

# ANÁLISIS DE LAS CURVAS DE TEMPERATURA-TIEMPO EN FUEGOS EXPERIMENTALES EN AULAGARES DE DISTINTAS EDADES: ENFOQUE ALTERNATIVO.

\*DE LUIS, M; \*\*BAEZA, M.J. Y \*RAVENTÓS, J.

\*UNIVERSIDAD DE ALICANTE. DEPT. ECOLOGÍA, FACULTAD DE CIENCIAS. AP. 99 ALICANTE.

\*\*CEAM PARQUE TECNOLÓGICO DE PATERNA, C/4 SECTOR OESTE. PATERNA. CP 46003 VALENCIA.

## RESUMEN

La forma tradicional de presentar las curvas Temperatura-Tiempo, tiene el inconveniente de no ser comparables temporal ni espacialmente. Siguiendo el trabajo de Ventura *et al* (1994) hemos calculado un índice de temperatura adimensional  $T_r$  para 9 quemas experimentales que permite la comparación de la evolución de esta variable en aulagares de 3, 9 y 12 años. A partir de este índice hemos calculado tanto para distintas alturas como para distintas profundidades, la velocidad de ascenso desde la temperatura ambiente hasta la temperatura máxima (pendiente ascendente) y la velocidad de descenso desde la temperatura máxima hasta la temperatura ambiente (pendiente descendente).

Los resultados indican, diferencias significativas en relación a la edad del aulagar en las pendientes ascendentes tanto en la superficie del suelo como en la parte subterránea (-2.5 cm). En un análisis más detallado para aulagares de 12 años, observamos una gradación asintótica significativa en profundidad tanto en las temperaturas máximas alcanzadas como en las pendientes ascendente y descendente.

## SUMMARY

The current way to show Temperature vs Time curves have the handicap that do not permit spatial and temporal comparisons among wildfires.

Continuing the work of Ventura *et al* (1994) we have calculated an adimensional temperature index  $T_r$  at differents heights in an age sequence of gorse (*Ulex parviflorus* Pourr.) shrublands subjected to experimental wildfire. From this index, we estimate the rate of increase in temperature (ascending slope) and the rate of decrease temperature (descending slope)

Rate of increase from ambient to maximum temperature in surface and 2.5 cm on deep soil was related to stand age. For 12 years old stand, we found a asymptotic relationship between soil depth and maximum temperature, rate of increase and rate of decrease.

## INTRODUCCIÓN

Durante las últimas décadas la Comunidad Valenciana ha sido uno de los lugares de Europa con mayor frecuencia e intensidad en la ocurrencia de incendios. Estos fuegos han acarreado un retroceso en la sucesión, convirtiendo grandes masas de *Pinus halepensis* Mill. en aulagares de *Ulex parviflorus* Pourr. lo cual aumenta aún más la probabilidad de futuros fuegos.

Uno de los aspectos más importantes para evaluar las consecuencias de un incendio en un ecosistema es el aumento de las temperaturas registradas (Gill, 1981). Una forma tradicional de presentar la evolución de las temperaturas durante un incendio experimental es la descripción de las curvas Temperatura vs Tiempo. Esto tiene el inconveniente de que esta curva es específica para un incendio y un sitio determinado, y resulta muy difícil comparar distintas curvas para incendios con diferentes edades y cargas de combustible. Una alternativa es el método presentado por Ventura *et al*, (1994). Este método permite comparar las curvas Temperatura vs Tiempo para distintos incendios.

Distintos autores, encuentran relaciones exponenciales negativas de las temperaturas en función de la profundidad del suelo (Auld, 1986; Bradstock *et al* 1995; Valette *et al* 1994). El aumento de las temperaturas afecta directamente al banco de semillas, condicionando no solo la supervivencia de estas, sino también, para determinados rangos de temperaturas, la ruptura de la dormancia (Cavanagh, 1980).

En aulagares de 3, 9 y 12 años, se han estudiado las siguientes características:

- 1.- Modelización de las curvas  $T^a$  vs Tiempo, a distintas alturas y profundidades.
- 2.- Efecto de la edad del aulagar en las velocidades de ascenso hasta la temperatura máxima y de la velocidad de recuperación de la temperatura ambiente, en el suelo y en distintas alturas.
- 3.- Para aulagares de 12 años, se realizó un análisis más detallado del comportamiento a distintas profundidades del suelo, de las pendiente y las temperaturas máximas alcanzadas.

## MÉTODOS

Las quemas experimentales fueron realizadas en 9 áreas incendiadas de forma natural hace 3, 9 y 12 años.

Las características de las localidades, y de las quemas realizadas, se muestran en la tabla 1.

Los registros de temperaturas durante las quemas se recogieron a partir de 4 series de termopares (tipo K) colocados a -2.5, 0, 25 y 100 cm (en las parcelas de 3 y 9 años), y 2 series de termopares a (-5, -3, -2.5, -2, -1, 0, 25, 50 y 100 cm) en las parcelas de 12 años. En cada uno de estos puntos se registraron las  $T^{as}$  a intervalos de 1 minuto, desde 15 minutos antes del inicio de la quema, hasta 2 hora después de extinguido el fuego.

A partir de estos registros, localizamos la  $T^a$  máxima alcanzada ( $T_{max}$  en cada punto de muestreo. También, siguiendo el trabajo de Ventura *et al* (1994), calculamos las dos pendientes (ascendente y descendente) que representan la velocidad de ascenso desde la temperatura ambiente ( $T_{amb}$ ) hasta la  $T_{max}$ , y la velocidad de descenso desde  $T_{max}$  hasta  $T_{amb}$ .

Para el cálculo de estos dos coeficientes, obtuvimos para cada caso, a partir de las temperaturas registradas ( $T$ ), un índice adimensional  $T_r$  definido como:

$$T_r = \frac{T - T_{amb}}{T_{max} - T_{amb}}$$

A partir de la relación  $\ln(T_r)$  vs tiempo(t) obtuvimos para cada punto de muestreo los dos coeficientes anteriormente descritos ( $P_{asc}$  y  $P_{desc}$ ). Solamente las relaciones significativas ( $p < 0.05$ ) fueron consideradas en los análisis posteriores.

Mediante un ANOVA, se ha analizado la relación entre  $P_{asc}$  y  $P_{desc}$  a (-2.5, 0, 25 y 100 cm) y la edad del aulagar. Para homogeneizar las varianzas entre las pendientes obtenidas en los distintos años, a las variables dependientes se les aplicó una transformación logarítmica. Para determinar en cada caso, entre que edades existen diferencias, se aplicó un test a posteriori (LSD) al 95% de significación.

En aulagares de 12 años, hemos analizado la relación entre  $T_{\max}$ ,  $P_{\text{asc}}$  y  $P_{\text{desc}}$  con la profundidad del suelo. Con el fin de diferenciar el comportamiento de las variables en cada una de las profundidades, hemos realizado un test de rangos (Kruskal-Wallis).

## RESULTADOS

- Pendientes vs Edad: La velocidad de ascenso de las temperaturas hasta alcanzar la temperatura máxima ( $P_{\text{asc}}$ ) muestra diferencias significativas a -2.5 cm de profundidad entre los aulagares de 3, 9 y 12 años.

A 0 cm las diferencias en las pendientes ascendentes siguen siendo significativas aunque en este caso solamente los aulagares de 3 años se diferencian del resto.

En la parte aérea, (25 y 100 cm de altura) el comportamiento de las temperaturas es mucho más heterogéneo y no se observan diferencias significativas entre las distintas edades.

En ninguno de los puntos de muestreo se encuentran diferencia significativas en la  $P_{\text{desc}}$  debido a la edad del aulagar.

-  $T^{\text{a}}$  máxima y Pendientes vs Profundidad (12 años): Tanto para la  $T_{\max}$  (Fig.3a) como para  $P_{\text{asc}}$ , (Fig.3b) y la  $P_{\text{desc}}$  (Fig.3c) se encuentran relaciones altamente significativas ( $p < 0.001$ ) con la profundidad del suelo. En todos los casos puede también observarse un descenso en la variabilidad de los registros al aumentar la profundidad.

Las  $T^{\text{a}}$  máximas registradas en el suelo durante los incendios decrecen al aumentar la profundidad. Únicamente se alcanzan temperaturas superiores a 120°C a 0 y 1 cm de profundidad. Entre la superficie del suelo y los 3 cm de profundidad se registran  $T^{\text{as}}$  superiores a 60°C.

Este mismo patrón descendente en profundidad se observa también en las pendientes ascendentes y en las descendentes, (en este caso con signo negativo)

Los resultados obtenidos a partir de un múltiple test de Kruskal-Wallis nos permite agrupar los perfiles en profundidad de la siguiente manera:

## CONCLUSIONES

Ventura et al (1994), en la presentación de el método de análisis de las curvas temperatura vs tiempo, trabajando en pinares de *Pinus pinaster*, sugieren una disminución de las pendientes (ascendente y descendente) a medida que aumenta la altura de la vegetación. Nuestros resultados, trabajando en aulagares de *Ulex parviflorus* Pourr. de distintas edades, indican que las pendientes ascendentes y descendentes en la parte aérea (25 y 100 cm) no presentan en ningún caso diferencias significativas en función de la edad del aulagar. Esto es debido probablemente a la alta heterogeneidad espacial de la vegetación. Contrariamente, en el suelo (0 y -2.5), observamos un aumento significativo de la  $P_{\text{asc}}$  con la edad del aulagar. Este patrón no se observa para las  $P_{\text{desc}}$ . Esta diferencia en el comportamiento de la  $P_{\text{asc}}$  y la  $P_{\text{desc}}$  en el suelo es probablemente debido a que la  $P_{\text{asc}}$  dependa directamente de la cantidad de combustible presente en la quema mientras que la  $P_{\text{desc}}$  parece depender en menor medida de estos factores y más de factores relacionados con la transmisión de calor en el suelo.

En el caso de aulagares de 12 años, se observan una disminución exponencial tanto de la  $T_{\max}$  como de la  $P_{\text{asc}}$  y  $P_{\text{desc}}$  en función de la profundidad del suelo, encontrando en la mayor parte de los casos diferencias significativas entre las profundidades. Únicamente se alcanzan temperaturas superiores a 120°C a 0 y 1 cm de profundidad. Entre la superficie del suelo y los 3 cm de profundidad se registran  $T^{\text{as}}$  superiores a 60°C. En sentido amplio, estos rangos de profundidades coinciden con los presentados por Bradstock et al, (1992) trabajando en bosques de Eucaliptos y con Bradstock & Auld, (1995) en *Acacia suaveolens*.

Este hecho es relevante ya que la relación entre las temperaturas en el suelo y su efecto (potenciador o inhibidor) sobre la germinación de una amplia gama de leguminosas, ha sido ampliamente descrita (Floyd, 1976; Auld, 1986; Auld & O'Connell, 1991; Bradstock et al, 1992; Bradstock & Auld, 1995).

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado dentro de los Proyectos CICYT (CLI95-1948-CO3-O3) y REMECOS (EV5V-CT94-0475 DG XII). Agradecemos especialmente la colaboración prestada por Ana Tomas, ingeniero responsable del area de incendios de la Consejería de Agricultura y Medio Ambiente de Alicante. Agradecemos también a Jordi Cortina y Ramón Vallejo por sus valiosas sugerencias.

## BIBLIOGRAFÍA

AULD, T.D. & O'CONNELL, M.A. (1991). Predicting patterns of post-fire germination in 35 eastern Australian Fabaceae. *Australian Journal of Ecology*, 16, 53-70

AULD, T.D. (1986) Population dynamics of the shrub *Acacia suaveolens* (S.m.) Willd. Fire and the transition to seedlings. *Australian Journal of Ecology*, 11, 373-85

BRADSTOCK, R.A.; AULD, T.D.; ELLIS, M.E. and J.S. COHN. (1992) Soil temperatures during bushfires in semi-arid, mallee shublands. *Australian Journal of Ecology*, 17, 433-440.

BRADSTOCK, R.A. and AULD, T.D. (1995). Soil temperatures during experimental bushfires in relation to fire intensity: consequences for legume germination and fire management in south-eastern Australia. *Journal of Applied Ecology*, 32, 76-84.

CAVANAGH, A.K. (1980) A review of some aspects of the germination of acacias. *Proc. Pry. Soc. Vic.* 91, 161-80.

FLOYD, A.G. (1976) Effect of burning on regeneration from seeds in wet sclerophill forest. *Aust. For.* 39, 210-20.

GILL, A.M. (1981) Fire adaptative traits of vascular plants. In: *Fire Regimes and Ecosystem Properties*. (eds H. A. Mooney, T. M. Bonnicksen, N.L. Chistensen, J.E. Lotan and W.A. Reiners) pp. 208-30. U.S. For. Serv. Gen. Tech. Rep. WO-26.

VENTURA, J.M.P.; MENDES-LOPES, J.M.C; REGO, F.M.C; and BOTELHO, H.S.(1994) Temperature-time curves in forest fire. *Proc 2<sup>nd</sup> Int. Conf. Forest Fire Research*. Vol. Y, B.15, pp. 335-342, Coimbra, Nov. 1994.

|                               | Bañeres | Confrides | Guadalest | Onil | Pardines | Torre. | Onil 1 | Onil 2 | Onil 3 |
|-------------------------------|---------|-----------|-----------|------|----------|--------|--------|--------|--------|
| Edad (años)                   | 3       | 3         | 3         | 9    | 9        | 9      | 12     | 12     | 12     |
| Altitud (m)                   | 820     | 900       | 450       | 800  | 900      | 900    | 800    | 800    | 800    |
| Orientación                   | NW      | W         | S         | NW   | N        | N      | S      | EN     | N      |
| H. Veg. (%)                   | 85.4    | 59.2      | 67.6      | 21.9 | 32.4     | 43.5   | 50     | 40     | 70     |
| H. Suelo (%)                  | 4.8     | 4         | 3.45      | 8.4  | 7.6      | 32.9   | 26.5   | 13.6   | 18.8   |
| Biomasa ( $\text{g m}^{-2}$ ) | 1057    | 1043      | 1585      | 3474 | 3997     | 3981   | 3130   | 5005   | 5142   |

TABLA 1. Características descriptivas de las localidades y de las variables tanto ambientales como estructurales durante el desarrollo de los incendios.

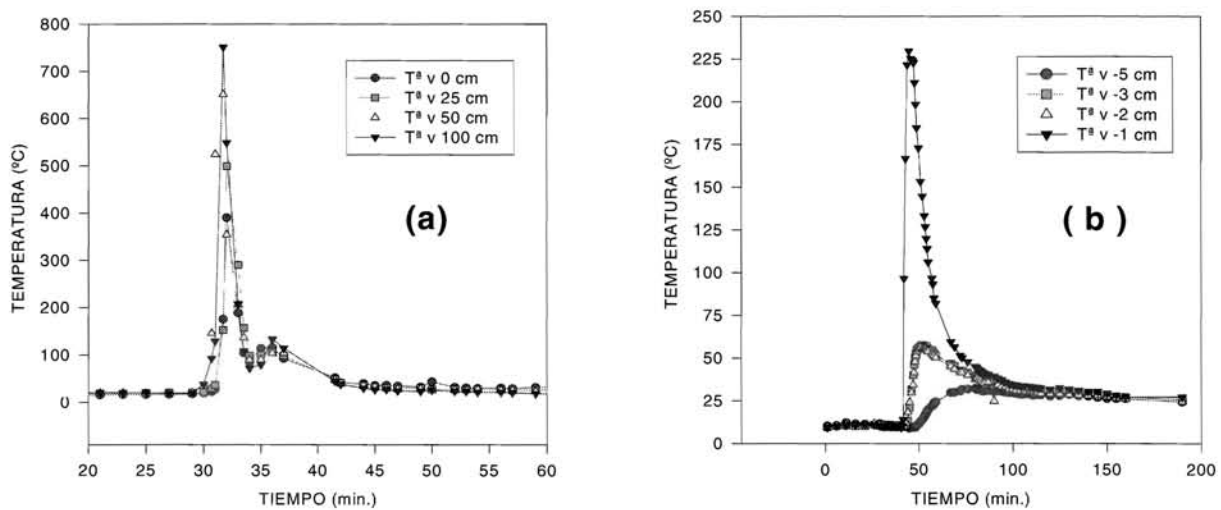


FIGURA 1: a) Ejemplo de las  $T^{as}$  registradas en la parte aérea vs tiempo; b) Ejemplo de las  $T^s$  registradas en la parte subterránea vs tiempo.

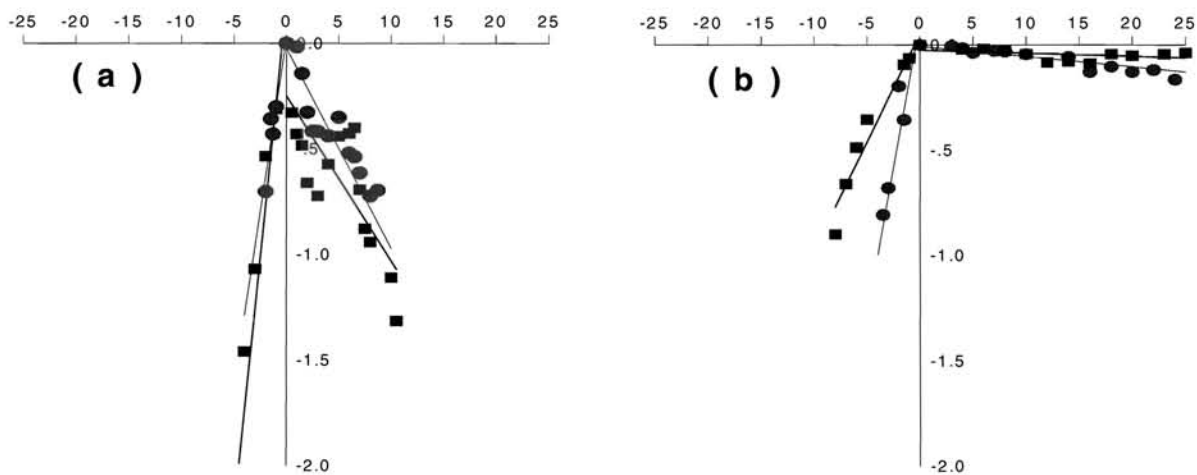


FIGURA 2: a) Ejemplo de la relación  $\ln(Tr)$  aérea vs tiempo; b) Ejemplo de la relación  $\ln(Tr)$  subterránea vs tiempo.

|         | Pendiente ascendente ( $P_{asc}$ ) |                    |                    |        | Pendiente descendente ( $P_{desc}$ ) |                     |                     |        |
|---------|------------------------------------|--------------------|--------------------|--------|--------------------------------------|---------------------|---------------------|--------|
|         | 3 años                             | 9 años             | 12 años            | sig    | 3 años                               | 9 años              | 12 años             | sig    |
| -2.5 cm | 0.018 a<br>(0.017)                 | 0.028 b<br>(0.021) | 0.159 c<br>(0.110) | 0.0016 | -0.007 a<br>(0.004)                  | -0.004 a<br>(0.003) | -0.005 a<br>(0.002) | 0.1889 |
| 0 cm    | 0.054 a<br>(0.076)                 | 0.562 b<br>(0.463) | 0.968 b<br>(0.461) | 0.0148 | -0.118 a<br>(0.145)                  | -0.117 a<br>(0.076) | -0.089 a<br>(0.045) | 0.8189 |
| 25 cm   | 0.183 a<br>(0.146)                 | 0.707 a<br>(0.540) | 0.625 a<br>(0.552) | 0.1360 | -0.108 a<br>(0.113)                  | -0.164 a<br>(0.107) | -0.150 a<br>(0.076) | 0.5478 |
| 100 cm  | 0.357 a<br>(0.278)                 | 0.822 a<br>(0.299) | 0.372 a<br>(0.480) | 0.1489 | -0.147 a<br>(0.107)                  | -0.214 a<br>(0.104) | -0.174 a<br>(0.088) | 0.3790 |

TABLA 2.- Resultados para cada profundidad del ANOVA. En la tabla se muestra el valor medio observado y la desviación standard (entre paréntesis) de cada grupo. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las pendientes de las distintas edades del aulagar (LSD test,  $P < 0.05$ ).

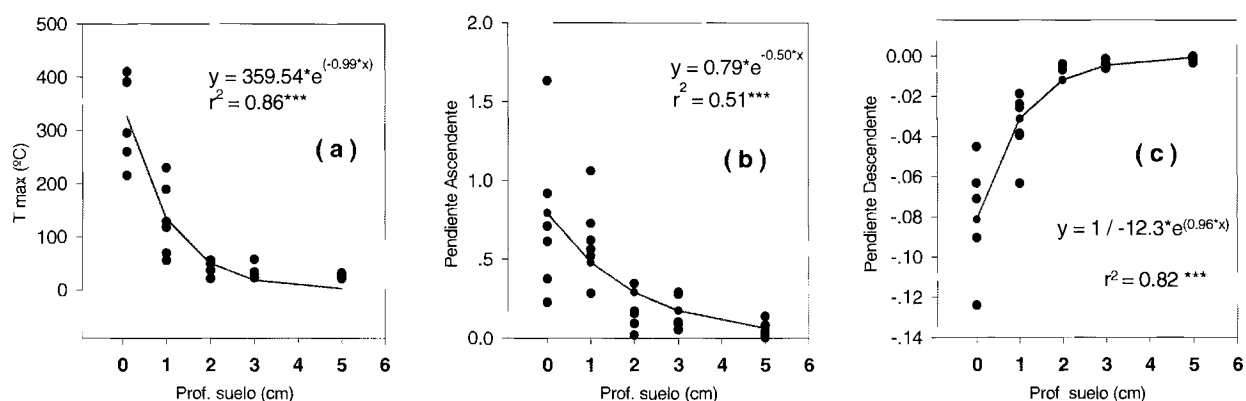


FIGURA 3.- Temperaturas máximas (a),  $P_{asc}$  (b) y  $P_{desc}$  (c) en el suelo, registradas durante las quemas experimentales.

|       | $P_{asc}$       | $P_{desc}$        | $T_{max}$        |
|-------|-----------------|-------------------|------------------|
| 0 cm  | 0.968 a (0.461) | -0.089 a (0.045)  | 326.97 a (81.13) |
| -1 cm | 0.650 a (0.282) | -0.035 b (0.016)  | 141.35 b (57.92) |
| -2 cm | 0.157 b (0.122) | -0.005 c (0.001)  | 47.44 c (9.08)   |
| -3 cm | 0.162 b (0.112) | -0.004 cd (0.002) | 35.18 cd (13.39) |
| -5 cm | 0.055 c (0.048) | -0.002 d (0.001)  | 25.37 d (4.02)   |

TABLA 3.- Valores medios y desviaciones standard de  $P_{asc}$ ,  $P_{desc}$ , y  $T_{max}$  a distintos niveles de profundidad. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias a distintas profundidades (Kruskal-Wallis test,  $p < 0.01$ ).