidad de germinación de las semillas en función de los factores considerados. Para ello, se han considera-

do todos los factores con sus posibles interacciones y se aplicó el método de selección de variables *Paso a paso*, con criterio de entrada y de salida $\alpha=0.5$. Las dos especies estuvieron presentes en el modelo mediante una variable dummy. Todos los análisis se han realizado con el programa estadístico SAS 8.1.

RESULTADOS

Efecto de la temperatura y el tiempo de exposición

En los resultados del Análisis de la Varianza para el primer ensayo, se obtienen diferencias significativas ($\alpha < 0.01$) entre los distintos tratamientos térmicos, un coeficiente de determinación del 90.24% y un coeficiente de variación del 20.52%. Temperaturas iguales o superiores a 130° C son más sensibles al tiempo de exposición que a la temperatura, al observarse que para las tres temperaturas superiores y tiempo 5 minutos la germinación es casi nula, mientras que si el tiempo de exposición es 1 minuto la germinación presenta un comportamiento más homogéneo, sin diferencias significativas con el tratamiento control. Sin embargo, cuando la temperatura es inferior a 110°C, el comportamiento de la germinación no depende significativamente de la temperatura ni del tiempo de exposición, obteniéndose unas tasas de germinación no estadísticamente diferentes en ambos tiempos de exposición. Se exponen gráficamente los resultados del test de Tukey y de Dunnett en el gráfico 1.

Efecto de la temperatura y el tiempo de exposición y concentración de ceniza

Respecto al segundo ensayo, en la tabla 1 se muestran los resultados del análisis de la varianza del diseño factorial planteado, donde se muestra un modelo altamente significativo ($\text{Prob} > F < 0.0001$), con un R^2 de 89.23% y un coeficiente de variación de 21.95%. Resultan significativos, con $\alpha=0.05$, los factores especie, tratamiento térmico y su interacción. No resulta significativo el factor ceniza, ni ninguna de las interacciones en las que este interviene. Por tanto, se pone en relieve que la influencia del fuego en la germinación presenta diferencias estadísticamente significativas entre las dos especies y entre los tratamientos, dependiendo además el efecto del tratamiento tér-

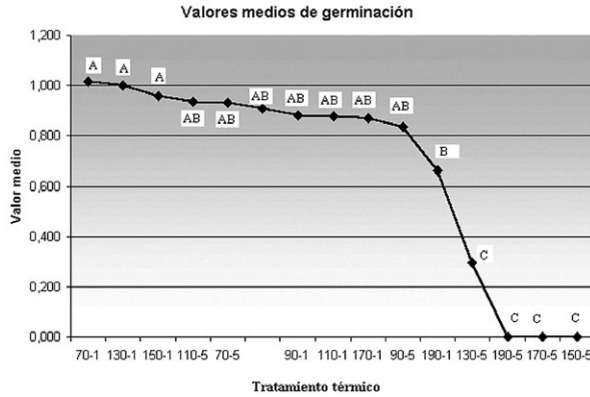


Gráfico 1. Test de Tukey y de Dunnet del ensayo I

mico de la especie que se considere. A través del gráfico de interacciones (Gráfico 2) podemos observar como para *Pinus pinaster* las tasas de germinación no presentan diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos térmicos de 1 minuto, mientras que en los de 5 minutos, en las temperaturas superiores a 130°C se produce un decrecimiento significativo de las mismas. Respecto a *Cistus laurifolius* las tasas de germinación de 1 minuto crecen con la temperatura hasta los 130°C, para luego decrecer significativamente. En los tratamientos térmicos de 5 minutos, el comportamiento de las dos especies

es más parecido, alcanzándose la tasa de germinación máxima para *Cistus laurifolius* a los 90°C.

El modelo de regresión logística nos aporta información adicional sobre las diferencias entre las especies y la influencia de los diferentes factores considerados en el estudio de las tasas de germinación. Después del procedimiento de selección de variables el modelo resultante presenta un valor del estadístico χ^2 de Wald de 918.518 con 9 grados de libertad, con p -valor < 0.0001 en el test global de la hipótesis nula $H_0: \beta = 0$. El modelo final con las variables seleccionadas es:

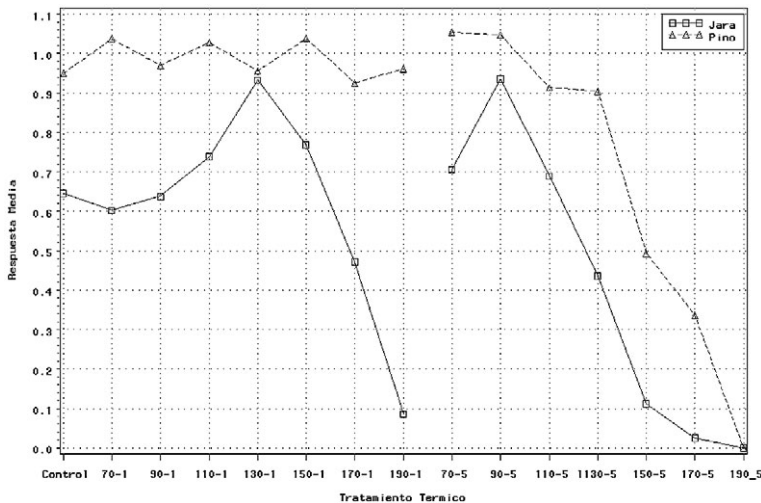


Gráfico 2. Gráfico de interacciones del ensayo II

| Fuente de variación | g.l. | Suma de Cuadrados | Cuadrado medio | Valor de la F | Pr > F |
|----------------------------|----------|--------------------------|----------------|---------------|------------|
| Modelo | 89 | 33.24846895 | 0.37357830 | 16.76 | <.0001 |
| Residuales | 180 | 4.01118279 | 0.02228435 | | |
| Total corregido | 269 | 37.25965174 | | | |
| R ² | C.V. | Cuadrado Medio del Error | Media de ARCP | | |
| 0.892345 | 21.95458 | 0.149279 | 0.679947 | | |
| Fuente de variación | gl | Sum.Cuad.TipoI | Cuadrado medio | F | Pr > F |
| Especie | 1 | 6.98530676 | 6.98530676 | 313.46 | <.0001 *** |
| Tratamiento | 14 | 22.30468515 | 1.59319180 | 71.49 | <.0001 *** |
| Especie*tratamiento | 14 | 2.75954548 | 0.19711039 | 8.85 | <.0001 *** |
| Ceniza | 2 | 0.01182001 | 0.00591000 | 0.27 | 0.7673 |
| Especie*Ceniza | 2 | 0.09921251 | 0.04960625 | 2.23 | 0.1109 |
| Tratamiento*Ceniza | 28 | 0.38094712 | 0.01360525 | 0.61 | 0.9384 |
| Especie*Tratamiento*Ceniza | 28 | 0.70695192 | 0.02524828 | 1.13 | 0.3051 |

Tabla 1. Tabla Anova del ensayo II

$$\ln(p/1-p) = -2.6978 + 2.2888 \cdot E + 0.6380 \cdot t + 0.00536 \cdot T - 0.0312 \cdot E \cdot T + 0.00746 \cdot t \cdot T + 0.000024 \cdot T^2 + 0.0220 \cdot E \cdot T^2 + 0.0220 \cdot E \cdot t \cdot C - 0.00784 \cdot C^2$$

donde E: especie (E=0 *Cistus laurifolius* y E=1 *Pinus pinaster*), T: Temperatura, t: tiempo de exposición y C: Concentración de ceniza. Es de destacar la presencia en el modelo de términos cuadráticos en la temperatura y en la concentración de ceniza, además de la interacción conjunta de la concentración de ceniza con el tiempo de exposición y la especie.

A 1 minuto de exposición (gráfico 3) las probabilidades máximas de germinación de *Pinus pinaster* se alcanzan entre 90°C y 120°C no habiendo diferencias significativas con el resto de temperaturas. En el caso de *Cistus laurifolius*

estas tasas de germinación máximas se alcanzan a temperaturas ligeramente inferiores, 90°C-100°C, encontrándose las mayores diferencias entre estas especies aparecen tanto a temperaturas próximas al control como en las temperaturas más extremas. Los resultados también nos muestran que, a este tiempo de exposición, concentraciones altas de ceniza resultan negativas en la germinación de las semillas de ambas especies, especialmente de *Cistus laurifolius*. Si el tiempo de exposición es de 5 minutos, la probabilidad de germinar decrece con la temperatura. En este caso y para *Pinus pinaster*, las tasas de germinación se ven significativamente mejoradas con el aumento de la concentración de ceniza, al contrario que para *Cistus laurifolius*.

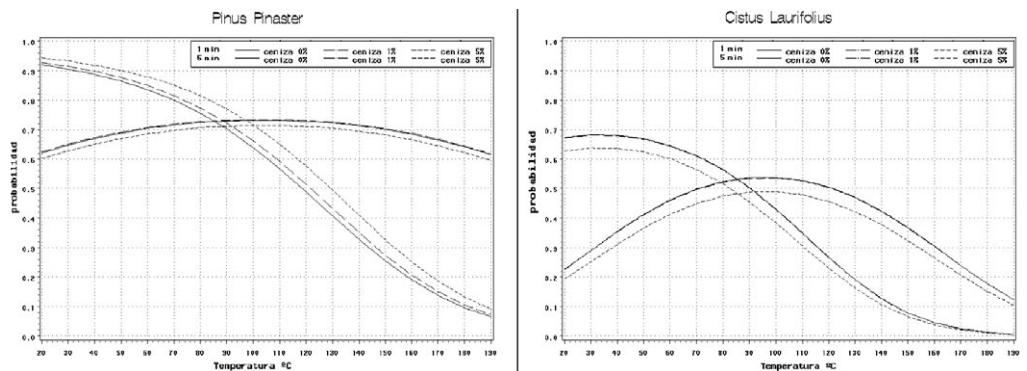


Gráfico 3. Probabilidades de germinación de las dos especies en los distintos tratamientos térmicos

CONCLUSIÓN

La regeneración del pino negral se ve favorecida por el calor, al estimular diferentes tratamientos térmicos su germinación. En este estudio se han determinado qué tratamientos térmicos son eficazmente positivos en la regeneración de *Pinus pinaster*. El rango de temperaturas de 70 °C a 110 °C, es eficaz para la germinación de pino negral independientemente del tiempo de exposición. En fuegos rápidos, la temperatura puede ascender por encima de 110 °C, incluso hasta 190 °C. Pero si el tiempo de exposición es mayor, la regeneración satisfactoria se conseguirá sólo hasta 130 °C, puesto que a partir de ese momento, el éxito va progresivamente disminuyendo conforme aumenta la temperatura.

Esto indica que incendios de estas magnitudes no pondrán en peligro la evolución de la masa forestal puesto que la regeneración estaría garantizada. Si bien, tras un incendio, se dan las condiciones óptimas para la instalación de muchas especies oportunistas. Esto puede ser un factor negativo si constituyen una competencia excesiva para la especie estudiada. En el caso de *Cistus laurifolius*, incendios o quemaduras controladas rápidas y de temperaturas entre 110 °C y 150 °C así como incendios de menor temperatura pero más prolongados en el tiempo, 90 °C-5 minutos, favorecen la instalación de esta especie, dando lugar a una mayor competencia de jara, dificultando el proceso regenerativo de *Pinus pinaster*. Por otra parte, la concentración de ceniza no ha resultado influyente en el proceso de regeneración de las dos especies estudiadas.

En este sentido, la quema prescrita se presenta como posibilidad, dentro de la búsqueda de opciones para el manejo integral de las masas arbóreas de pino negral.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto AGL 2001-1780 del Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica (2000-2003).

BIBLIOGRAFÍA

- AGEE, A.; 1993. *Fire ecology of Pacific Northwest forest*. Island Press, Washington.
- COME, D. ; 1970. *Les obstacles á la germination*. Masson. Paris.
- CORRAL, R.; PITA, J.M. & PÉREZ-GARCÍA, F.; 1990. Some aspects of seed germination in four species of *Cistus* L. *Seed Sci. Technol.* 18: 321-325
- GONZÁLEZ-RABANAL, F.; 1992. *Efecto del fuego sobre la germinación de especies de ecosistemas de matorral*. Tesis Doctoral. Universidad de Santiago de Compostela. Santiago de Compostela.
- HERMIDA-CASTRO, M.J.; 1999. *Utilización de especies arbustivas autóctonas para revegetación de áreas quemadas en Galicia*. Trabajo Fin de Carrera. Universidad de Santiago de Compostela. Santiago de Compostela.
- MIGUEL, I.; 2001. *Estudio de la fenología y de la estrategia reproductiva de Pinus pinaster Ait. en la meseta castellana*. Proyecto fin de carrera. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes-UPM. Centro de investigación forestal-INIA. Madrid.
- NUÑEZ, R. & CALVO, L.; 1999. Effect of high temperatures on seed germination of *Pinus halepensis* and *Pinus sylvestris*. *For. Ecol. Manage.* 131: 183-190.
- PÉREZ GARCÍA, F. Y PITA VILLAMIL, J.M.; 1996. *Ecofisiología de la germinación de las jaras (Cistus spp.)*. *Lecciones hipertextuales de botánica*. revista@quercus.es
- REYES, O.; 1996. *Estrategias regenerativas de especies arbóreas de ecosistemas forestales de Galicia en relación con los incendios forestales. Análisis del comportamiento germinativo y de la demografía de plántulas*. Tesis Doctoral. Universidad de Santiago de Compostela. Santiago de Compostela.
- TAPIAS, R.; 1998. *Estudio de las adaptaciones al fuego de Pinus pinaster Ait. de la Sierra del Teleno. Comparación con otras poblaciones de P. pinaster, P. halepensis, P. nigra y P. pinea*. ETS Ingenieros de Montes. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid.
- TÁRREGA, R., CALVO, L. & TRABAUD, L.; 1992. Effect of high temperatures on seed germi-

- nation of two woody leguminosae. *Vegetatio* 102: 139-147
- THANOS, G.A., MARCOU, S., CHRISTODOULAKIS, P. & YANNITSAROS, A.; 1989. Early post-fire regeneration in *Pinus brutia* forest ecosystems of Samos island (Greece). *Acta Oecol.-Oecologia Plantarum* 10(1): 79-94.
- TORRES, O., CALVO, L., VALBUENA, L. Y LUIS, E.; 2001. Respuesta al fuego de las semillas presentes en el suelo de un pinar de *Pinus pinaster* incendiado. En: Junta de Andalucía. S.E.C.F. (eds.), *Actas del III Congreso Forestal Español. Sierra Nevada 2001*, I: 242-245. Coria Gráficas. Sevilla.
- TRABAUD, L. & CASAL, M.; 1989. Réponse des semences de *Rosmarinum officinalis* á différents traitements simulant une action de feu. *Acta Oecol.-Oecologia Appl.* 10: 355-366.
- TRABAUD, L. & OUSTRIC, J.; 1989a. Influence du feu sur la germination des semences de quatre espèces ligneuses méditerranéennes à reproduction sexuée obligatoire. *Seed Sci Technol.* 17: 589-599.
- VALBUENA, L.; TÁRREGA, R. & LUIS, E.; 1992. Influence of heat on seed germination of *Cistus laurifolius* and *Cistus ladanifer*. *Int. J. Wildl. Fire* 2: 15-20.
- VÉLEZ, R.; 2000. Perspectiva global: El fuego en los ecosistemas forestales en el mundo. En: *La defensa contra incendios forestales: fundamentos y experiencias*. Mc Graw Hill. Interamericana de España. S.A.U. Madrid.